

DM

Reabilitação do Entrepasto Frigorífico do Funchal
Um caso de estudo

DISSERTAÇÃO DE Mestrado

Roberto Jesus Cassiano
Mestrado em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

novembro | 2017

Reabilitação do Entreposto Frigorífico do Funchal

Um caso de estudo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto Jesus Cassiano

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR

Paulo Renato Camacho da Silva Lobo

CO-ORIENTADOR

Luís Miguel Gouveia Correia

Aos meus familiares

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Paulo Lobo, por me ter proporcionado realizar esta dissertação. Pela sua disponibilidade e boa vontade de partilhar o seu conhecimento, pelo excelente exemplo de postura em qualquer ocasião.

Ao Eng. Miguel Correia, pela transmissão do conhecimento, dos contactos e pela toda a documentação fornecida.

Ao Sr. Júlio Teixeira, por me ter elucidado sobre todo o processo de reparação da estrutura em estudo.

Ao pessoal do Laboratório Regional de Engenharia Civil da Madeira que participou nos trabalhos de inspeção e ensaios.

Aos meus pais, por possibilitarem esta jornada e por todo o apoio incondicional.

Ao amigo Tiago Teixeira, pelo incentivo de elevar a qualidade do trabalho, por ser o exemplo de resiliência em pessoa.

Ao amigos e colegas, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A presente dissertação insere-se na área de reabilitação e reparação de estruturas de betão armado, fortemente atacadas pelo ambiente marítimo. Avaliando a viabilidade de reparação de uma obra marítima, este estudo conta com os fatores que causam a deterioração do betão armado e todo o estudo a realizar, para entendimento de uma estrutura desse tipo.

Estudaram-se as patologias mais associadas ao ambiente marítimo, nomeadamente a corrosão por ataque cloretos e dissolução de finos por ataque da água do mar, assim como os efeitos resultantes da exploração da estrutura.

Realizaram-se inspeções, nomeadamente preliminar e básica, para compreensão das plantas estruturais, levantamento de patologias, planeamento e execução da inspeção especial, onde foram retiradas amostras de betão em pontos por toda a estrutura. Completando a informação, apresentam-se os resultados dos ensaios de laboratório, com análise e interpretação dos mesmos, associando à exploração da estrutura.

Concluindo, é estudada uma solução de reparação, assim como um sistema de escoramento, de modo a possibilitar a reparação em segurança.

PALAVRAS CHAVE: obras marítimas, betão armado, corrosão, inspeção, ensaios, reparação

ABSTRACT

This paper is about rehabilitation and repair of reinforced concrete structures, severely attacked by the sea environment. Accessing the repair viability of a marine structure, this study has into account the factors that cause the deterioration in the reinforced concrete structure and all the work needed, for better understanding of a structure of this type.

Sea environment related pathologies were studied, namely corrosion by chloride attack and dissolution of superficial concrete by sea water attack, as well as the structure exploitation effects.

Several inspections were carried, namely the preliminary and basic inspection, for structural plans verification, pathologies surveys, planning and execution of the final inspection, where concrete samples were extracted throughout the structure.

In conclusion, a beam solution is presented as well as a shoring system, in order to safely repair the structure.

KEY WORDS: marine structures, reinforced concrete, corrosion, structure inspection, tests, repair

ÍNDICE

<i>Lista de figuras</i>	<i>iii</i>
<i>Lista de tabelas</i>	<i>vi</i>
1 Introdução	1
1.1 <i>Considerações iniciais</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	2
1.3 <i>Estrutura da dissertação</i>	3
2 Estado da arte	5
2.1 <i>Patologias do Betão Armado</i>	5
2.1.1 <i>Propriedades dos materiais e ambiente de exposição</i>	5
2.1.2 <i>Quadro de Patologias</i>	7
2.1.3 <i>Corrosão</i>	9
2.1.4 <i>Corrosão por ação da carbonatação</i>	14
2.1.5 <i>Corrosão por ataque de cloretos</i>	16
2.1.6 <i>Particularidades em obras marítimas</i>	17
2.1.7 <i>Condições de exposição e mecanismos de transporte</i>	18
2.1.8 <i>Corrosão negra</i>	19
2.2 <i>Erros de conceção</i>	20
2.2.1 <i>Erros de projeto</i>	20
2.2.2 <i>Erros de execução</i>	21
2.2.3 <i>Falhas na manutenção e exploração</i>	21
2.3 <i>Inspeção de estruturas</i>	21
2.3.1 <i>Inspeção preliminar</i>	22
2.3.2 <i>Inspeção básica</i>	22
2.3.3 <i>Inspeção Especial</i>	25
2.4 <i>Ensaio de Laboratório</i>	28
2.4.1 <i>Carbonatação</i>	28
2.4.2 <i>Teor de cloretos</i>	30
2.4.3 <i>Resistência à compressão do betão</i>	31
2.4.4 <i>Ensaio resistência à tração do aço</i>	32
3 Caso de Estudo	35

3.1	<i>Introdução</i>	35
3.2	<i>Caracterização da estrutura</i>	36
3.2.1	Condições de exposição.....	37
3.3	<i>Inspeção realizada</i>	39
3.3.1	Planeamento da inspeção.....	40
3.3.2	Inspeção básica.....	40
3.4	<i>Inspeção especial</i>	42
3.4.1	Ensaios e resultados de amostras.....	46
3.5	<i>Análise e interpretação de dados</i>	51
3.6	<i>Modelação estrutural</i>	54
3.7	<i>Metodologia de Reparação</i>	59
3.8	<i>Dimensionamento do escoramento</i>	60
3.9	<i>Pormenorizações e especificação do betão</i>	65
3.10	<i>Mapa de quantidades</i>	69
4	Conclusões	75
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	77
	<i>Anexo A – Boletins de ensaio da frente de carbonação</i>	83
	<i>Anexo B – Boletins de ensaio do teor de cloretos</i>	103
	<i>Anexo C – Boletins de ensaio da resistência à compressão</i>	123
	<i>Anexo D – Desenhos em CAD</i>	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismo da retração plástica, adaptado de Costa (1999)	6
Figura 2: Efeito da retração por secagem	6
Figura 3: Mecanismo de retração térmica, adaptado de Costa (1999)	6
Figura 4: Pormenor secção transversal, película passiva, adaptado de Costa. (1997)	9
Figura 5: Pormenor secção transversal, dissolução da película passiva, adaptado de Costa (1997).....	10
Figura 6: Elementos necessários à ocorrência de corrosão, adaptado de Costa (1997)	10
Figura 7: Ilustração das reações químicas do mecanismo de corrosão, adaptado de Andrade (2001)..	11
Figura 8: Volume relativos dos produtos de corrosão das reações secundárias, adaptado de Costa. (1997)	12
Figura 9: a) Modelo de Cady-Weyers; b) Modelo de Tuutti, adaptado de Liu & Weyers (1996)	13
Figura 10: Fases no processo de corrosão de armaduras, adaptado de Heckrodt (2002)	13
Figura 11: Tipos de corrosão, adaptado de Cascudo (1997)	14
Figura 12: Variação do teor de carbonatos e valores de pH, em relação à profundidade, reproduzido de Costa (1997).....	15
<i>Figura 13: Composição dos sais dissolvidos da água do mar, reproduzido de Coutinho (1998).....</i>	17
Figura 14: Micro climas e mecanismos de transporte associados, adaptado de Costa (1997)	18
Figura 15: Variação da percentagem de cloretos com a profundidade para diferentes zonas da estrutura, reproduzido de McCarthy & Giannakou (2002)	19
Figura 16: a) Efeitos da corrosão: b) Efeitos da corrosão negra	20
Figura 17: Imagem termográfica, adaptado de ISQ, (2017).....	23
Figura 18: a) e b) Mapeamento da delaminação; c) Medição de fendas, adaptado de (Costa, n.d.)	23

Figura 19: a) Exemplificação do registo de fendas; b) Exemplificação do registo (área a rosa) da fendilhação "craquelé", adaptado de Appleton (2005)	24
Figura 20: a) Ilustração detetor de metais (pacómetro); b) Martelo esclerométrico (esclerómetro)	24
Figura 21: a) Aplicação do berbequim; b) copo de recolha; c) recipientes de identificação.....	25
Figura 22: a) Caroteadora; b) caroteadora em operação; c) remoção da amostra com recurso a escorpo	26
Figura 23: Exemplificação da filtração por vácuo, adaptado de EN 14629:2007 (2007).....	31
Figura 24: a) Pontos de acesso em ortofotomapa; b) Planta da estrutura.....	36
Figura 25: Identificação dos elementos constituintes de uma secção tipo do cais.	36
Figura 26: Corte transversal do cais oeste	37
Figura 27: a) Medições em foto; b) Medições em CAD	38
Figura 28: Microclimas do pórtico [m]	38
Figura 29: Classes de exposição em planimetria.....	39
Figura 30: a) Pavimentos do Cais Norte; b) Pavimento do Cais Sul; c) Armaduras expostas	39
Figura 31: Exemplo da deterioração predominante na periferia do Cais Norte	40
Figura 32: a) Pavimento do Cais Oeste; b) Contenção periférica do Cais Oeste	41
Figura 33: Perda de secção do banzo inferior e no pilar do Cais Sul	41
Figura 34: a) Estado da zona inferior dos Cais Norte; b) estado da zona inferior do Cais Oeste.....	42
Figura 35: a) Carregador multitelescópico; b) Sentido da ordem dos trabalhos	43
Figura 36: a) e b) Antes e depois do ensaio de carbonatação “in situ” (V9); c) Fracturação na altura de recobrimento (V2)	44
Figura 37: Furo na laje, separação entre camada de enchimento e da laje	44
Figura 38:a) Máquina de ensaio à compressão; b) Pormenor da balança.....	47

Figura 39: a) Exemplos de roturas admissíveis de carotes; b) Exemplos de roturas não admissíveis adaptado de NP EN 12390-3:2011 (2011).	48
Figura 40: Perfil de cloretos, ponto V1	50
Figura 41: Perfis de cloretos, médias das zonas atmosféricas e de marés.....	51
Figura 42: Perfis de cloretos, média por cais	52
Figura 43:Perfis de cloretos pontos V2 e V5	53
Figura 44: Pórtico em elementos "frame", vista com momento fletor atuante	55
Figura 45: Secção da viga com solução de reabilitação	55
Figura 46: Pormenorização das áreas a picar [cm].....	59
Figura 47: Ilustração da sucessão de fases de reparação, Cais Norte.....	60
Figura 48: Modelo de cálculo utilizado no dimensionamento de perfis e esforços obtidos.....	60
Figura 49: Modelo de cálculo, ligação perfil/maciço, para HEB 400 [mm]	63
Figura 50: Símbolos para as distâncias entre os eixos dos furos de peças de ligação, adaptado de NP EN 1993-1-8, (2010)	64
Figura 51: Ligação perfil-parede no Cais Norte [cm]	65
Figura 52: Ligação perfil-maciço de encabeçamento [cm]	66
<i>Figura 53: Alçado do pórtico do Cais Norte escorado.....</i>	<i>66</i>
Figura 54: Alçado do pórtico do Cais Oeste escorado	67
Figura 55: Pormenorização das armaduras	67
Figura 56: Pormenor dos estribos da alma e do banzo.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de patologias, adaptado de Costa (1999)	7
Tabela 2: Critério da probabilidade de corrosão (Van Daveer, 1975).....	27
Tabela 3: a) Medição penetração da frente de carbonatação paralela à superfície, caso 1; b) Medição da frente de carbonatação com irregularidades, adaptado de E 391-1993 (1993).....	29
Tabela 4: Dados e simbologia, relatório de ensaio do teor de CO_2 , adaptado de E 391-1993 (1993) ..	29
Tabela 5: Tabela de cálculo automático, zona de maré do Cais Oeste	38
Tabela 6: Ensaio realizados	45
Tabela 7: Quadro de resultados, profundidade de carbonatação, face exterior	46
Tabela 8: Ensaio, resistência à compressão:	48
Tabela 9: Valores obtidos do ponto V1	49
Tabela 10: Profundidade da frente de carbonatação média por cais.....	51
Tabela 11: Valores de cálculo para armaduras longitudinais inferiores	57
Tabela 12: Propriedades bucha química HILTI HUV HAS-(E) M27x24.....	63
Tabela 13: Propriedades dos perfis.....	64
Tabela 14: Dados referentes à quantificação do peso do perfil HEB 400 para o Cais Norte	69
Tabela 15: Mapa de quantidades e orçamento.....	71

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Letras minúsculas

a	Espessura (chapa), diâmetro ou lado (arames/barras/perfis)
a/c	Razão água/cimento
a_i	Comprimento associado a cada extremidade num vão
b	Largura da secção transversal
d	Altura útil da secção transversal
d_0	Diâmetro do furo do parafuso
d_k	Profundidade de carbonatação
$d_k \text{ máx}$	Profundidade máxima de carbonatação
dm	Diâmetro de carote
e_i	Símbolo para as distâncias entre os eixos dos furos das peças de ligação
f	Mols da solução de nitrato de prata
f_c	Resistência à compressão do betão
f_{cd}	Resistência de cálculo à compressão do betão
$f_{ck, is}$	Resistência estimada
f_{ctm}	Resistência média a tração do betão
$f_{is, menor}$	Menor resultado do ensaios à compressão

$f_{m(n),is}$	Média dos resultados de n ensaios
f_u	Resistência à tração característica do aço
f_{ub}	Tensão de cedência do parafuso
f_{yd}	Resistência de cálculo à tração do aço
f_{yk}	Resistência característica à tração do aço
h	Altura da secção transversal
h_i	Altura elemento i
k	Coefficiente de proporcionalidade
k	Margem associada ao número de resultados
k	Fator segundo a rotação da secção transversal na extremidade
k_w	Fator segundo o empenamento viga na extremidade
l	Comprimento
l_{eff}	Vão efetivo
$l_{influência}$	Largura de influência
l_n	Vão livre
m	Massa da amostra de betão
pH	Logaritmo do inverso da concentração de iões hidrogénio
p_i	Símbolo para as distâncias entre os eixos dos furos das peças de ligação

pp_i	Peso próprio do elemento i
$SC_{exploração}$	Sobrecarga de exploração
s_{max}	Espaçamento máximo entre armaduras transversais
$s_{recomendado}$	Espaçamento máximo recomendado entre armaduras transversais
t	Tempo de exposição
z	90% da altura útil de uma secção transversal
z_g	Excentricidade da aplicação de carga em relação ao centro da peça

Letras maiúsculas

A_c	Área da secção transversal do provete
A_s	Área de armadura longitudinal
A_{sf}/s	Área de armadura de ligação banzo-alma
A_{smin}	Área de armadura longitudinal mínima
A_{sw}/s	Área de armadura transversal por ramos
C_3A	Molécula aluminato tricálcico
C_4AF	Molécula de aluminoferrite de tetracálcio
$Ca(OH)_2$	Molécula hidróxido de cálcio
$CaCl_2$	Molécula de cloreto de cálcio
$CaCO_3$	Molécula carbonato de cálcio

CC	Concentração de cloretos
C_i	Parâmetro que contabiliza o contraventamento lateral e o diagrama de momentos
Cl^-	Ião cloreto
$C_{min,i}$	Recobrimento mínimo segundo a condição i
C_{nom}	Recobrimento nominal
CO_2	Molécula de dióxido de carbono
$E_{aço}$	Módulo de elasticidade do aço
E_c	Módulo de elasticidade em compressão
F	Carga aplicada
$F_{b,Rd}$	Resistência ao esmagamento
Fe	Molécula de ferro
$Fe(OH)_2$	Molécula hidróxido de ferro (II)
$Fe(OH)_3$	Molécula hidróxido de óxido de ferro (III)
Fe^{++}	Ião ferro (II)
Fe_3O_4	Molécula óxido de ferro (II,III)
$FeCl_3^-$	Ião ferro (III)
$FeO(OH^-)$	Molécula óxido de ferro
$F_{T,ED}$	Força de tração atuante na ligação

$G_{aço}$	Módulo de distorção do aço
H^+	Ião hidrogénio
H_2	Molécula de hidrogénio
H_2O	Molécula de água
HNO_3	Ácido nítrico
HR	Humidade relativa
I_t	Inércia de torção
I_w	Inércia de empenamento
I_z	Inércia segundo o eixo y
L_0	Comprimento inicial entre referências
L_c	Comprimento da zona útil
Ln	Ponto de extração na laje, número n
$M_{b,rd}$	Momento fletor resistente à encurvadura lateral
M_{cr}	Momento crítico de empenamento
M_{Ed}	Momento fletor atuante
$Mg(OH)_2$	Molécula hidróxido de magnésio
$MgCl_2$	Molécula de cloreto de magnésio
$M_{plástico}$	Momento para a cedência da fibra extrema à tração

$M_{RD,pl}$	Momento resistente até à plastificação da fibra extrema à tração da secção transversal
$NaCl$	Molécula de cloreto de sódio
$NaOH$	Molécula de hidróxido de sódio
NH_4SCN	Molécula de tiocianato de amónio
$N_{ru,n}$	Resistência à tração da ligação
O_2	Molécula de oxigénio
OH^-	Ião hidróxido
S_0	Área da secção inicial da zona útil
T	Temperatura
V_3	Volume da solução em nitrato de prata, usado na titulação
V_4	Volume da solução nitrato de prata, usado no ensaio branco
V_{ed}	Esforço transversal atuante
V_n	Ponto de extração na viga periférica lado exterior, número n
V_{ni}	Ponto de extração na viga periférica, lado interior, número n
$V_{RD,s}$	Esforço transversal resistente
$V_{ru,n}$	Resistência ao corte da ligação
$W_{pl,y}$	Módulo de flexão plástico da secção transversal no eixo y
XC	Classe para corrosão induzida por carbonatação

XD	Classe para corrosão induzida por cloreto não provenientes da água do mar
XF	Classe para ataque pelo gelo/degelo
XS	Classe de corrosão induzida por cloreto da água do mar
ZA	Zona atmosférica
ZM	Zona de maré
ZR	Zona de rebentação
ZS	Zona submersa

Letras Gregas

α_b	Parâmetro de cálculo da resistência ao esmagamento
α_d	Parâmetro de cálculo da resistência ao esmagamento
$^{\circ}C$	Graus centígrados
\emptyset	Diâmetro
$\bar{\phi}_{LT}$	Valor para determinar o coeficiente de redução $\bar{\chi}_{LT}$
$\Delta\varepsilon$	Diferença entre a extensão para a tensão σ_a e extensão para a tensão σ_b
ε_{an}	Extensão para a tensão σ_a medida no n-ésimo ciclo de carga
ε_{bn}	Extensão para a tensão σ_b medida no n-ésimo ciclo de carga
$\Delta C_{dur,add}$	Redução do recobrimento no caso de utilização de proteções adicionais

$\Delta C_{dur,st}$	Redução do recobrimento no caso de utilização de aço inox
$\Delta C_{dur,\gamma}$	Margem de segurança ambiental
Δ_{dev}	Margem de desvio
δ	Flecha elástica
$\gamma_{f,i}$	Coefficiente de segurança para elemento i
γ_i	Peso volúmico do elemento i
$\bar{\lambda}_{LT}$	Esbelteza normalizada
σ_a	Tensão máxima aplicada
σ_b	Tensão inicial
$\sigma_{c,alma}$	Tensão de compressão nas bielas
$\sigma_{c,max}$	Tensão de compressão máxima nas bielas
$\Delta\sigma$	Diferença entre tensão máxima aplicada σ_a e tensão inicial σ_b
θ	Inclinação das bielas
μ	Momento fletor reduzido
ω	Percentagem mecânica de armaduras
$\bar{\chi}_{LT}$	Coefficiente de redução para a encurvadura lateral

Siglas

CAD	Computer-aided design
CSI	Computer&Structures Inc
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
RRE	Reabilitação e Reforço de Estruturas

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde que foi introduzido no mercado, o betão tem sido a escolha predominante como material de construção graças à sua versatilidade e baixo custo. Sendo um material com resistência à compressão, e com aplicabilidade para suportar esforços de tração, uma vez reforçado com armaduras.

Embora o betão seja um material durável, é também um material que perde as suas propriedades ao longo do tempo, quer seja pela exploração da estrutura, acidentes e pela interação com o ambiente em redor. Atendendo que os regulamentos atuais, baseiam-se num conhecimento relativamente novo, as obras mais antigas, possuem uma menor ou inadequada proteção contra as condições de exposição. É portanto normal que estas necessitem de intervenção de reabilitação ou até de reparação, caso o estado de deterioração comprometa a longevidade e/ou integridade da estrutura.

A presente dissertação serve de estudo à reparação de uma obra portuária em betão armado, denominada por Entrepósito Frigorífico do Funchal, situada no porto comercial do Funchal, na Ilha da Madeira. Estudando a viabilidade da reparação, visa-se documentar toda a informação obtida, memória de cálculo, mapa de quantidades e respetiva estimativa de custos.

A estrutura em estudo é composta por 3 cais, que proporcionam o desafio em questões de acessibilidade, horário de trabalho condicionado pelas marés e pela continuidade de exploração em simultâneo com a reparação.

Esta dissertação foi realizada segundo uma parceria entre a Universidade da Madeira (UMa) e o Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC), da Madeira, possibilitando a obtenção das amostras e execução de ensaios de laboratório, assim como a integração de um aluno num ambiente profissional.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho visa englobar todas as fases necessárias à execução de um estudo de reabilitação. Estão incluídas inspeções visuais, digitalização do projeto de estabilidade, mapeamento das patologias, planeamento e calendarização das extrações de amostras, ensaios de laboratório (químicos e mecânicos), modelação, conceção da solução de reparação acompanhada pela memória de cálculo e estimativa de custos.

Visto que o Entreposto Frigorífico do Funchal tem mais de 30 anos, as plantas do projeto de estabilidade foram executadas à mão, sem produção posterior das telas finais. Como tal, a atualização e digitalização em CAD será realizada para consulta e arquivo.

Posteriormente, proceder-se-á à estipulação dos locais a extrair amostras, para os ensaios de laboratório, em pontos alvo de toda a estrutura. Serão retiradas amostras de betão em pó para o ensaio de teor de cloretos, e ainda carotes maioritariamente para ensaios de resistência à compressão (norma NP EN 12504-1). Adicionalmente, serão recolhidas amostras de varões de aço (ensaio à tração) e executados ensaios esclerométricos, “*in situ*”, com o Martelo de Schmidt (NP EN 12504-2), a fim de determinar as propriedades mecânicas do betão, em zonas onde não é possível a extração de amostras.

Por forma a possibilitar uma modelação fidedigna da estrutura no estado atual, serão executados os seguintes ensaios:

- teor de cloretos, segundo a norma EN 14629;
- avaliação da profundidade da carbonatação (LNEC E 391);
- resistência à compressão do betão em provetes de ensaios NP EN 12504-1;

Obtidas as propriedades mecânicas, segue-se a modelação através de um programa de elementos finitos, com interface gráfica 3D orientada a objetos. Para este efeito, será usado o programa SAP2000 da Computer & Structures Inc (CSI). Esta etapa serve para analisar todos os esforços existentes e fundamentalmente toda a interação dos utentes na estrutura.

Dada a importância do Entreposto Frigorífico, para o comércio piscatório, não é possível interromper o funcionamento deste estabelecimento. Como tal, incluem-se nos objetivos, uma solução de escoramento da estrutura que possibilite a exploração da estrutura, embora algo condicionada, acompanhado com um mapa de quantidades e estimativa de custos.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento está dividido em quatro capítulos, sendo o presente um capítulo introdutório, onde também são apresentados os objetivos deste trabalho e é descrita a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, Estado da Arte, é onde se encontra a revisão bibliográfica relevante para a presente dissertação. Trata-se de uma compilação da informação fundamental, para a compreensão do trabalho realizado, tanto nos preparativos como para todos os procedimentos no estudo e avaliação de uma obra deteriorada.

No terceiro capítulo, é abordada pormenorizadamente a obra a estudar. Este capítulo conta com uma descrição detalhada da obra, das inspeções e ensaios realizados, assim como as condições de exposição da obra e o estado atual de deterioração fundamentado pela recolha e avaliação das amostras. Numa subsecção encontra-se a modelação de um pórtico da estrutura com a solução implementada, dimensionamento da estrutura de apoio à reparação, assim como desenhos tipo, mapa de quantidades e estimativa de orçamentos.

Por último, surge o quarto capítulo, onde são relatados os fatores condicionantes relacionados com o estudo e reparação da estrutura, assim como medidas a ter em conta na sua exploração futura.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 PATOLOGIAS DO BETÃO ARMADO

Por definição, patologia é o estudo de qualquer tipo de alteração estrutural, bioquímica e/ou funcional (Brum, Oliveira, & Soares, 2003). Em engenharia civil, definem-se por patologias a fendilhação, delaminação, corrosão, desagregação do betão, erosão, infiltrações, eflorescências e deformações.

A fim de garantir a segurança das estruturas a deterioração deve ser controlada a um nível aceitável durante o seu período de vida útil, uma vez que qualquer material perde as suas propriedades mecânicas ao longo do tempo. Pelas palavras de Larry Masters, *“Nenhum material é por si próprio durável; é a interação entre o material e o ambiente a que está exposto que determina a sua durabilidade”* (Gambhir, 2004).

Naturalmente, para um controle eficaz é necessário conhecer o comportamento dos materiais, mecanismos de deterioração e medidas de proteção, assim como as técnicas de reabilitação apropriadas.

As causas das deteriorações podem ser divididas em três grupos:

- patologias por retração do betão ou variações de temperatura;
- ações agressivas, sendo físicas, químicas ou biológicas;
- erros ou falhas do projeto, erros da sua execução, exploração e manutenção;

Neste subcapítulo, serão abordadas as patologias do betão armado, as características próprias das obras marítimas, nomeadamente micro-climas e condições de exposição, e ainda o fenómeno de corrosão negra.

2.1.1 Propriedades dos materiais e ambiente de exposição

O betão é um material obtido da mistura de finos, agregados, cimento e água (Dicionários Porto Editora, 2017). Graças à diferença de densidades destes materiais, surgem fendilhações e até deformações, quando é colocado no local e enquanto passa pelo processo de solidificação, independentemente da execução correta dos procedimentos. Às causas das patologias, juntam-se as variações de temperatura e as ações agressivas à estrutura.

As patologias características das propriedades, dos constituintes, do betão podem ser originadas pela retração plástica, retração por secagem e ainda retração térmica.

A retração plástica ocorre durante o processo de presa do betão. Este tipo de fissuração é mais suscetível de ocorrer em superfícies horizontais com grande área exposta ao sol (lajes), assim que haja uma rápida evaporação de água (Figura 1), alterando a homogeneidade do composto. Devido à diferença de densidade dos agregados finos e grossos, a areia e a brita tendem a descer na pasta de cimento, enquanto que uma parte da água evapora, causando tensões internas que geram fissuras na superfície (Coutinho, 2006).

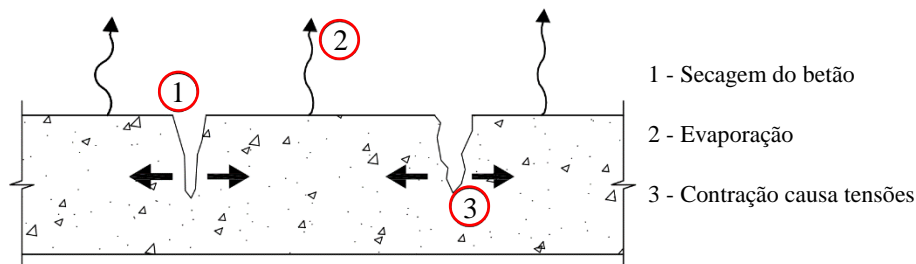


Figura 1: Mecanismo da retração plástica, adaptado de Costa (1999)

A retração por secagem ocorre assim que o betão ganha presa, ou seja, perde a plasticidade, inicia-se o processo de cura do betão, no qual o betão ganha a resistência designada na classe de resistência. Nesta fase, os elementos betonados perdem a água por evaporação e, por sua vez, volume. Caso o elemento esteja restringido de movimentos enquanto ocorre a contração volumétrica, ocorre fissuração, como está ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Efeito da retração por secagem

Para finalizar, surge a retração térmica. Trata-se de um mecanismo de deterioração semelhante aos anteriores, onde a fendilhação é baseada no diferencial de temperatura que existe ao longo da secção transversal (Figura 3) sendo característico de elementos de grandes dimensões (barragens).

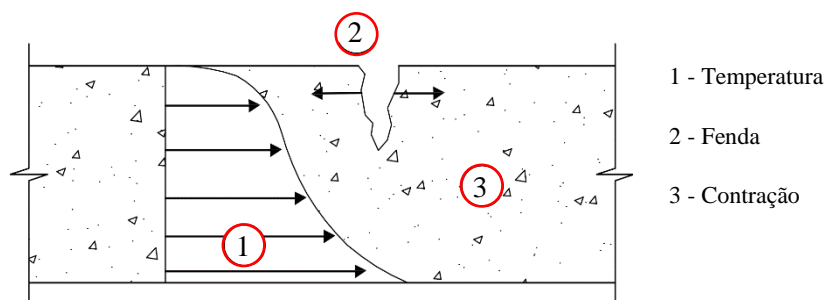


Figura 3: Mecanismo de retração térmica, adaptado de Costa (1999)

As variações ou ciclos de temperatura, originam expansões e contrações volumétricas, caso a estrutura aqueça ou arrefeça. Esta ocorrência aliada a uma constrição de movimento, numa dada parte do elemento estrutural, origina também tensões internas de tração que levam à fendilhação.

Reparação das Vigas do Entrepósito Frigorífico do Funchal – Um caso de estudo

Por fim, apresentam-se as ações agressivas. Em engenharia civil, entendem-se por ações agressivas quaisquer fenómenos extrínsecos nocivos à estrutura. Estas ações agressivas podem ser oriundas de ações físicas, químicas ou biológicas (NP EN 1992-1-1, 2010).

Entendem-se como ações agressivas físicas o ciclo gelo/degelo, a ação do fogo, a cristalização de sais, as variações de temperatura e ainda ações diretas ocorridas na exploração (desgaste). Nas químicas, encontram-se os mecanismos de corrosão pelo ataque dos dióxidos de carbono, cloretos e oxigénio, seguem-se as reações expansivas do cimento (ácidos) e dos agregados (álcalis), juntamente com a dissolução do cimento, causada pelo ataque de ácidos, águas puras e sais.

Por último, o ataque biológico, onde os materiais são atacados pelas formas de vida que surgem na superfície do betão. Um exemplo são os fungos que, ao habitarem nos elementos de betão, produzem ácidos que, por sua vez, causam reações químicas nocivas.

2.1.2 Quadro de Patologias

Na Tabela 1, ilustram-se as diversas patologias descritas anteriormente.

Tabela 1: Tabela de patologias, adaptado de Costa (1999)

	Deformação excessiva; patologia gerada por cargas excessivas, falha de projeto (ex.: armadura insuficiente), falha de construção (ex.: falha da escora) ou desequilíbrio de tensões no terreno que levam a pequenos assentamentos locais.
	Reação expansiva de álcalis-sílica; trata-se de uma reação expansiva entre os metais alcalinos e os silicatos existentes nos agregados no betão, sendo o resultado a fendilhação, devido ao gel de sílica formado.
	Reação com água do mar; ataque químico proveniente da reação entre os iões agressivos e a pasta de cimento, resultando na decomposição da pasta de cimento, desagregação do betão, erosão, entre outros.

Capítulo 2 – Estado da Arte

	<p>Corrosão de armaduras por carbonatação; mecanismo inicia-se uma vez que o $pH \leq 9$, ou seja, quando ocorre a despassivação das armaduras; corrosão lenta e geral.</p>
	<p>Corrosão de armaduras por cloretos; mecanismo inicia-se assim que seja atingido o teor crítico; trata-se de um processo rápido e localizado.</p>
	<p>Delaminação; separação local da camada de recobrimento do elemento de betão armado, devido aos produtos de corrosão das armaduras.</p>
	<p>Desagregação do betão (desintegração da camada superficial do betão).</p>
	<p>Erosão (perda da pasta de cimento).</p>

	<p>Infiltrações de águas.</p>
	<p>Eflorescências (deposição na superfície de sais dissolvidos).</p>

2.1.3 Corrosão

A corrosão das armaduras é um fenómeno que ocorre por meio de um processo eletroquímico através de reações químicas e corrente elétrica. Trata-se de um mecanismo dependente das propriedades do betão, disposição dos varões, do meio ambiente e ainda dos elementos estruturais (Appleton J. , 2013)

Embora o ataque dos cloretos ocorra logo que superfície de betão esteja exposta ao ambiente, segundo Costa (1997) os varões ficam protegidos por uma película passiva, mantida pela alcalinidade do betão (Figura 4). Em condições normais, o betão encontra-se protegido, desde que o pH se encontre entre 12.5 e 13.5.

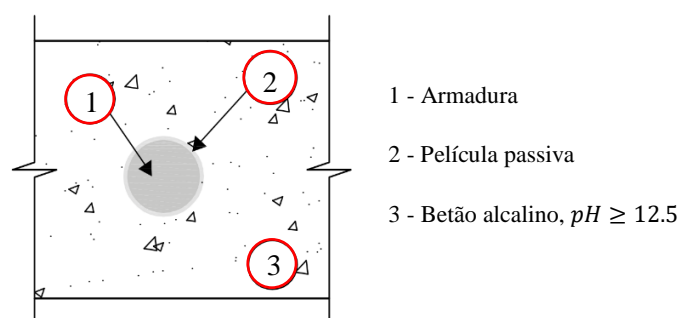


Figura 4: Pormenor secção transversal, película passiva, adaptado de Costa. (1997)

Com o passar do tempo, assumindo continuidade do ataque dos agentes agressores, o betão vai perdendo a sua alcalinidade e, assim que o pH se encontre em valores inferiores a 10-11, é atingido o valor crítico levando à despassivação das armaduras, ou seja, destruição da película protetora.

Capítulo 2 – Estado da Arte

Uma vez que uma parte da armadura entra em contacto com as moléculas de dióxido de carbono ou de cloretos, inicia-se o mecanismo de corrosão (Figura 5).

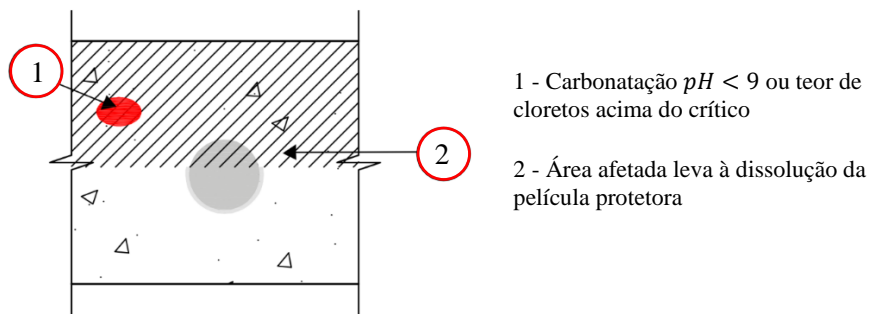


Figura 5: Pormenor secção transversal, dissolução da película passiva, adaptado de Costa (1997)

Este mecanismo requer a presença de oxigénio, uma diferença de potencial e de um eletrólito, resultando nos quatro elementos obrigatórios seguintes, representados na Figura 6 (Costa, 1997):

- ânodo: zona da armadura despassivada;
- cátodo: zona da armadura exposta ao oxigénio;
- condutor elétrico: armadura;
- eletrólito: betão.

Em termos práticos, a inexistência de um dos elementos traduz-se no seguinte:

- inexistência de ânodo: a armadura não perdeu a película protetora, ou seja, não está despassivada;
- inexistência de cátodo: não há acesso ao oxigénio em elementos submersos;
- condutor elétrico: não há passagem de eletrões;
- inexistência de eletrólito: o betão possui baixa condutividade, nos elementos situados em ambientes secos.

É de acrescentar que o betão, como eletrólito, funciona como um condutor iónico que engloba as zonas anódicas e catódicas

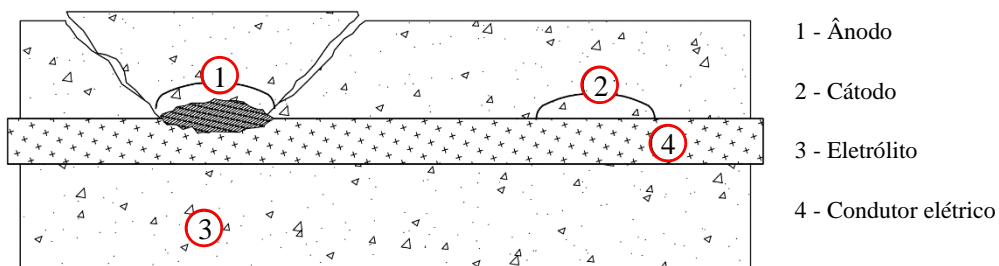


Figura 6: Elementos necessários à ocorrência de corrosão, adaptado de Costa (1997)

Reunidas as condições para o desenvolvimento do mecanismo de corrosão, o primeiro resultado do processo é a dissolução do ferro (Fe^{++}), Equação (1), na zona da armadura com acesso ao oxigénio. Nesta dissolução, são formados ainda dois eletrões ($2e^{-}$) que se deslocam para o cátodo, reagindo com a água e o oxigénio, formando iões hidróxidos, Equação (2), (OH^{-}) que se deslocam para o ânodo, reagindo com a dissolução do ferro, formando o primeiro produto de corrosão (3) (Costa, 1997).

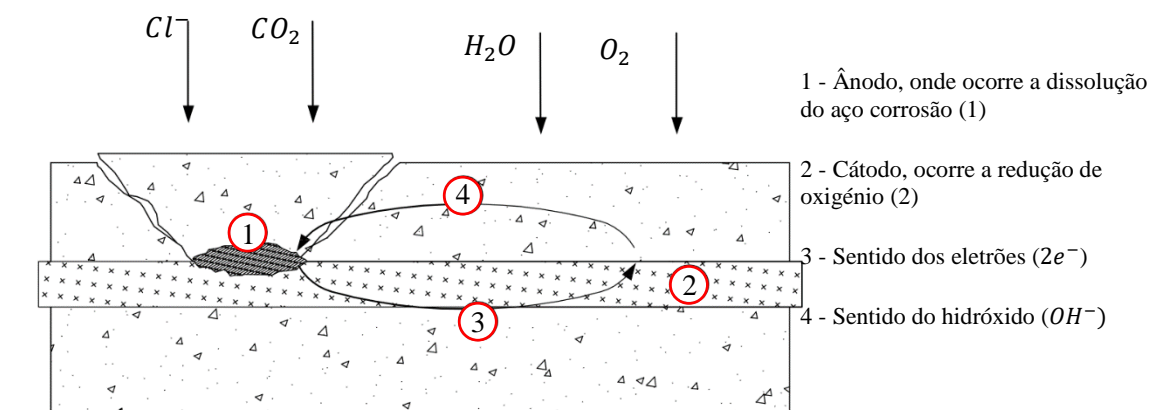


Figura 7: Ilustração das reações químicas do mecanismo de corrosão, adaptado de Andrade (2001)



Os produtos das equações (1) e (2) reagem e formam os produtos de corrosão como está descrito na equação abaixo.



Em reações secundárias, surgem os produtos de corrosão junto à zona em que a armadura se encontra despassivada (zona anódica – ânodo). É aqui que ocorre uma expansão volumétrica no interior do betão, resultante dos hidróxidos de ferro ($Fe(OH)_3$) e óxidos de ferro (Fe_3O_4) que, por sua vez, geram forças expansivas que levam à fendilhação e delaminação do betão (Appleton, Costa, & França, 2004). Em simultâneo ocorre perda de aderência entre o varão de aço e o betão, graças à presença de uma película gerada pelo produto de corrosão.

Os hidróxidos e óxidos de ferro, $Fe(OH)_3$ e Fe_3O_4 , resultam das reações secundárias inerentes ao processo, sendo os produtos de corrosão mais volumosos. Abaixo é ilustrado o acréscimo de volume relativo, de todos os produtos consequentes.

Na Figura 8 observa-se que os óxidos de ferro chegam a apresentar 2 a 3 vezes mais o volume relativo, em relação ao ferro, enquanto que os hidróxidos de ferro, rondam volumes 4 vezes acima.

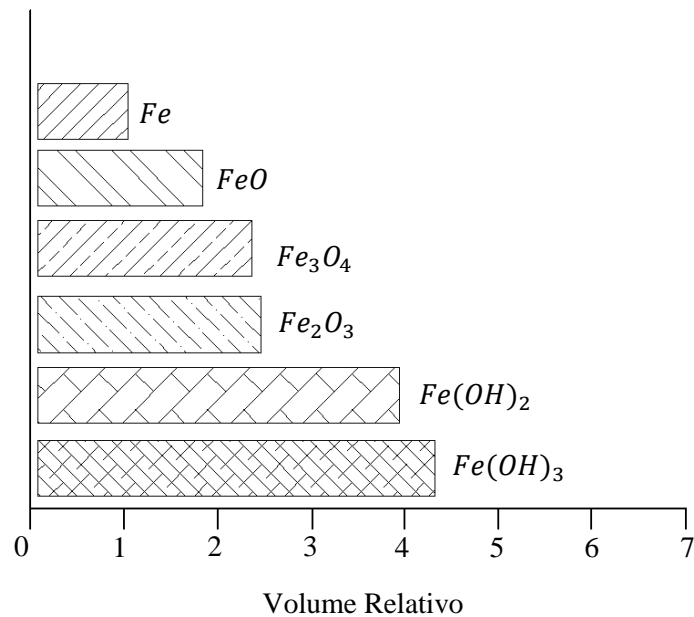
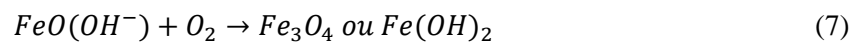
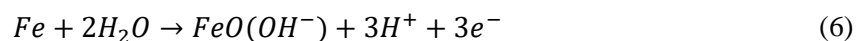
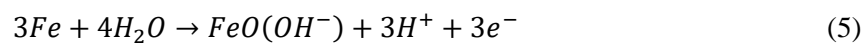
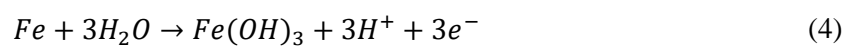


Figura 8: Volume relativos dos produtos de corrosão das reações secundárias, adaptado de Costa. (1997)

Os hidróxidos e óxidos de ferro, são gerados nas reações secundárias, na zona anódica. Este processo é descrito pelas seguintes equações:



A corrosão é um processo que pode ser dividido em fases distintas, segundo os níveis de deterioração. O modelo de Tuutti (Figura 9), apresentado em 1982, refere duas fases: fase de iniciação e fase de propagação (Gulikers, 2002). Neste modelo a primeira fase está compreendida entre a execução da estrutura até ao momento em que os agentes agressores (Cl^- e CO_2) despassivam as armaduras. Despassivadas as armaduras, inicia-se a fase de propagação. São produzidos aqui os primeiros produtos de corrosão que conduzem a uma deterioração, à qual é mandatória uma reabilitação da estrutura.

Mais tarde é apresentado o modelo de Cady-Weyers, com uma terceira fase. Liu & Weyers (1996), estipulam três etapas para o processo de corrosão: difusão, corrosão e deterioração (Figura 9). Comparativamente ao modelo de Tuutti, diferença encontra-se nos níveis de deterioração. A segunda fase engloba a deterioração, desde o início da corrosão até a uma fendilhação aceitável. Uma vez que a abertura de fendas seja superior a 2.5% da altura do recobrimento, inicia-se a terceira fase que se finaliza com o colapso da estrutura.

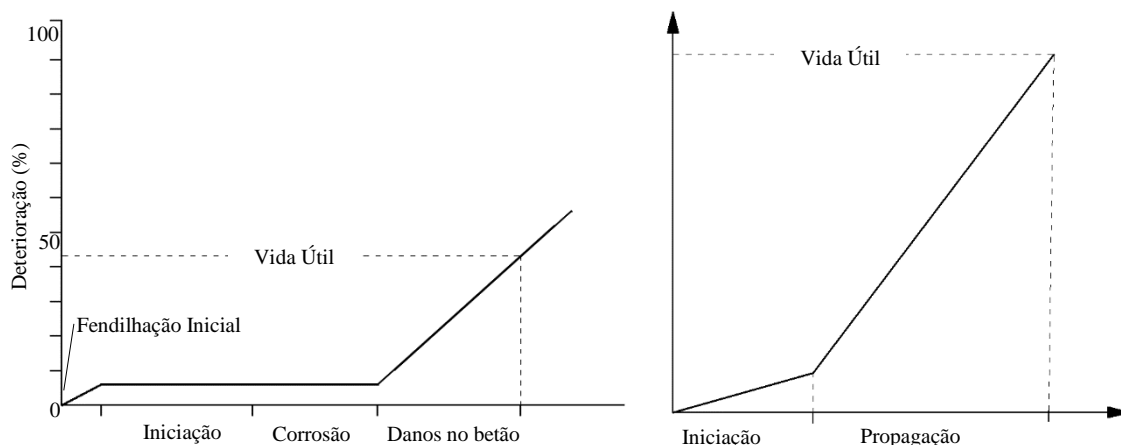


Figura 9: a) Modelo de Cady-Weyers; b) Modelo de Tuutti, adaptado de Liu & Weyers (1996)

O modelo de mais fácil compreensão e aplicação, é o de Heckroodt (2002). Igualmente com 3 etapas, este modelo conta com o período de iniciação, igual aos modelos apresentados, período de propagação e período de aceleração. O período de iniciação não apresenta nenhum tipo de danos na superfície do betão, assim como sinais de corrosão. Uma vez que começa a corrosão, inicia-se o período de propagação. Dado que surgem os primeiros produtos de corrosão, a deterioração conta com já alguma degradação das armaduras, sendo possível observar-se uma fendilhação de menor importância. Assim que surja delaminação do betão de recobrimento, estabelece-se o período de aceleração.

Nesta fase final, estabelecida a zona catódica, reúnem-se as condições ideais para o mecanismo de corrosão se propagar observando perda contínua da secção das armaduras e fendilhação severa.

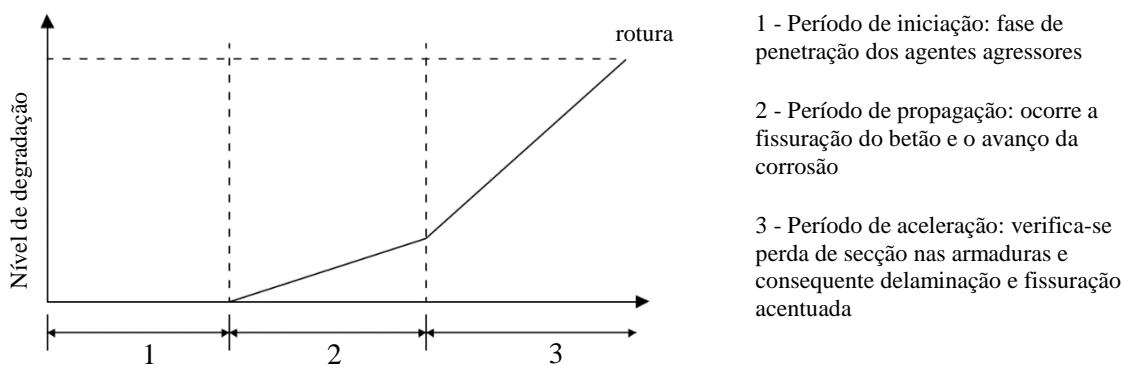


Figura 10: Fases no processo de corrosão de armaduras, adaptado de Heckroodt (2002)

Em qualquer estrutura, o período de vida útil é condicionado pelo período de iniciação. Por norma, procura dimensionar-se uma estrutura para que o tempo de vida útil seja inferior ao período de iniciação. Deste modo, em condições normais, a probabilidade de reabilitar ou reparar a estrutura é virtualmente nula.

Consoante o grau e o tempo de exposição, definem-se três estados possíveis (Figura 11) para as armaduras no betão (Casado, 1997): estado passivo, estado de corrosão e estado ativo. No estado passivo, o betão não se encontra contaminado por substâncias agressivas, enquanto no estado de corrosão a estrutura encontra-se no período de propagação e, eventualmente, de aceleração. No

estado ativo, as armaduras estão catodicamente protegidas, ou seja, o betão, por estar completamente saturado ou seco, não tem acesso ao oxigénio.

As armaduras podem apresentar produtos de corrosão, com morfologias e origens diferentes na estrutura. Como está ilustrado abaixo, a corrosão manifesta-se em 3 formas distintas: localizada, generalizada ou sob tensão (também localizada).

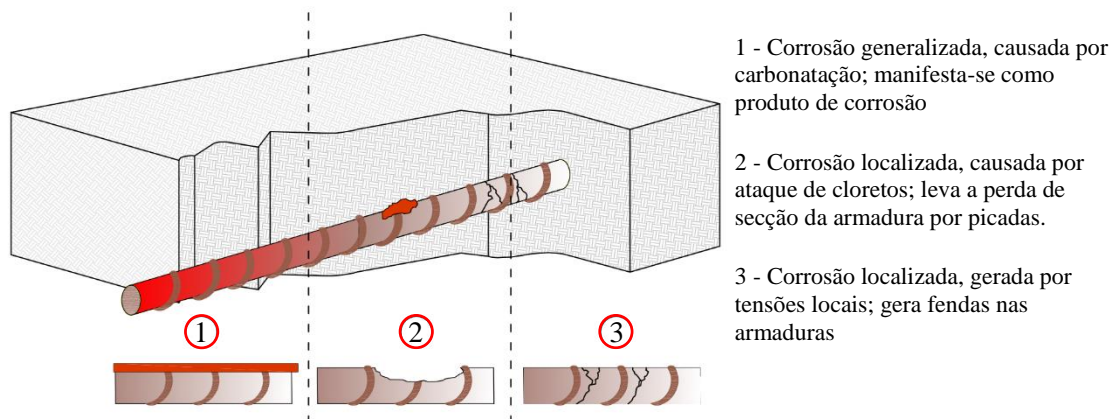


Figura 11: Tipos de corrosão, adaptado de Cascudo (1997)

A corrosão generalizada ocorre quando a película passiva sofre perda geral, seja pelo teor elevado de cloretos, penetração dos dióxidos de carbono ou lixiviação do hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) (Andrade, 2001). Pode manifestar-se uniformemente, onde apresenta uma superfície regular e lisa, não uniformemente onde o produto de corrosão é rugoso e irregular.

Caso ocorra dissolução pontual da película protetora, define-se a corrosão como localizada. É geralmente causada pela invasão de iões cloreto, provenientes do ambiente exterior ou oriundos de algum dos componentes constituintes do betão (ex: agregados, água de amassadura). Neste caso o cátodo apresenta-se sob a forma de uma célula de corrosão, com uma área passiva intacta, e um ânodo representado por uma reduzida área de varão.

Por corrosão sob tensão entende-se aquela originada por microfissuras, causadas pelas tensões não uniformes, que progridem rapidamente e acabam por levar a uma rutura frágil da armadura. Trata-se de um tipo de corrosão localizada, caracterizada pelas roturas bruscas, quase sem sinais de corrosão e sem deformações apreciáveis, sendo das patologias com maior grau de perigosidade.

2.1.4 Corrosão por ação da carbonatação

A corrosão por ação da carbonatação é um mecanismo que ocorre por penetração de dióxido de carbono (CO_2), em conjunto com a água nos poros do betão, seguido da reação com os hidróxidos de cálcio ($Ca(OH)_2$) provenientes do betão (Andrade, 2001). Trata-se de um tipo de corrosão com velocidade de propagação lenta e menos gravosa para uma estrutura, em comparação com a corrosão por ataque de cloretos.

Em equação química, o descrito traduz-se no seguinte:



Andrade (2001) descreve o processo em três etapas. Após a penetração do dióxido de carbono, este reage com as moléculas de água, formando o ácido carbónico. Posteriormente, este produto interage com os componentes alcalinos existentes, baixando assim a alcalinidade do meio, até que o valor crítico de *pH* seja atingido (≈ 9). A nível de deteriorações, este mecanismo não tem influências profundas no betão, conferindo apenas fissuras por retração que melhoram o acesso de oxigénio às armaduras.

Consoante a descida do nível de *pH*, segundo Berkeley & Pathmanaban (1990), ocorre o seguinte:

- para $pH < 9.5$, inicia-se a corrosão;
- para $pH = 8.0$, a película passiva é eliminada;
- para $pH < 7.0$, prossegue a corrosão acentuada;

Além das 3 fases em que o processo decorre no elemento de betão deteriorado, Costa (1997) aponta três zonas, consoante a profundidade do elemento: zona carbonatada, não carbonatada e ainda uma zona intermédia, como está representado na Figura 12

- zona carbonatada: houve consumo de iões hidróxido e o *pH* desce para valores inferiores a 9;
- zona não carbonatada: zona livre de dióxidos de carbono ($pH \approx 13$);
- zona intermédia: onde começa o mecanismo de corrosão por carbonatação e a alcalinidade começa a diminuir.

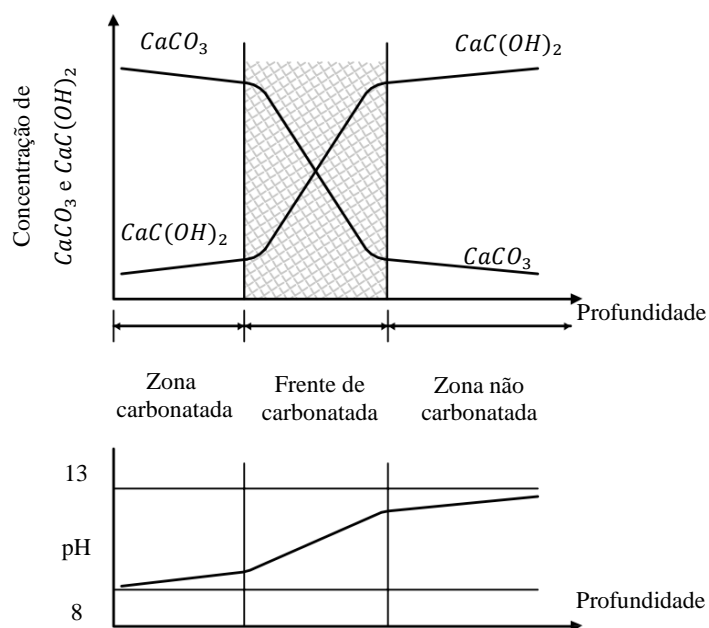


Figura 12: Variação do teor de carbonatos e valores de *pH*, em relação à profundidade, reproduzido de Costa (1997)

Capítulo 2 – Estado da Arte

A celeridade do processo depende do teor de humidade da estrutura, humidade relativa em redor da estrutura, assim como do teor de CO_2 existente, composição do betão (quanto mais alcalino, mais resistente) e ainda pela sua razão água/cimento (razão a/c) (Appleton J. , Costa, Moura, Gonçalves, & Junior, 2000).

Em ambiente marítimo, apesar da muito maior abundância e agressividade dos cloretos, a ação da carbonatação chega a ter influência apreciável. Os dióxidos de carbono diminuem a capacidade de fixação e as reações de cloretos com a pasta de cimento, aumentando o teor de cloretos livres, levando ao aumento da velocidade de penetração dos cloretos (Rodrigues, 2011).

2.1.5 Corrosão por ataque de cloretos

O ataque de cloretos é o que apresenta maior peso no mecanismo de corrosão, devido à sua velocidade de propagação, agressividade e abundância de agentes nocivos. Por este mecanismo a despassivação inicia-se assim que o teor de cloretos junto às armaduras exceda os 0.6% de teor de cloretos por massa de cimento.

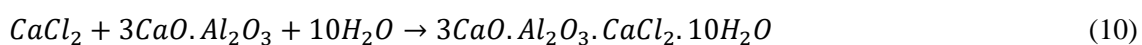
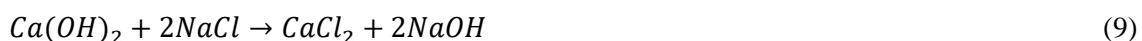
Segundo Andrade (2001), os cloretos apresentam-se no interior dos elementos estruturais, nos dois estados seguintes: combinados, seja quimicamente e fisicamente, não sendo agressivos; livres, situados na solução dos poros, podendo reagir com as armaduras. Quanto à origem, podem ser oriundos de agregados contaminados (origem interna), ou podem surgir do exterior, como a água do mar (origem externa).

Os iões cloreto podem ser encontrados no interior do betão combinados com aluminatos tricálcicos e com ferro aluminato tetracálcico (C_3A e C_4AF), fisicamente adsorvidos na superfície dos poros do betão e ainda sob a forma de iões livres na solução dos poros.

O mecanismo de corrosão por ataque de cloretos é semelhante ao ataque por carbonatação, na fase inicial. De início, dá-se a penetração dos agentes agressivos, até que seja atingido o teor crítico, despassivando as armaduras, possibilitando que os cloretos interajam com os iões ferro, funcionando como catalisadores, libertando na reação eletrões que se movem pela armadura até ao cátodo, criando cloreto de ferro junto à zona anódica. Posteriormente, o cloreto de ferro reage com os iões hidróxidos, libertando cloretos, formando hidróxidos de ferro (produto de corrosão).

Segundo Ben-Yair (1974), este mecanismo tem início assim que o cloreto de magnésio ($MgCl_2$), reage com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) proveniente do cimento hidratado, formando cloreto de cálcio ($CaCl_2$), que sendo solúvel, acaba lixiviado, causando perdas de material.

O descrito, em equações químicas, é traduzido no seguinte:





Consequentemente ocorre a redução da concentração de iões hidróxido, seguida da diminuição dos níveis de pH e concentração de iões cloreto livres junto ao ânodo (Coito, 2008).

2.1.6 Particularidades em obras marítimas

Nas obras marítimas, devido à grande exposição aos elementos, encontram-se muito frequentemente obras com deterioração:

- por ação direta, como o desgaste da estrutura causado pela rebentação das ondas, exploração e pelo embate das embarcações;

- origem química, onde ocorre corrosão das armaduras prioritariamente pelo ataque de cloretos, deterioração do betão pela ação da água do mar, onde os iões agressivos reagem com a pasta de cimento, resultando na desagregação do betão e perda de secção;

- origem biológica pela eventual existência de bactérias, fungos e lodo que, por sua vez, produzem ácidos que reagem com o betão.

Das causas de deterioração enumeradas anteriormente, a mais gravosa é a deterioração pelo ataque de cloretos. Uma vez que a água do mar apresenta cloreto de sódio na ordem das 35 partes por mil (ppmil), ou 35 g/l (Figura 13), encontra-se aqui uma grande quantidade de agentes nocivos que, por sua vez, também são dos mais agressivos às armaduras do betão (Coutinho, 1998).

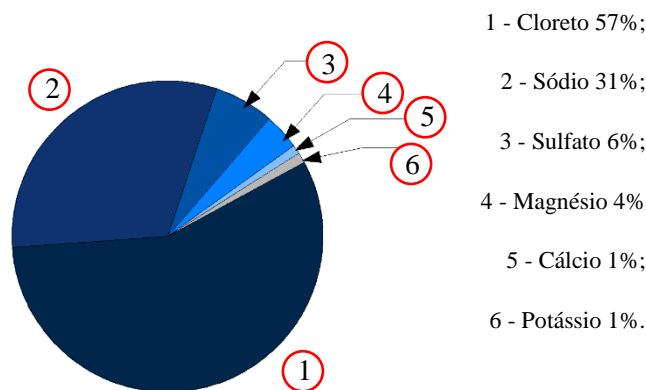


Figura 13: Composição dos sais dissolvidos da água do mar, reproduzido de Coutinho (1998)

Atendendo à predominância do ataque de cloretos, característico das obras marítimas, será abordado em detalhe o processo da corrosão das armaduras e repercussões associadas nos subcapítulos seguintes.

2.1.7 Condições de exposição e mecanismos de transporte

Todas as estruturas situadas em ambientes marítimos ou fluviais, são alvo de 4 condições de exposição (Costa, 1997), i.e., 4 microclimas consoante a profundidade do elemento em relação à água.

Atendendo a que as deteriorações e os mecanismos associados diferenciam-se para cada microclima, é vantajoso delinear cada microclima, visto que o grau de agressividade dos agentes agressores varia em concordância. A figura abaixo ilustra as diversas condições de exposição (microclimas) e os seus mecanismos de transporte.

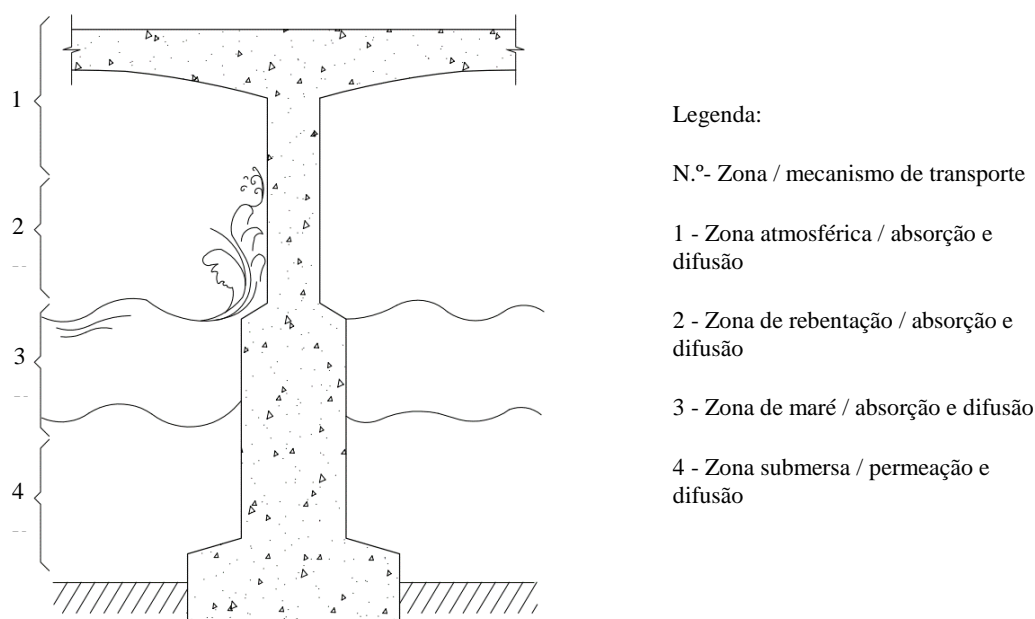


Figura 14: Micro climas e mecanismos de transporte associados, adaptado de Costa (1997)

Identificam-se, em profundidade crescente, 4 zonas: zona atmosférica, zona de rebentação, zona de maré e, finalmente, zona submersa.

- zona atmosférica (ZA): sempre acima do nível do mar e da rebentação, ou seja, zona onde assume-se a inexistência do contacto entre a água e o betão, seja por transporte do vento ou proveniente das ondas; a deterioração predominante é a corrosão por ataque de cloretos, transportados por via aérea; é uma zona correntemente bastante deteriorada devido ao elevado contacto com o oxigénio (Lima, Mazer, Brito, Morelli, & Lencioni, 2006);

- zona de rebentação (ZR): esta zona inicia-se pela altura máxima que a rebentação consegue alcançar; aqui o betão é sujeito a ciclos de molhagem e secagem, aliados a temperaturas e humidades constantes, que privilegiam um acelerado desenvolvimento de mecanismos de corrosão (Liu, 1991); há grande possibilidade de erosão na superfície do betão por desgaste;

- zona de maré (ZM): sujeita a ciclos de molhagem e secagem, como a zona de rebentação, porém, sendo as marés a causa do ciclo, o período de molhagem supera consideravelmente o período de secagem; a corrosão nas armaduras é geralmente mais baixa comparativamente à ZR, pois o betão encontra-se saturado na maior parte do tempo; é possível verificar-se ataque biológico e químico (Costa, 1997);

- zona submersa (ZS): zona em que os elementos se encontram sempre abaixo do nível mínimo da água; zona sem acesso ao oxigénio, que leva a desprezar a possibilidade de corrosão; em certos casos pode ocorrer corrosão negra, sem provas aparentes (reações expansivas e fendilhação à superfície);

A Figura 15 demonstra os resultados obtidos experimentalmente por McCarthy & Giannakou (2002), nomeadamente a concentração de cloretos segundo a profundidade, comparando a zona de rebentação e as zona de mar. Este ensaio testa o betão cofrado com 2 tipos de materiais. A linha “Ref” indica o perfil de cloretos, para o betão com cofragem convencional, enquanto que as curvas CPF Fase 1 e 2, representam o betão cofrado com cofragens de permeabilidade controlada (Controlled Permeability Formwork- CPF), separadas por um ano. Observa-se, em todas as curvas, que o teor de cloretos é superior na zona de rebentação do que na zona marítima.

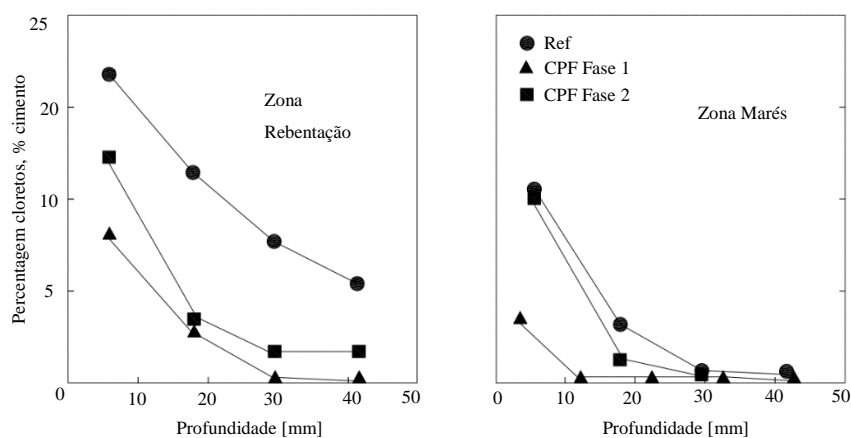


Figura 15: Variação da percentagem de cloretos com a profundidade para diferentes zonas da estrutura, reproduzido de McCarthy & Giannakou (2002)

2.1.8 Corrosão negra

Uma patologia particular dos ambientes marítimos é a corrosão negra. Trata-se de um tipo de corrosão que requer pouco oxigénio para se manifestar, podendo ocorrer em elementos completamente submersos. A oxidação continua a necessitar da existência de um ânodo e de um cátodo, contudo a distância entre eles pode ser muito maior, possibilitando a corrosão muito abaixo do nível do mar (El-Reedy, 2007).

Esta patologia tem o nome de corrosão ou oxidação negra, pois os seus produtos ganham uma cor negra ou verde muito escura, perante exposição ao oxigénio. Ao contrário dos outros tipos de corrosão, não gera danos na superfície do betão. Isto faz com que seja impossível detetar o aço corroído, sem a remoção do betão de recobrimento (Ribeiro, et al., 2015).

Na Figura 16 é demonstrado as diferenças nos vestígios em cada tipo de corrosão. Na figura a), é possível verificar a degradação do betão circundante ao varão, enquanto que na figura b), ainda permanecem as formas das armaduras nervuradas.

Este estado de preservação só ocorre pelo facto da dissolução do aço (Fe^{++}) na água, permanecem em solução, não reagindo com iões hidróxido (OH^{-}), impossibilitando a existência de produtos de corrosão, ver Equação (3).



Figura 16: a) Efeitos da corrosão: b) Efeitos da corrosão negra

Neste processo a dissolução do ferro ocorre da mesma forma da Equação (1), no entanto a reação catódica, segundo Ribeiro, et al. (2015), é a dissolução da molécula de água em hidróxidos e hidrogénios, como está abaixo indicado:



Visto que não confere qualquer tipo de aviso de deterioração, é de esperar que seja das patologias mais preocupantes (Appleton J. , Costa, Moura, Gonçalves, & Junior, 2000). Como tal, é sempre necessário considerar a hipótese de corrosão das armaduras nos elementos submersos por forma a não comprometer a segurança dos utentes da estrutura.

2.2 ERROS DE CONCEÇÃO

As patologias que acabam por surgir numa estrutura podem ser, causadas por fator humano. Uma vez que o processo desde o projeto até à exploração da obra, é realizado por trabalhadores, encontram-se aqui n oportunidades para erros.

O presente subcapítulo aborda o terceiro grupo de causas de patologias, em 3 secções: erros de projeto, erros de execução e ainda falhas na manutenção e exploração.

2.2.1 Erros de projeto

No projeto, antes de passar para as verificações de estabilidade (Estados Limites Últimos e de Serviço), são definidos os materiais baseando-se nas classes de exposição. Outro parâmetro a especificar, que serve como medida de proteção, é a altura de recobrimento (NP EN 1992-1-1, 2010), designando a altura de betão existente entre a superfície e a armadura mais próxima.

Qualquer especificação deficiente destes parâmetros pode gerar um mecanismo de deterioração. Uma má especificação do betão pode acelerar/facilitar reações químicas, enquanto que um recobrimento abaixo do adequado gera uma fronteira menos espessa entre as armaduras e o ambiente nocivo, encurtando o período de iniciação.

Juntam-se às causas anteriores, as deficientes avaliações dos fenómenos causados pela retração do betão e pelas variações de temperatura, deficiente controlo de fendilhação, deformação, má conceção estrutural e lapsos nas avaliações das ações/esforços atuantes.

2.2.2 Erros de execução

Mesmo que se tenham definido corretamente os materiais e as propriedades geométricas, nada funcionará devidamente se o processo de construção for incorreto. Durante a construção, há que ter atenção na qualidade das cofragens, posicionamento de armaduras, colocação dos espaçadores (respeitando recobrimentos), compactação do betão, assim como a cura do betão e ainda o processo de descofragem (Coutinho, 2006).

A utilização de cofragens deficientes possibilita a saída de finos e, conseqüentemente, a concentração de agregados, o que incita à deterioração por corrosão. A perda de finos cria uma passagem ao ambiente exterior, colocando uma parte da armadura em contacto com o oxigénio (cátodo).

A não colocação dos espaçadores coloca o aço mais próximo da superfície, encurtando o período de iniciação. Mais grave ainda é o posicionamento incorreto das armaduras, pois além de não respeitar o projeto, deixa de proporcionar a eficácia destinada, levando a uma alteração dos esforços e complicações no processo de betonagem.

O processo de vibração (compactação) do betão é de extrema importância. Esta fase final da betonagem garante a homogeneidade do betão, garantindo a sua durabilidade e comportamento durante o período de vida útil estipulado. Uma das deteriorações associadas é a perda de finos à superfície da peça.

2.2.3 Falhas na manutenção e exploração

No tempo de vida útil de uma estrutura, esta pode ser mal monitorizada e até solicitada por cargas acima das previstas. Seguramente, cargas excessivas trarão deformações, vibrações e fendilhações superiores às calculadas, o que leva a uma degradação muito mais acentuada. No entanto, uma monitorização deficiente ou inexistente, não deteta eventuais patologias que possam existir, com uma manifestação de menor magnitude.

Um exemplo poderá ser a remoção de terras num terreno adjacente que perturbe o equilíbrio das tensões no solo, gerando, assim, assentamentos diferenciais e causando distorção na estrutura em questão. Sem uma monitorização regular e eficaz é por vezes impossível detetar estas patologias a tempo.

2.3 INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS

Assim que uma dada estrutura apresente algo fora do normal ou algo que sugira algum motivo de insegurança, seja por questões de serviço ou até na aparência, é sempre necessário visitar o local e indicar quais as patologias existentes (Flores & Brito, 2001). A este processo chama-se inspeção de estruturas.

Naturalmente, como qualquer trabalho de preparação, é sempre realizada uma recolha de toda a informação possível, aumentando a eficiência do processo. Nesta documentação, inclui-se o projeto, todas as alterações e intervenções realizadas durante a exploração, e ainda artigos técnicos (Appleton J. , Inspeção e Reabilitação de Pontes, 2005).

Capítulo 2 – Estado da Arte

No presente subcapítulo, serão abordados os vários tipos de inspeção, inspeção preliminar, básica e especial, cada um dos seus objetivos, assim como o material de apoio e equipamento a utilizar em cada inspeção.

2.3.1 Inspeção preliminar

Recolhida a informação referente à estrutura, o primeiro passo na avaliação do seu estado é a inspeção preliminar. Trata-se de uma avaliação puramente visual, onde se apreciam e se avaliam os problemas, mais agravantes à vista desarmada (Appleton J. , Inspeção e Reabilitação de Pontes, 2005).

O objetivo deste procedimento é verificar a concordância entre projeto e obra, perceber o tipo de ambiente de exposição, definir pontos de acesso que garantem a segurança, mapear todas as patologias observadas e registar a utilização da obra no estado atual (Flores & Brito, 2001).

Este passo preliminar é absolutamente necessário, pois esclarece quais os pontos alvo a avaliar, define que tipos de inspeção serão necessários e confere uma primeira avaliação das causas das patologias. Adicionalmente, dá a perceção de que mão-de-obra e medidas de segurança serão necessárias, permite ainda estimar os custos.

Nesta fase, é apenas utilizado equipamento pessoal adequado a visita de obras, como botas com biqueira de aço e sola reforçada, colete de visibilidade e capacete, e material de apoio à inspeção. Como material de apoio, é empregue bloco de notas, câmara de vídeo ou fotográfica, lanterna, fita métrica, assim como outro equipamento qualquer que facilite a determinação e o registo das patologias (Costa, n.d.).

2.3.2 Inspeção básica

Trata-se de uma inspeção planeada, com o intuito de determinar exatamente a severidade e extensão das patologias, ou seja, é onde se avalia a integridade visual do betão, examina-se a fendilhação, deformação, delaminação e localização de armaduras à vista. Além de verificar a superfície do betão, é verificada em rigor toda a geometria entre a obra e o projeto (Appleton J. , Inspeção e Reabilitação de Pontes, 2005).

O material utilizado é o mesmo que na inspeção preliminar, com a adição de meios de acesso, como as plataformas móveis, ou *drones* com máquina de vídeo ou fotográfica, no caso da inacessibilidade ser elevada (Araújo, 2014). Deparando-se com uma estrutura subaquática, a inspeção recorre a todo o equipamento de mergulho como fatos de mergulho e garrafas de oxigénio, técnicos devidamente qualificados, que efetuam um registo em fotografia e vídeo para posterior avaliação entre técnicos e engenheiros.

A fim de determinar o estado de degradação da estrutura e localizar todas as patologias existentes, realizam-se ensaios básicos no local. Estes incluem ensaios de mapeamento da delaminação e fendilhação, ensaios de localização de armaduras e medição do recobrimento, ensaios esclerométricos, determinação da profundidade de carbonatação

O mapeamento da delaminação pode ser executado através da percussão, recorrendo a um martelo para a percussão forte, ou a um conjunto de correntes, que são arrastadas pela superfície (Figura

18). Em qualquer dos métodos, a delaminação é detetada perante um som oco. Alternativamente, o mesmo objetivo pode ser atingido recorrendo à termografia.

O mapeamento por termografia, é baseado nas diferenças de propagação de calor entre zonas delaminadas e zonas com o betão sem deterioração. O procedimento requer uma fonte de calor e uma câmara termográfica. O elemento a inspecionar é excitado por micro-ondas, aquecendo-o, e graças às diferenças de densidade, umas zonas retornaram uma leitura de temperatura maior que outras. Dado que as zonas delaminadas possuem vazios, e estes aquecem mais depressa que o betão circundante, destacam-se pelas temperaturas superiores.

A Figura 17 ilustra uma leitura de uma câmara termográfica que utiliza a escala em cor, do espectro visível, sendo as cores azul e vermelho, representantes da temperatura mias baixa e alta respetivamente, enquanto que as cores verde e amarelo representam temperaturas intermédias. Pela imagem, é possível detetar a zona com delaminação, através das áreas retangulares destacadas a verde e a amarelo.

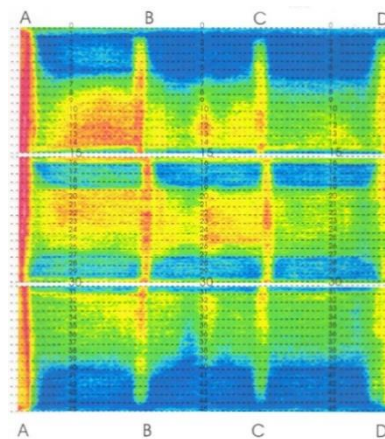


Figura 17: Imagem termográfica, adaptado de ISQ, (2017)

O registo da fendilhação necessita apenas de uma régua adequada, como está ilustrado nas figuras abaixo. No procedimento, é sempre medida a abertura de fendas, denotar a possível causa e o tipo de fenda, numa ficha técnica com uma planta da estrutura.

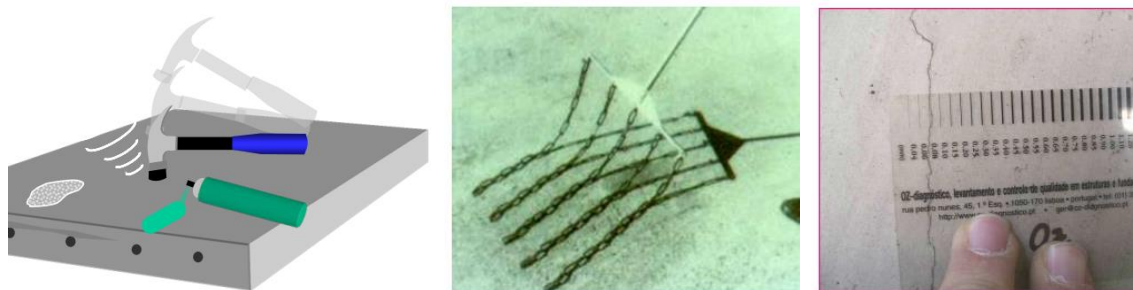


Figura 18: a) e b) Mapeamento da delaminação; c) Medição de fendas, adaptado de (Costa, n.d.)

A indicação da fendilhação varia consoante o tipo. Para fendas bem destacadas pelo comprimento e/ou abertura, são desenhados os padrões na ficha técnica, Figura 19 a). Caso se depare com micro fendilhação (craquelé), originada por diferenças térmicas ou por retração por secagem, é assinalada uma área na ficha de identificação, Figura 19b).

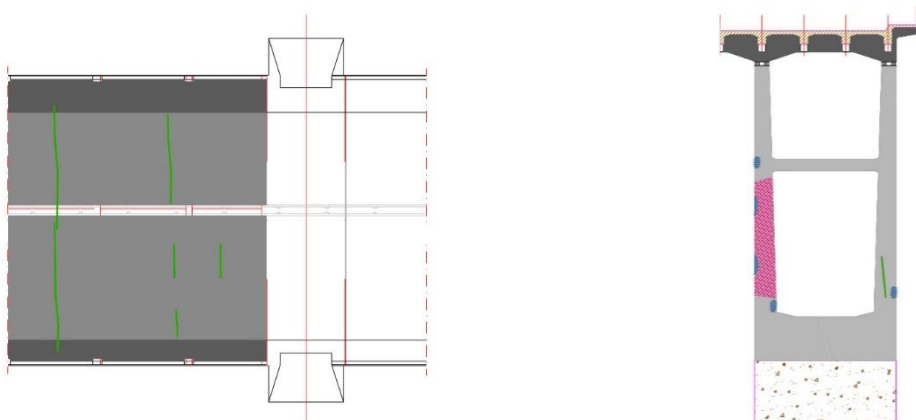


Figura 19: a) Exemplificação do registo de fendas; b) Exemplificação do registo (área a rosa) da fendilhação "craquelé", adaptado de Appleton (2005)

Para a determinação do posicionamento das armaduras e da altura de recobrimento, é corrente o uso de um detetor de metais, como o pacómetro, Figura 20 a). Este procedimento baseia-se na medição da perturbação de um campo magnético gerado pelo pacómetro.

Segundo Progenie Engineering (2015), após a limpeza da área a estudar, o processo inicia-se com a determinação do diâmetro das armaduras através de duas leituras, uma na direção paralela e outra na perpendicular do varão. Obtido o diâmetro do varão, é varrida a área, detetando as armaduras assim que é emitido um som mais alto e agudo, que varia de intensidade consoante a sua proximidade com as armaduras.

No que toca a propriedades do betão, é possível avaliar, "in situ", a sua dureza através de um esclerómetro, ver Figura 20. Um esclerómetro ou martelo esclerométrico é constituído por um martelo em aço, ligado a uma mola sob tensão que, quando acionado, embate num percutor em contacto com a superfície de betão. O valor mensurado neste ensaio é a distância de repercussão da massa após o embate na superfície de betão endurecido. Através destes valores e de correlações, são estimadas as propriedades do betão.



Figura 20: a) Ilustração detetor de metais (pacómetro); b) Martelo esclerométrico (esclerómetro)

A determinação da profundidade de carbonatação inclui-se na inspeção básica, caso sejam retiradas carotes de pequeno diâmetro (Branco & Ferreira, n.d.). O procedimento aqui é retirar amostras de betão, com uma broca de 25 mm, em incrementos de profundidades crescentes, com posterior pulverização de reagente com fenolftaleína até se deparar com amostras incolores, determinando assim a profundidade de carbonatação.

2.3.3 Inspeção Especial

A inspeção especial complementa a informação recolhida até este ponto. Para o efeito realizam-se ensaios a fim de determinar a qualidade dos materiais e suas propriedades mecânicas, ensaios para avaliar o grau e velocidade de propagação da corrosão, e ensaios para avaliação do comportamento estrutural (Appleton J. , Inspeção e Reabilitação de Pontes, 2005).

Genericamente para qualquer obra de betão armado carenciada de reparação, são retiradas, pelo menos, três tipos de amostras: amostra de betão em pó, amostra de betão em carote e ainda uma amostra de um varão existente.

Para o efeito, regem-se os seguintes regulamentos:

- EN 14629:2009 (E): Products and Systems for the protections and repair of concrete structures – Test Methods – Determination of chloride content in hardened concrete;

- NP EN 12504-1:2009: Ensaios do betão nas estruturas – Parte 1: Carotes, Extração, exame e ensaio à compressão.

O procedimento mais simples e menos moroso dos mencionados é a extração de betão em pó, regido pela norma EN 14629:2009 (E), “Determinação do teor de cloreto em betão endurecido”. No procedimento são utilizados um berbequim, uma broca, um copo e recipientes para identificar, organizar e armazenar as amostras.



Figura 21: a) Aplicação do berbequim; b) copo de recolha; c) recipientes de identificação

As amostras deverão ser colhidas por pessoal devidamente qualificado, sendo extraídas por forma a não comprometer o estado atual da estrutura, tendo em conta os esforços atuantes e o reforço.

Mais especificamente, estes cuidados deverão considerar (EN 14629:2007, 2007):

- a geometria, localização, orientação, idade e desenho estrutural;
- toda a informação conseguida através das inspeções preliminares e básicas, assim como da documentação adquirida;
- a granulometria dos agregados e a homogeneidade do betão;
- o meio ambiente em redor (condições de exposição);

Capítulo 2 – Estado da Arte

Naturalmente, o plano de ensaios deverá conter um número, localização e profundidade das amostras, inclusive os intervalos perfurados (nota: os incrementos não deverão exceder os 25 mm). Para o trabalho de campo o diâmetro da broca e conseqüente número de furos necessários, é determinado pelo tamanho máximo do agregado, enquanto que o pó deve ser colhido em intervalos de profundidade separados com uma quantidade mínima de 1 g (EN 14629:2007, 2007).

Seguindo no betão, segue-se a extração de amostra em carote, processo regido pela norma NP EN 12504-1. Este procedimento recorre a maquinaria mais específica (caroteadora) com devida mão de obra, com o objetivo de retirar um provete cilíndrico do elemento estrutural. Como material de apoio, são utilizados um martelo, escopro, geradora e água.



Figura 22: a) Caroteadora; b) caroteadora em operação; c) remoção da amostra com recurso a escorpo

O regulamento preconiza que (NP EN 12504-1:2009, 2009):

- em todo o processo, deverão ser consideradas todas as implicações estruturais, referidas anteriormente, antes de carotear;
- as carotes devem ser retiradas perpendicularmente à superfície, salvo se tenha sido especificado o contrário;
- a caroteadora deve ser posicionada rigidamente em todo o processo;
- o comprimento das carotes, para ensaios de resistência, deve ser estipulado segundo: o diâmetro da carote, o método possível de preparação da carote, se a análise comparativa será entre a resistência à compressão de um provete cúbico ou cilíndrico;
- após carotear, deverão ser identificadas todas as carotes de forma clara e indelével (não possa ser destruída); indicar a localização, assim como a orientação dentro do elemento a que pertence;
- caso se divida uma carote em peças mais pequenas, identificar, em cada uma delas, a sua posição e orientação na carote original;
- sempre que possível, marcar posição de extração, de modo a evitar armaduras;
- não permitir, de modo algum, armaduras na direção longitudinal da carote; se a carote contiver armadura transversal, registar diâmetro e posição [mm].

Reparação das Vigas do Entrepasto Frigorífico do Funchal – Um caso de estudo

Extraída a amostra deverá ser efetuada uma inspeção visual, apontando possíveis patologias e, se requerido, estimar a porosidade por referenciação a documentação técnica ou betão cuja porosidade é conhecida (NP EN 12504-1:2009, 2009).

Os varões em aço são ensaiados à tração, onde o varão é esticado por uma máquina que mede as tensões atuantes e alongamentos ocorridos, desde o início do ensaio até ao ponto da rotura. A amostra deverá apresentar um comprimento de 1 m, sem quaisquer danos ou vestígios de produtos de corrosão.

O processo é o seguinte:

- inspecionar o local, procurando zonas a intervir de modo a não comprometer o comportamento estrutural ou a segurança dos utilizadores;
- usar a saneadora, retirando todo o betão de recobrimento expondo as armaduras;
- cortar um varão com 1 m de comprimento;

A nível de ensaios, são possíveis ensaios de ultrassons e arrancamento, ensaios com provetes de aço, ensaios com avaliação da velocidade e grau de corrosão, e ainda ensaios de avaliação estrutural estáticos e dinâmicos.

No local, é possível determinar a resistência à compressão e tração (ensaios *pull-out* e *pull-off*), módulo de elasticidade, a qualidade e uniformidade do betão, assim como a localização de vazios e fendas no interior do betão (ensaio de ultrassons). Para estudo da corrosão, existem ensaios que determinam a severidade da corrosão existente e a velocidade de propagação, que é determinada com ensaios baseados na técnica de resistência de polarização.

Mais concretamente, é medido o potencial eletroquímico, que depois é associado a uma percentagem de probabilidade de corrosão (Van Daveer, 1975). Através da indução de uma corrente elétrica, é possível estimar a perda da secção das armaduras ocorrida e ainda determinar o período de propagação.

Tabela 2: Critério da probabilidade de corrosão (Van Daveer, 1975)

Potencial eletroquímico (mV)	Probabilidade de corrosão
- 200	5%
$200 < mV < -350$	50%
< -350	95%

Obtida toda a informação relativa às propriedades mecânicas dos materiais na obra, procede-se à avaliação da interação de todos esses fatores com a estrutura, considerando as propriedades geométricas e o nível de deterioração instalada. No processo inclui-se:

Capítulo 2 – Estado da Arte

- monitorização durante a execução da obra: por vezes, com a remoção de terras e as vibrações causadas pela maquinaria, observam-se assentamentos diferenciais, que originam mecanismos de colapso;

- avaliação da resposta estática: colocam-se cargas estáticas em pontos alvo da estrutura, como, por exemplo, camiões numa ponte ou parque de estacionamento, ou maciços com pesos regulados numa sapata superficial, para avaliar o comportamento em condições de serviço, i.e., medição de deslocamentos, extensões e rotações, avaliação do comportamento elástico após a descarga;

- avaliação da resposta dinâmica: é simulada a solução estrutural, as propriedades dos materiais, as cargas a aplicar, e são avaliados os modos de vibração e as frequências associadas, com auxílio a um programa de modelação estrutural ou com utilização de transdutores triaxiais de aceleração (“*in situ*”), com os quais mede-se a resposta a excitações do ambiente à estrutura.

O registo de todo o processo deve ser executado sob a forma de um relatório, com a denotação rigorosa de todas as ações, ensaios tomados, assim como as conclusões chegadas, sempre de forma clara e sintética.

2.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

O presente subcapítulo aborda afincadamente, todos os testes e procedimentos necessários à inspeção especial, que conferem toda a informação necessária para determinar, a partir de meios mensuráveis, o estado da estrutura em estudo.

Será abordada, segundo as normas em vigor, a extração de amostras, assim como a preparação para ensaio, o ensaio de teor de cloretos e da profundidade da frente de carbonatação, seguido dos ensaios mecânicos da resistência à compressão do betão e ainda ensaio à tração de um varão de aço.

2.4.1 Carbonatação

A determinação do teor de dióxidos de carbono instalados, em betões ou materiais de reparação, é alcançado pela medição da resistência à penetração do dióxido de carbono, segundo um ensaio acelerado (E 391-1993, 1993). É um procedimento regido pela Especificação LNEC E 391-1993 que pode ser aplicado em materiais cimentícios (betões e argamassas), para fins de comparação, e para apurar o efeito dos materiais de reparação de betões.

Resumidamente, obtém-se o teor de CO_2 medindo a profundidade de carbonatação nos provetes, expondo-os em câmara com as seguintes condições:

- $5\% \pm 0,1\%$ de dióxido de carbono (CO_2);
- $60\% \pm 5\%$ de humidade relativa;
- 23 ± 3 °C de temperatura.

Material a utilizar conta com (E 391-1993, 1993): uma câmara com entrada e saída de gases e controlo de humidade e temperatura, 2 fluxómetros para medição de caudal de CO_2 e ar, régua

graduada em décimas de milímetro, máquina de corte de discos adiantados, solução alcoólica de fenolftaleína a 0.1% e dióxido de carbono.

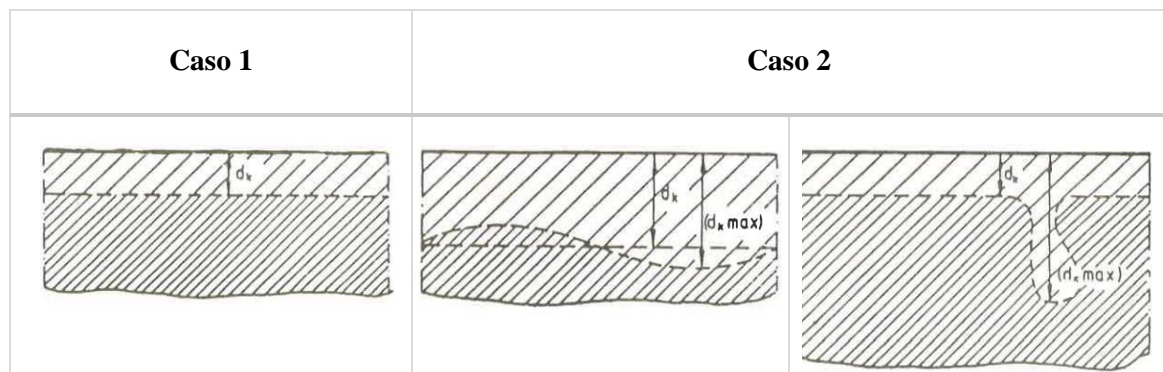
Antes de colocar amostras na câmara, estas devem ser, curadas em água por 14 dias, e depois em ar até atingir 28 dias, com $50\% \pm 5$ de humidade relativa e $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Garantindo o ataque do dióxido de carbono pela lateral, é colocado isolante no topo dos provetes. Colocadas as amostras na câmara, após 24 horas são retirados periodicamente, um provete com cerca de 1 cm de espessura de cada amostra, partindo em quatro partes iguais, e efetuação a mediação da profundidade de carbonatação na superfície de fratura.

A medição da profundidade de carbonatação deve ser efetuada, de acordo com a recomendação RILEM CPC-18, consoante os casos representados na Tabela 3 (E 391-1993, 1993):

- caso 1: a frente de carbonatação desenvolve-se paralelamente à superfície, o resultado é encontrado pelo valor da distância entre a superfície e a linha da frente de carbonatação (d_k);

- caso 2: a frente de carbonatação apresenta irregularidades ou não se desenvolve paralelamente, a medição é tomada pelo valor médio (d_k) e o valor máximo ($d_{k \text{ máx}}$);

Tabela 3:a) Medição penetração da frente de carbonatação paralela à superfície, caso 1; b) Medição da frente de carbonatação com irregularidades, adaptado de E 391-1993 (1993)



O procedimento finaliza com um relatório referenciando a especificação do ensaio em vigor, a natureza, tipo, identificação e data de receção das amostras, identificação do requerente (identidade carenciada da informação), todas as condições de realização do ensaio e a profundidade apurada de carbonatação.

Todos os parâmetros utilizados e registados devem estar apresentados num quadro com a simbologia e unidades, como indicado abaixo.

Tabela 4: Dados e simbologia, relatório de ensaio do teor de CO_2 , adaptado de E 391-1993 (1993)

Parâmetros	Símbolo	Dimensão
Humidade Relativa	HR	%
Temperatura	T	$^\circ\text{C}$

Parâmetros	Símbolo	Dimensão
Teor de CO_2 na câmara	CO_2	%
Profundidade de carbonatação	$d_k, d_{k\text{máx}}$	mm
Tempo de exposição	t	dia

2.4.2 Teor de cloretos

O teor de cloretos é obtido através de um ensaio laboratorial pela norma EN 14629:2007. Esta norma descreve dois métodos distintos e independentes para a determinação do teor de cloretos existentes em betão ou argamassa endurecida.

O ensaio recorre a um titulador potenciométrico automático, balança com capacidade de pesagem até 5 gramas e precisão de 3 casas decimais (0.001 g), bureta com capacidade de 0.05 ml, gobelé com capacidade de 250 ml e um agitador magnético térmico (EN 14629:2007, 2007).

Quanto aos materiais utilizados, são empregues os seguintes:

- água destilada;
- ácido nítrico (HNO_3) [5 mol/l];
- nitrato de prata em solução [0.02 mol/l];
- tiocianato de amónio em solução (NH_4SCN) [0.1 mol/l];
- indicador de sulfato de amónio e férrico em solução e 10 ml de ácido nítrico diluído;
- 3.5.5- trimetil-hexanol.

O procedimento começa com a lavagem de todos os utensílios, seguida da pesagem de cada amostra dissolução dos cloretos. A dissolução é realizada com a mistura de 50 ml de água juntamente com 10 ml de ácido nítrico, com concentração de 5 mol/l e com 50 ml de água quente. A mistura deve ser executada pela ordem descrita e num gobelé com capacidade de 250 ml. Realizada a mistura, coloca-se o gobelé num agitador eletromagnético térmico, por forma a aquecer durante 3 minutos e ferver por 3 minutos adicionais, enquanto é agitada continuamente.

Após a fervura, é filtrada a solução por vácuo com recurso a água destilada, retirando todos os sedimentos, transferindo-a para um *kitasato*, como está ilustrado na Figura 23. Este passo requer um filtro de Buchner e poderá ser usado com um filtro em papel auxiliar.

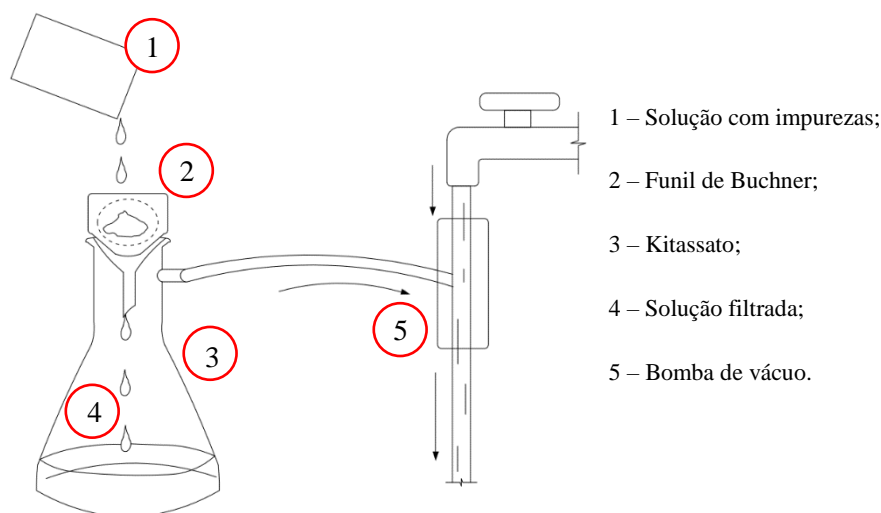


Figura 23: Exemplificação da filtração por vácuo, adaptado de EN 14629:2007 (2007)

Como medida preventiva e de referência, deverá ser realizado o ensaio em branco a fim de apurar patologias ou impurezas nos equipamentos ou reagentes utilizados.

A fase final, determinação do teor de cloretos, é executada pela titulação potenciométrica (Método B). Aqui a concentração de cloretos é obtida com a adição de 0.1 M de nitrato de prata em solução, sendo o consumo da solução de nitrato de prata (V_3), o parâmetro medido e registado. Esta medição baseia-se na adição de pequenas percentagens de titulante, registando mudanças de potencial, e aplicando uma análise derivativa segundo os valores obtidos, através dos quais será calculado o teor de cloretos.

Novamente com os ensaios das amostras, corre-se o mesmo procedimento para a solução do ensaio em branco, e regista-se o volume de nitrato de prata (V_4) utilizado.

Finalmente, o teor de cloretos é calculado, em percentagem de iões cloreto, através da seguinte expressão (EN 14629:2007, 2007):

$$CC = 3.545 * f * (V_4 - V_3)/m \quad (15)$$

V_3 – volume da solução em nitrato de prata, usado na titulação [ml];

V_4 – volume da solução nitrato de prata, usado no ensaio branco [ml];

m – massa da amostra de betão [g];

f – mols da solução de nitrato de prata.

2.4.3 Resistência à compressão do betão

Obtidas as amostras segue-se o trabalho de preparação para os ensaios de laboratório segundo o Anexo A, da EN 12390-3:2009. No seu sétimo capítulo, estão estipuladas as relações de geometria

Capítulo 2 – Estado da Arte

a cumprir, nomeadamente entre o comprimento e o diâmetro, assim como as tolerâncias admissíveis. Caso seja pretendida a simulação de um provete cilíndrico, a carote deverá ter a relação comprimento/diâmetro igual a 2, e naturalmente para a simulação de um cubo, o valor deverá retornar unitário (NP EN 12504-1:2009, 2009).

Relativamente ao ensaio à compressão, deverá ser praticado o seguinte:

- registar as condições de armazenamento da carote;
- manter a carote em água (temp.: $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, com o mínimo de 48 horas de antecedência, caso seja requerido o ensaio da carote saturada;
- seguir a *EN 12390 – 3**) para o ensaio, recorrendo a maquinaria adequada e em conformidade com a *EN 12390 – 4**);
- descartar carotes com fissuras, vazadas ou má aderência do capeamento;
- limpeza de qualquer material não aderente da superfície das carotes;
- remover a água da superfície, caso o provete esteja húmido;
- registar as condições de humidade superficiais (seco/húmido), antes do ensaio.

Os resultados deverão ser apresentados em tensões, com aproximação a 1 casa decimal, i.e., a resistência à compressão é determinada pela razão da carga máxima pela área da secção transversal, segundo o diâmetro médio e apresentando o resultado com aproximação a $0.1 \text{ MPa } [N/mm^2]$.

Como forma de registo, é preenchido um relatório de ensaio. Qualquer formulário é admissível, uma vez que inclua (E 397-1993, 1993): uma descrição com identificação da carote ensaiada; máxima dimensão nominal do agregado, data de extração, inspeção visual com registo das patologias identificadas, registo de eventuais armaduras, com indicação do diâmetro, em mm, posição(ões) em [mm], método usado para a preparação da carote (corte, desgaste ou capeamento), dimensões da carote, relação comprimento/diâmetro após preparação, condição de humidade superficial na altura do ensaio, data do ensaio e resistência à compressão da carote, com aproximação a $0.1 \text{ MPa } [N/mm^2]$.

2.4.4 Ensaio resistência à tração do aço

Qualquer determinação de parâmetros mecânicos a materiais metálicos é executada segundo a norma internacional ISO 6892-1:2016 (E), que dispõe dois métodos para controlo da velocidade de ensaio, método A e B, onde o primeiro (A) é aplicado segundo o controlo da velocidade de deformação, e o segundo (B) é baseado no controlo de velocidade de aplicação da força. Os ensaios são baseados na deformação de um provete, causada pela aplicação de forças de tração, geralmente até ao ponto de rotura.

A presente norma indica duas condições de temperatura distintas: temperatura ambiente e temperatura para condições controladas (ISO 6892-1:2016, 2016). Para condições controladas, os ensaios têm de ser realizados a temperatura de $23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, caso contrário regem-se temperaturas entre os $10 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$, para os ensaios à temperatura ambiente. Caso se executem ensaios em

ambientes diferentes aos especificados, dever-se-á avaliar o respetivo impacto nos ensaios e nos dados de calibração, assim como no equipamento utilizado, registando todas as observações e informações colhidas.

Quanto aos provetes, estes podem ser obtidos por maquinagem ou corte direto de produtos com secção transversal constante (perfis, barras, arames/varões, etc). A maquinagem envolve a extração de uma amostra e retificação da mesma, através de prensagem ou fundição.

As propriedades geométricas dos provetes são condicionadas pela forma e dimensões dos produtos metálicos de onde são extraídos. As secções aceites podem ser consultadas no Quadro 2 – Norma ISO 6892-1:2016(E), sendo também aceites outras formas, em casos particulares, desde que se mantenham certas proporcionalidades, como o comprimento inicial entre referências, por forma a diminuir as incertezas de medição.

Idealmente, o comprimento inicial entre referências, L_0 , está relacionado com a área da secção inicial da zona útil, S_0 , pela Equação (16):

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (16)$$

onde k é o coeficiente de proporcionalidade, com um valor adotado internacionalmente de 5.65, e $L_0 \geq 15 \text{ mm}$. Caso a secção inicial da zona útil do provete seja demasiada pequena para que a condição seja satisfeita, pode atribuir-se um valor a k superior, sendo preferível para $k=11.3$ (ISO 6892-1:2016, 2016).

Segundo a ISO 6892-1:2016 os provetes, sendo maquinados ou não, devem apresentar sempre:

- uma zona de concordância entre as respetivas cabeças de amarração e a zona útil;
- cabeças de amarração com forma adaptável aos dispositivos de fixação da máquina de ensaio;
- comprimento da zona útil, L_c , sempre superior ao comprimento inicial entre referências, L_0 .

O procedimento para o ensaio é o seguinte:

- escolha do comprimento inicial entre referências, L_0 , consoante o Anexo C, visto que as amostras em questão são varões de aço;
- preparação do produto, nomeadamente o seu endireitamento, caso sejam produtos enrolados em bobinas;
- determinação da área da secção inicial da zona útil, S_0 ;
- determinação da precisão da máquina de ensaio e extensómetros;
- fixação do provete e aplicação da carga ou ciclos de carga, consoante os parâmetros a determinar;

3 CASO DE ESTUDO

3.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo descreve em pormenor a estrutura e apresenta todo o trabalho realizado para o seu estudo, desde o planeamento dos trabalhos aos custos estimados da sua reparação.

A estrutura foi construída em 1983, sendo desde então utilizada para cargas e descargas estando, portanto, sujeita a cargas móveis provenientes de empilhadoras e de camiões. À sua exploração junta-se a acostagem de embarcações, de pequeno e de grande porte.

Atualmente requer intervenção face ao avançado estado de deterioração. Encontra-se neste estado não tanto pela sua idade, mas pelo pouco conhecimento sobre os mecanismos de corrosão na época de conceção do seu projeto, e como tal, pela fraca proteção das armaduras contra os agentes agressores.

Visto que é o único porto comercial no centro da costa sul da RAM, é uma estrutura que não pode interromper o seu funcionamento. Como tal exige um escoramento que possibilite uma moderada exploração da estrutura e ao mesmo tempo sua reparação.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura é composta por três cais, nomeadamente o Cais Norte, Cais Oeste e Cais Sul, tendo dois pontos de acesso como esta ilustrado na Figura 24.

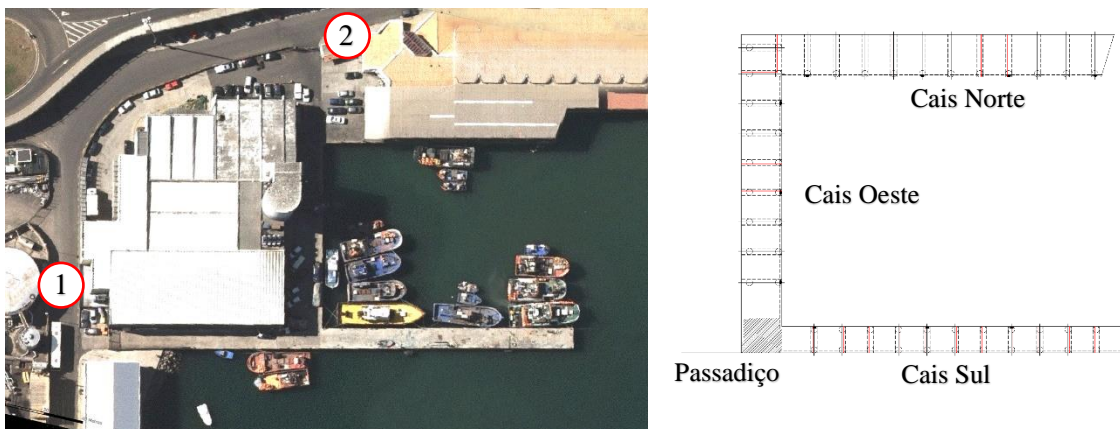


Figura 24: a) Pontos de acesso em ortofotomapa; b) Planta da estrutura

O Cais Sul é composto por pórticos constituídos por dois pilares circulares de secção oca, com 0.15 m de espessura e um raio exterior de 1.1 m, ligados a uma viga em T, com 1.2 m de largura através de um maciço de encabeçamento com secção quadrada. É o único cais de acostagem servindo somente abastecimento de combustível e de água potável às embarcações.

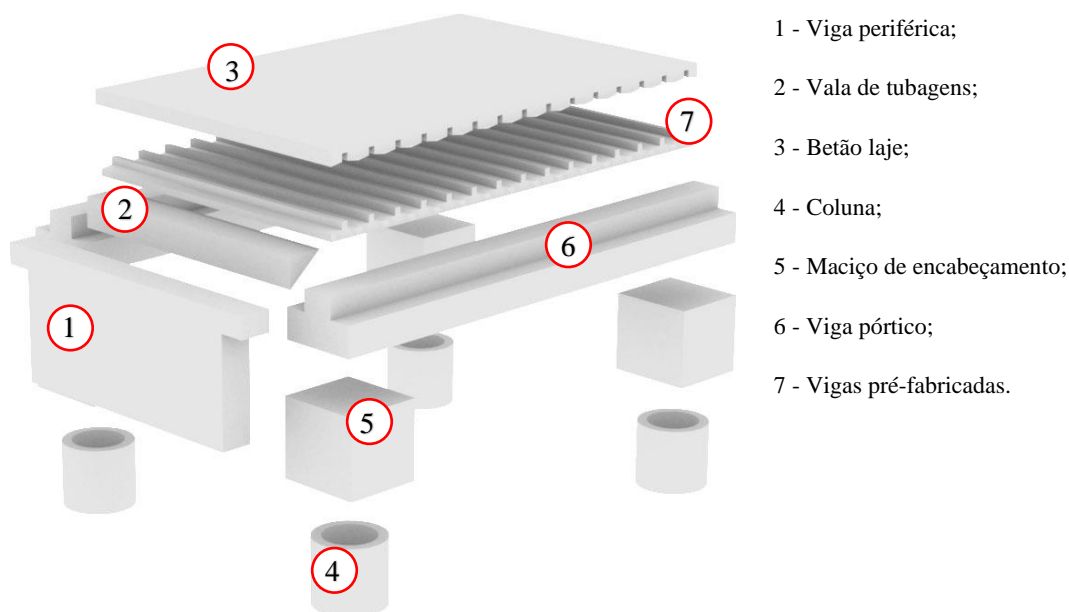


Figura 25: Identificação dos elementos constituintes de uma secção tipo do cais.

O Cais Oeste por sua vez, conta com um aterro no lado terra. Este cais conta assim com uma ligação à laje do edifício adjacente, como está ilustrado na Figura 26.

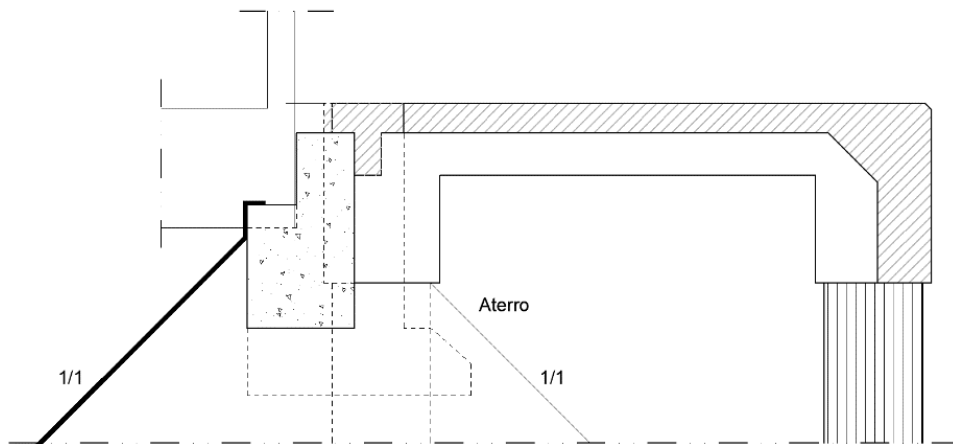


Figura 26: Corte transversal do cais oeste

O Cais Norte difere da solução estrutural apresentada na figura anterior, tendo apenas um dos lados com uma coluna de secção oca, no lado mar, enquanto o lado terra conta com um apoio simples no muro a montante.

Em toda a periferia, pelo lado mar, encontra-se uma viga com 2.0 m de altura a contar da cota do pavimento para o mar, servindo de proteção para as embarcações. No lado terra encontra-se uma viga em T com 0.8 m de altura. Transferindo as cargas das lajes para os pórticos, encontram-se vigas pré-fabricadas com pré-esforço, na direção longitudinal à do cais.

3.2.1 Condições de exposição

Sendo uma obra marítima a estrutura é, naturalmente, constantemente banhada por água do mar. Com a existência da Pontinha, a estrutura em estudo não é solicitada por ondulação considerável, contudo diferenciam-se os 4 micro climas, característicos.

Para a identificação dos 4 microclimas, o local foi fotografado em duas ocasiões diferentes, sendo um dos dias, o dia com a maior amplitude de marés e o outro com a menor, em diferentes secções dos cais. Posteriormente, efetuaram-se medições em CAD, das várias alturas de marés a partir das fotos, e fez-se uma correlação para obtenção da altura real. Sabendo a altura da viga (2 m) e a altura em CAD, obtinha-se o factor de correção.

Diminuindo o intervalo de erro, obteve-se cada altura segundo a média de 3 medições em pontos diferentes da viga periférica, como se pode observar na Figura 27. Representando a altura da viga periférica, estão as linhas vermelhas com a altura conhecida de 2 m, com as linhas azuis a representar a verticalidade segundo a foto, enquanto que a linha verde representa a altura da maré.

A Figura 27 e a Tabela 5, demonstram as medições para uma secção do Cais Oeste no lado jusante, e os resultados dos cálculos efetuados, para a obtenção da altura preia-mar média que retornou 0.5 m aproximadamente.

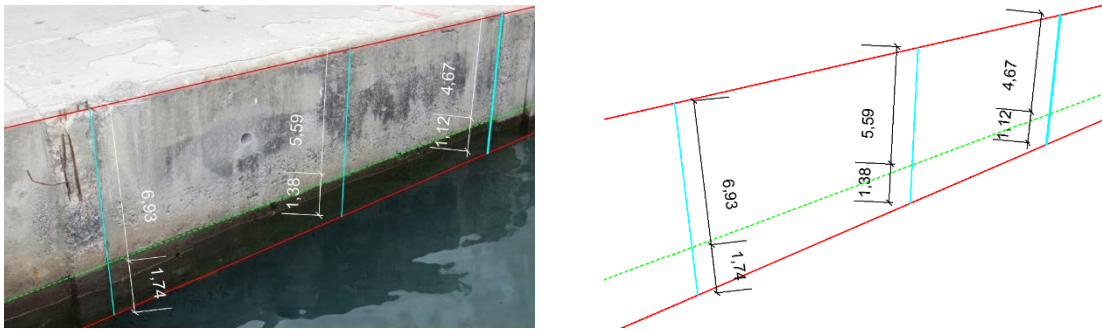


Figura 27: a) Medições em foto; b) Medições em CAD

Com recurso a tabela de cálculo automático obtiveram-se os seguintes valores:

Tabela 5: Tabela de cálculo automático, zona de maré do Cais Oeste

Zona de Maré						
Cais Oeste	Medição	Altura Carlinga		Altura Preia-Mar		
		CAD	Real	CAD	Real	Média
	1	6.93	2.00	1.74	0.50	0.49
	2	5.59	2.00	1.38	0.49	
	3	4.67	2.00	1.12	0.48	

De forma a definir a zona de rebentação, escolheram-se os pontos de interseção dos Cais Norte e Oeste e ainda Cais Oeste e Sul, com uma linha delimitadora da zona de rebentação, segundo o valor mais alto, obtido da interseção do Cais Oeste-Sul, com uma altura de 1.3 m, aproximadamente.

Para determinar as condições de exposição, seguiu-se a NP EN 1992-1-1, e pelas fronteiras dos microclimas, foram atribuídas as várias designações de classe. A figura abaixo, esquematiza as condições de exposição e ainda os microclimas do pórtilo.

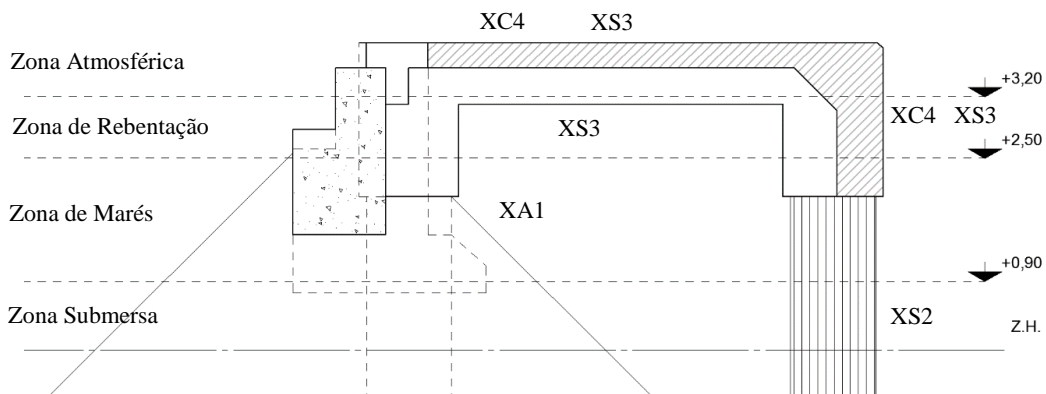


Figura 28: Microclimas do pórtilo [m]

Dado que o pórtilo é representativo do cais Oeste, os restantes diferenciam-se apenas na inexistência do aterro. Como tal, tanto o cais Norte como o Sul, ficam sem a classificação “XA1”, indicada na figura.

Considerando que no entreposto frigorífico tem 3 secções com utilizações diferentes, as classes de exposição variam em planimetria. A zona destacada a vermelho, indica a única área com exposição ao de gelo, sendo portanto a única zona com a designação “XF4”. A área restante partilha a classe “XS3” e “XC4”, que se trata da exposição a águas pluviais.

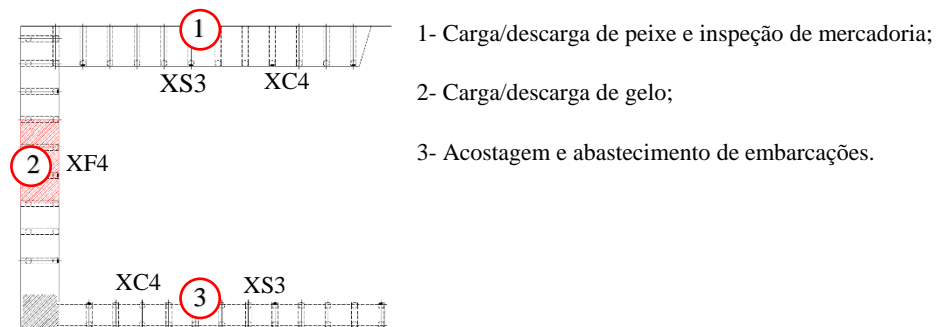


Figura 29: Classes de exposição em planimetria

3.3 INSPEÇÃO REALIZADA

Para este trabalho, realizaram-se 3 tipos de inspeção: inspeção preliminar, inspeção básica e ainda inspeção especial.

Através da primeira visita, constatou-se que de nenhum modo se conseguiria ter uma obra com zonas restritas aos trabalhos de inspeção, uma vez a movimentação pela estrutura é incansável e muito desorganizada. No local compreenderam-se a planta e os respetivos cortes da estrutura.

Quanto à deterioração, apenas se apreciou fendilhação nos pavimentos, corrosão e delaminação nas vigas periféricas, assim como alguma erosão superficial. Visto que estava preia-mar durante a visita, não se pode observar a condição das colunas. À parte de algumas armaduras expostas e destacamento do betão pontual, tudo indicava que a estrutura se encontra bem capaz, para as cargas solicitadas, tanto que no cais com maior vão (Cais Norte), não se sentiam quaisquer vibrações na passagem de veículos de carga.



Figura 30: a) Pavimentos do Cais Norte; b) Pavimento do Cais Sul; c) Armaduras expostas

Como se pode observar pela Figura 30, o grau de deterioração decresce consoante a menor utilização da estrutura. Sendo o Cais Norte o mais solicitado por cargas e ataque químico e biológico do betão, apresenta o maior nível de deterioração.

3.3.1 Planeamento da inspeção

Visto que na visita preliminar, não se teve acesso à zona inferior do cais, definiu-se desde muito cedo que a inspeção básica contaria com duas fases. A primeira naturalmente seria inspecionar visualmente tudo o que não necessitasse de equipamento para possibilitar e viabilizar o acesso, contando portanto, com a inspeção do pavimento do cais, vigas periféricas e ainda as partes das colunas emersas, resultando na identificação e documentação das deteriorações, com recurso a máquina fotográfica, tomando notas de quaisquer particularidades.

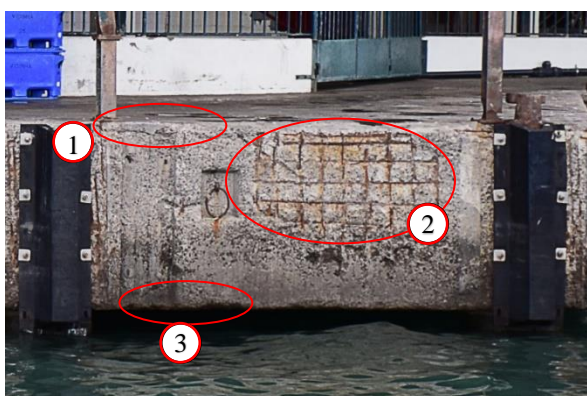
Atendendo que o acesso à zona inferior tem que ser efetuado pelo mar e que a mesma era completamente desconhecida, só se ponderou a hipótese de contratar mergulhadores especializados para documentar o espaço, caso não fosse possível o acesso por questões de segurança.

3.3.2 Inspeção básica

A inspeção básica realizou-se utilizando o material mais básico. Como o local nunca ficou encerrado e a segurança não foi comprometida, não foi utilizado qualquer equipamento de proteção pessoal. Apenas foram utilizadas as plantas estruturais, bloco de notas e câmara fotográfica.

Na primeira avaliação denotou-se que o pavimento encontra-se com uma camada de enchimento, tornando a laje mais espessa que o indicado no projeto, o que também conferiu uma vasta área com betão delaminado, evidente nos lados periféricos mar. No Cais Norte, encontravam-se frequentemente delaminações locais, como ilustra a Figura 30 a).

No mesmo cais tem-se predominantemente dois níveis de deterioração, um para a zona permanentemente emersa e outro para a zona de maré. Em quase todo o comprimento dos cais, na zona emersa existe dissolução dos finos do betão e delaminação. Na zona de maré, a deterioração é menor, sem armaduras expostas, com dissolução de finos muito menor, só havendo perda de betão no banzo da viga, provavelmente devido à acostagem temporária das embarcações.



- 1 - Delaminação da camada de enchimento da laje;
- 2 - Armaduras expostas, na zona permanentemente emersa;
- 3 - Perda de secção.

Figura 31: Exemplo da deterioração predominante na periferia do Cais Norte

No Cais Oeste, as condições do pavimento são semelhantes, mas em grau ligeiramente menor sendo o destacamento menor. A conservação da viga periférica é claramente superior, tendo pouca ou nenhuma dissolução de finos e com apenas 3 zonas com armaduras expostas de áreas muito menores. No topo da

viga, facilmente se denota a delaminação da camada de enchimento da laje, enquanto que no banzo inferior, encontra-se muito menos perda de material.

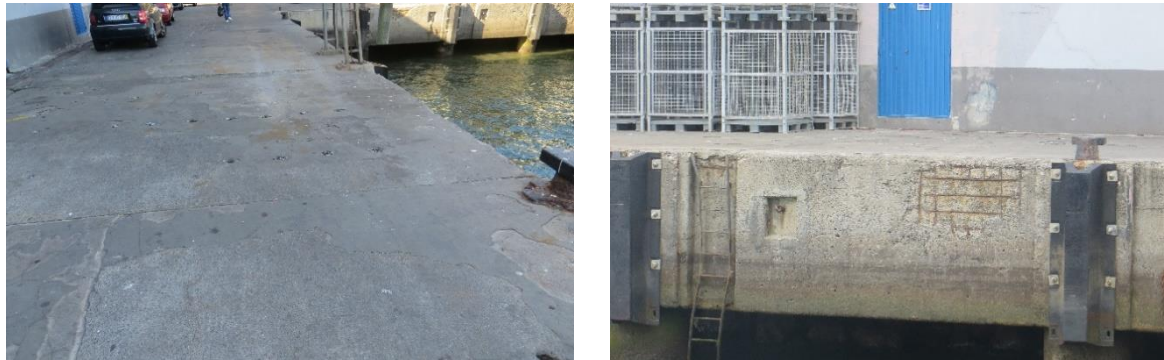


Figura 32: a) Pavimento do Cais Oeste; b) Contenção periférica do Cais Oeste

O Cais Sul, apresenta o melhor estado de conservação de toda a estrutura, não apresentando desgaste e delaminação aparente, tanto nas vigas como na laje. Apenas observou-se o banzo inferior da viga com alguma perda de secção, no lado norte, onde se efetua a acostagem de embarcações.



Figura 33: Perda de secção do banzo inferior e no pilar do Cais Sul

Quanto aos pilares encontrou-se apenas um exemplar com deterioração notável, que é o da Figura 33. Os restantes apresentavam efeitos de dissolução de finos, mas sem um único caso de armaduras expostas ou deformações resultantes apreciáveis.

A segunda fase da inspeção básica revelou o verdadeiro estado da estrutura. Na parte inferior observou-se fendilhação nos maciços de encabeçamento, delaminação de quase todas as vigas do pórtico e perda de secção de armadura de tração quase total, tanto nos Cais Norte e Oeste.

Curiosamente, as vigas pré-fabricadas encontram em excelente estado de conservação, sem quaisquer sinais de corrosão e dissolução de finos. Apenas foram relatadas 3 destes elementos com deterioração pontual, contudo sem sinais de corrosão no cabo de pré-esforço, atendendo que não foram constadas manchas de corrosão.



Figura 34: a) Estado da zona inferior dos Cais Norte; b) estado da zona inferior do Cais Oeste

Da segunda fase, constatou-se que para futuras reparações o acesso terá que ser feito, através de uma abertura na laje ou por pequena embarcação, e que são possíveis 3 a 6 horas de trabalho num dia, considerando ondulação muito fraca e a ocorrência de duas baixa-mar durante o dia, não sendo recomendado trabalhos em horário noturno por questões de segurança.

O Cais Sul como seria de esperar, apresenta alguma delaminação pontual das vigas principais e alguma fendilhação nos elementos estruturais.

Desta inspeção concluiu-se que seriam necessárias amostras de betão em pó e em carotes, nas zonas submersas e emersas das vigas periféricas e ainda carotes no topo das vigas por forma a determinar, a condição do betão existente, a espessura das camadas de enchimento e a extensão da delaminação.

3.4 INSPEÇÃO ESPECIAL

Dada as diferentes condições de acessibilidade entre a parte inferior e o resto da estrutura, a recolha de amostra também foi executada em duas fases distintas, sendo a primeira a recolha de amostras pela zona de utilização do entreposto frigorífico enquanto que a segunda é referente à zona inferior do cais.

Na primeira fase, para uma recolha de amostras representativa de todas as secções da estrutura, definiu-se que seriam retiradas cerca de 4 carotes nas lajes, por cais, e ainda extrair amostras de betão em pó e em carotes, em 4 pontos nas vigas periféricas de cada cais, alternando entre zona permanentemente emersa e zona de maré.

Na segunda fase, para a zona inferior do cais definiu-se que apenas seriam retiradas amostras em pó de betão e se possível uma amostra de um varão de aço, para averiguar a perda de secção. Embora o intuito fosse efetuar uma extração representativa de toda a estrutura, descartou-se a extração de amostras na parte superior da viga, devido ao difícil acesso e questões de segurança associadas.

Para a extração de amostras foi utilizada uma caroteadora, com brocas de 100 e 75 mm, um brocador com broca de 16 mm e uma rebarbadora. Garantindo o acesso aos pontos delineados utilizou-se um carregador telescópico, com bailéu durante a primeira fase, e um bote para a segunda.

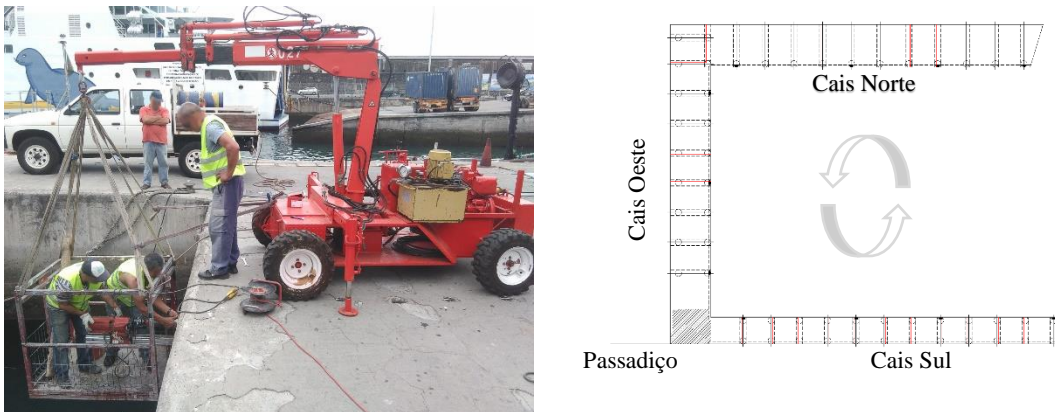


Figura 35: a) Carregador multitelescópico; b) Sentido da ordem dos trabalhos

A extração de amostras começou pelas vigas periféricas, desde o Cais Norte até ao Sul, priorizando as zonas de maré, que necessitavam de uma baixa-mar coincidente com o horário de trabalho. Embora estas zonas da viga fossem prioridade, assim que se teve preia-mar, procedeu-se à extração dos pontos de zona emersa rentabilizando os processos. Obtidas as amostras, procedeu-se à extração de carotes das lajes, seguindo o mesmo sentido anti-horário indicado. Por último, com recurso a um bote, extraíram-se betão em pó de toda a periferia, na zona inferior do cais.

Na identificação dos pontos alvo, criou-se uma designação que pudesse ser sistematizada. Por exemplo, nas vigas periféricas o local de extração teria a designação Vn , sendo V indicativo de viga e n , o número. Desta forma utilizou-se o seguinte:

- Vn : viga periférica exterior, número n ;
- Vn_i : viga periférica zona interior, número n ;
- Ln : laje, número n ;

No total foram previstos 12 pontos de extração na periferia exterior, 14 nas lajes, sendo 10 para carotes e os restantes para extração de armaduras, e ainda 9 pontos para a periferia no lado interior do cais.

O primeiro ponto ($V1$), retornou uma perfuração rápida indicativa de que o betão não está nas melhores condições. A fracturação transversal das amostras, foi frequente tanto na zona de armaduras como na zona de betão, o que forçou a extrair amostras com maior cumprimento, a fim de salvaguardar as dimensões necessárias para o teste de resistência à compressão.

Quanto ao aspeto, era visível na maioria das carotes a frente de carbonatação, evidenciada por uma tonalidade mais escura. No que toca à granulometria, constatou-se predominantemente agregados até 35 mm e por vezes de maior dimensão. Nos pontos Vn , verificou-se uma altura de recobrimento constante com uma média de 5 cm .



Figura 36: a) e b) Antes e depois do ensaio de carbonatação “in situ” (V9); c) Fracturação na altura de recobrimento (V2)

A extração de betão em pó foi a mais despreocupante, sendo apenas necessários dois cuidados. Extrair o betão em pó antes da carote, evitando uma superfície molhada e evitar superfícies com dissolução de finos. Neste processo, perfurou-se até uma profundidade de 5 cm, em intervalos de 1 cm, resultando em 3 furos distintos para cada local. A designação para este trabalho é Vn_{i-j} , em semelhança à das carotes, com a notação indicial $i - j$, a indicar o intervalo de perfuração.

Terminando a primeira fase da inspeção especial, surgiu a extração de carotes nas vigas das lajes. Este procedimento foi de longe o mais complexo e o menos aproveitador. A área de trabalho disponível era muito reduzida, tendo apenas 50 cm de largura com 4 varões de 16 cm². Nestas condições, apenas um espaço de 12 a 13 cm estava disponível, para a coroa de 100 mm, no entanto foi empregue este diâmetro a fim de passar pelas armaduras existentes no menor intervalo de tempo possível.

Desde a primeira carote até a última verificou-se um excelente estado de conservação das armaduras da viga, não observando qualquer perda de secção nem manchas de corrosão. Destas perfurações, constatou-se que a camada de enchimento variava entre 5 a 10 cm para os Cais Norte e Oeste, e tinha uma espessura constante de 15 cm para o Cais Sul.

Resta afirmar, que devido às dificuldades ao retirar a carote no Cais Sul, foi utilizada coroa de 100 mm para os 15 cm de enchimento e depois uma de 75 mm, para a amostra de betão.



Figura 37: Furo na laje, separação entre camada de enchimento e da laje

A segunda fase foi executada apenas nas vigas, com as furações no muro do Cais Norte descartadas, dada a impossibilidade de imobilizar a embarcação. Quanto ao posicionamento dos furos em altura da

Reparação das Vigas do Entrepasto Frigorífico do Funchal – Um caso de estudo

viga, apenas se extraíram amostras na parte inferior da viga, atendendo o alcance dos trabalhadores a partir do bote.

A Tabela 6 indica de forma sucinta todo o trabalho realizado, alterações e conclusões apontadas no local, quanto ao aproveitamento para ensaio de laboratório:

Tabela 6: Ensaios realizados

Local	Amostra	Movido	Executado	Aproveitamento
V1	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
V2	Betão - carote + pó	Sim	Sim	Sim
V3	Betão - carote + pó	Sim	Sim	Sim
V4	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
V5	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
V6	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
V7	Betão - carote + pó	Sim	Sim	Sim
V8	Betão - pó	Não	Sim	Sim
V9	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
V10	Betão - carote + pó	Não	Não	Não
V11	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
V12	Betão - carote + pó	Não	Sim	Sim
L1	Betão - carote	Não	Sim	Não
L2	Varão - armadura	Não	Não	Não
L3	Betão - carote	Não	Sim	Sim
L4	Betão - carote	Sim	Sim	Sim
L5	Varão - armadura	Sim	Não	Não
L6	Betão - carote	Não	Sim	Sim
L7	Betão - carote	Não	Sim	Sim
L8	Varão - armadura	Não	Não	Não
L9	Betão - carote	Não	Sim	Sim
L10	Varão - armadura	Não	Não	Não
L11	Betão - carote	Não	Sim	Não
L12	Betão - carote	Sim	Sim	Sim
L13	Betão - carote	Sim	Sim	Não
L14	Betão - carote	Sim	Sim	Sim
Vi1	Betão - pó	Não	Sim	Sim
Vi2	Betão - pó	Sim	Sim	Sim
Vi3	Betão - pó	Não	Sim	Sim
Vi4	Betão - pó	Não	Não	Não
Vi5	Betão - pó	Não	Sim	Sim
Vi6	Betão - pó	Sim	Sim	Sim
Vi7	Betão - pó	Não	Sim	Sim
Vi8	Betão - pó	Não	Não	Não
Vi9	Betão - pó	Sim	Sim	Sim

Capítulo 3 – Caso de Estudo

3.4.1 Ensaios e resultados de amostras

Os ensaios efetuados dividem-se em dois ambientes de teste, local da obra e laboratório. Imediatamente após a extração, efetuou-se o ensaio de presença do ataque por carbonatação na carote enquanto que os ensaios de determinação da resistência à compressão e teor de cloretos foram executados em laboratório.

O ensaio referente à resistência à carbonatação, não foi executado em laboratório, uma vez que todas as carotes apresentaram a cor rosada junto às armaduras, associada a alcalinidade acima dos valores críticos, após a aplicação do reagente de fenolftaleína. Nas fotos, em anexo, dos ensaios observa-se de facto, zonas incolores junto à superfície, contudo visto que todas as carotes com esta particularidade vinham dos pavimentos, a frente de carbonatação encontrava-se sempre na camada de enchimento existente.

Tabela 7: Quadro de resultados, profundidade de carbonatação, face exterior

Cais	Ponto	Zona	Profundidade da frente de carbonatação [mm]		
			Mínimo	Médio	Máximo
Norte	V1	Emerso	7	10	13
	V3	Emerso	8	12	16
	V4	Submersa	0	0	0
Oeste	V5	Emerso	10	14	18
	V6	Submersa	0	0	0
	V7	Emerso	10	22	33
Sul	V9	Emerso	18	30	42
	V11	Emerso	15	20	25
	V12	Submersa	0	0	0
Norte	L1	Emersa	0	5	10
	L3		0	0	0
	L4		2	10	18
	L6		0	12	24
Oeste	L7		15	18	21
	L9		3	7	10
Sul	L11		18	24	30
	L12		18	19	20
	L13		18	19	20
	L14		10	14	18

Pelo quadro de resultados apresentado, constata-se que nenhuma das frentes de carbonatação alcança a altura de recobrimento 5 cm, tornando assim a hipótese de corrosão por carbonatação muito improvável.

Atendendo que apenas foi necessário o valor de resistência à compressão, para determinação da classe de betão existente, todo o processo foi executado segundo a norma portuguesa NP EN 12390-3:2011 pelas seguintes etapas:

- corte das carotes a uma altura aproximada do diâmetro ($l \approx \emptyset$);

- retificação das carotes por forma a obter uma diferença menor que 1% entre l e ϕ ;
- medições das alturas e diâmetros das carotes, com eventuais anotações acerca da existência de armaduras e seus diâmetros;
- ensaio à compressão;
- inspeção ao tipo de rotura.

O corte das carotes envolve basicamente dois critérios. Não utilizar carotes com fissuras longitudinais e evitar armaduras. Caso não exista alternativa, poderá ser utilizada uma carote com armadura(s) desde se encontrem a mais de um terço do comprimento das extremidades, evitando desta forma uma rotura prematura em ensaio. Deste ponto descartaram-se as amostras dos pontos V2, V8, V10 e V12, das vigas periféricas e nas lajes descartaram todos menos os pontos L4, L7, L9, L14.

A retificação das amostras, em processo iterativo, obtendo o comprimento mais perto possível do ideal. Nesta fase, é crucial estar atento a destacamentos de agregados e até de betão, que podem comprometer a amostra. Neste ponto das carotes aprovadas para retificação, todas foram aproveitadas para ensaio à compressão.

Após a retificação, todas as amostras foram inspecionadas. As medições efetuadas foram o diâmetro e comprimento, sendo o diâmetro medido em duas direções, com três pontos distintos, e o comprimento, também em duas direções mas com uma medição cada, anotando quaisquer existência de armaduras, sua disposição e diâmetros do varão.

Para o ensaio à compressão todas as carotes foram armazenadas à superfície livre, apresentaram superfície seca e tiveram retificação por corte e desbaste apenas. No momento do ensaio, foram limpas todas as superfícies para remover quais detritos soltos ou não aderentes.



Figura 38:a) Máquina de ensaio à compressão; b) Pormenor da balança

A Figura 38 ilustra a preparação executada, para o ensaio. À esquerda observa-se um provete cúbico, utilizado para subir o embolo por forma a acelerar o processo. Também possível observar à direita a balança, utilizada para a pesagem mesmo antes do ensaio. Após a preparação da máquina, centrou-se a

Capítulo 3 – Caso de Estudo

amostra, no prato inferior com uma exatidão de 1% do diâmetro da carote e aplicou-se a carga, a uma velocidade constante dentro do intervalo de $0.6 \pm 0.2 \text{ MPa/s}$, até à rotura.

Como referido, após o ensaio há que averiguar se o modo de rotura obtido é admissível. Neste ponto, há duas possibilidades admissíveis; fratura em cone ou fissuração superficial longitudinal. Qualquer fratura característica a uma separação em peças menores, é indicativo de rotura não satisfatória, sendo o ensaio descartado. As figuras abaixo indicam as roturas admissíveis e algumas das roturas não admissíveis.

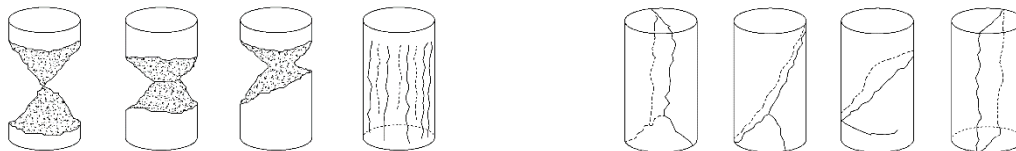


Figura 39: a) Exemplos de roturas admissíveis de carotes; b) Exemplos de roturas não admissíveis adaptado de NP EN 12390-3:2011 (2011).

Definido o ensaio como válido, a tensão de cedência é obtida pela fórmula abaixo (NP EN 12390-3:2011, 2011)

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (17)$$

onde:

f_c : é a resistência à compressão, em [MPa];

F : é a carga máxima à rotura [N];

A_c : é a área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi aplicada [mm^2].

No final obteve-se a seguinte tabela:

Tabela 8: Ensaio, resistência à compressão:

Cais	Provete	Zona	Rotura		Tipo de fratura	Média/Cais [MPa]
			Força [kN]	Tensão [MPa]		
Norte	V1	Emerso	253	36.5	Satisfatória	45.2
	V3	Emerso	331	48.0	Satisfatória	
	V4	Submersa	351	51.0	Satisfatória	
Oeste	V5	Emerso	372	54.0	Satisfatória	48.5
	V6	Submersa	283	41.0	Satisfatória	
	V7	Emerso	351	50.5	Satisfatória	
Sul	V9-A	Emerso	368	53.5	Satisfatória	45.0
	V9-B	Emerso	269	39.0	Satisfatória	
	V11	Emerso	293	42.5	Satisfatória	

Reparação das Vigas do Entrepasto Frigorífico do Funchal – Um caso de estudo

Cais	Provete	Zona	Rotura		Tipo de fratura	Média/Cais [MPa]
			Força [kN]	Tensão [MPa]		
Norte	L4	Emerso	200	53.0	Satisfatória	53.0
Oeste	L7	Emerso	193	51.0	Satisfatória	49.5
	L9	Emerso	180	48.0	Satisfatória	
Sul	L14	Emerso	154	41.5	Satisfatória	41.5

Verificou-se que a tensão de cedência foi superior nas lajes, em comparação com as vigas. Apesar das carotes das vigas terem secção maior, e consequentemente mais betão, justifica-se que a resistência foi superior nas carotes das lajes, devido à existência predominante de armaduras.

A análise mais extensiva, foi a determinação do teor de cloretos segundo a diversas profundidades dos elementos estruturais. Para cada ponto de ensaio, utilizaram-se as amostras de dois furos, deixando o terceiro como reserva, caso se deparasse com resultados duvidosos ou inexplicáveis.

Todo o procedimento foi feito, em rigor, pela norma EN 14629:2007, seguindo o método B -Titulação Potenciométrica, utilizando o limite inferior de massa mínima, para as amostras, de 1.0 g, poupando desta forma reagente de nitrato de prata, com obtenção de resultados sem quaisquer discrepâncias, quando comparados com ensaios com maiores quantidades de amostras.

A preparação envolveu a pesagem de amostras e transformação das mesmas para solução, usando um filtro em papel (opcional), antes do filtro de Buchner, com posterior titulação potenciométrica automatizada, obtendo portanto, os valores diretamente da máquina.

Da máquina obteve-se para cada toma (furo), 5 valores referentes à percentagem de cloretos por massa de betão. Posteriormente, com recurso a tabela de cálculo automático, foram obtidos valores médios, para cada profundidade, e a respetiva percentagem por massa de cimento.

Tabela 9: Valores obtidos do ponto VI

<i>Cl⁻</i> (%)						
Profundidade [mm]	Massa betão				Média	Massa cimento
	Toma 1	Toma 2	Toma 3			
0-10	0.171	0.252		0.21	1.509	
10-20	0.298	0.830	0.660	0.745	5.325	
20-30	0.579	0.722		0.651	4.651	
30-40	0.335	0.484		0.409	2.925	
40-50	0.509	0.250	0.333	0.292	2.085	

Em laboratório constatou-se que estas diferenças de valores podem ocorrer por contaminação ou por uma concentração pontual, de cloreto de sódio, maior num poro ou cavidade de maiores dimensões, tal

como o oposto, caso a broca perfure o mesmo agregado em toda a profundidade, a leitura do teor de cloretos pode ser muito mais baixa.

A percentagem de cloretos por massa de cimento é obtido pela divisão da percentagem de cloretos, no betão, pela sua percentagem de cimento, que neste caso toma o valor estimativo, pela EN 14629:07, de 14%. Esta expressão, indica abaixo, retorna o valor que depois é comparado com o teor limite para o qual ocorre a despassivação das armaduras.

$$Cl_{massa\ de\ cimento}^{-}(\%) = \frac{Cl_{massa\ de\ bet\til{a}o}^{-}(\%) * 100}{Cimento\ no\ bet\til{a}o\ (\%)} \quad (18)$$

Para o ponto V1, obteve-se o gráfico abaixo, onde se observam duas curvas, sendo a azul o perfil de cloretos, e a vermelha, o teor crítico para a despassivação das armaduras (NP EN 206-1:2007, 2007), rondando 0.6% cloretos por massa de cimento.

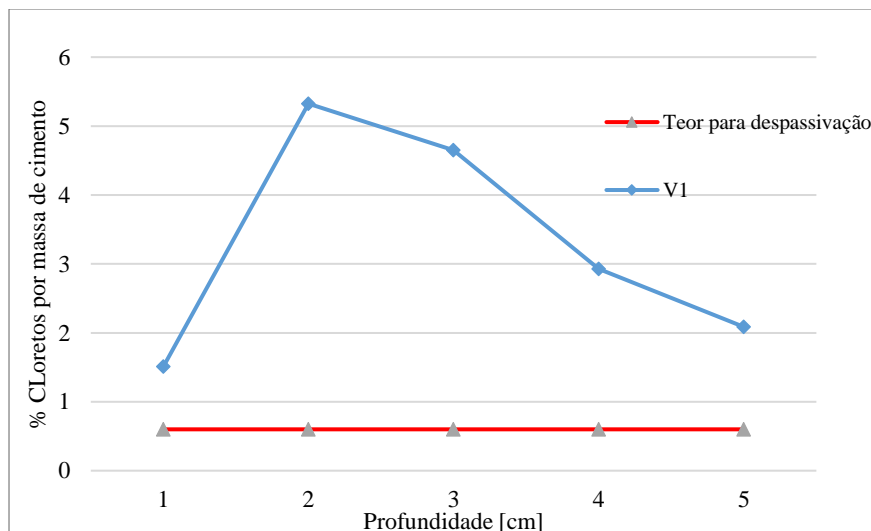


Figura 40: Perfil de cloretos, ponto V1

Exclusivamente para este subcapítulo e por questões de simplificação, efetuou-se a média de todas as tomas, para dois microclimas distintos: zona atmosférica e zona de maré.

Anteriormente, segundo McCarthy & Giannakou (2002), afirmou-se que na zona atmosférica, o teor de cloretos tenderia a valores superiores que na zona de maré e tal não foi comprovado, na estrutura em estudo. A imagem abaixo, revela que a zona atmosférica retornou maiores concentrações de cloretos, desde a superfície até à altura de recobrimento. (Appleton & Costa, n.d.), afirmam, através de resultados experimentais, que o ambiente mais agressivo é da zona de maré, graças aos ciclos de molhagem e secagem que levam a maiores velocidades de penetração.

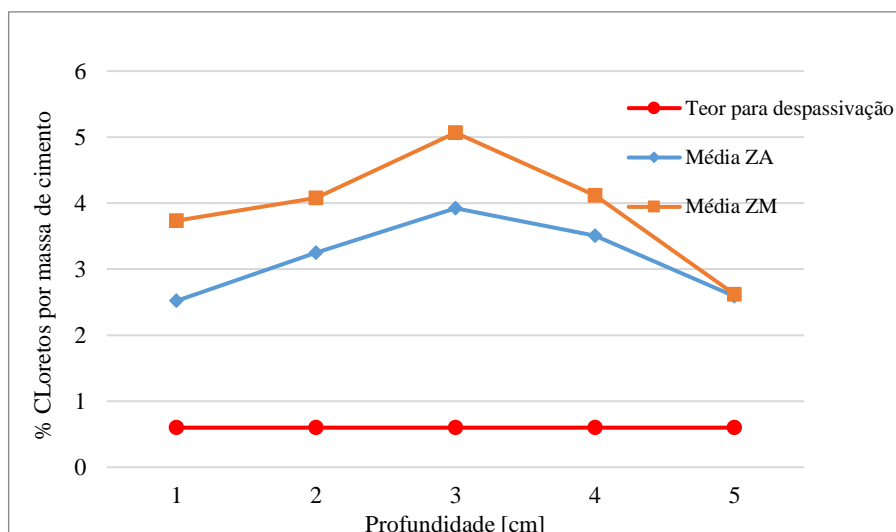


Figura 41: Perfis de cloretos, médias das zonas atmosféricas e de marés

Independentemente das discrepâncias de valores ou dos microclimas, é evidente que a percentagem de cloretos está excessivamente acima do admissível. Os valores começam desde os 0.45% chegando até em certos casos a 9.36%, como é o caso do ponto V4 na profundidade 20-30 mm.

3.5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Pelos valores apresentados na Tabela 7, constata-se uma profundidade da frente de carbonatação em crescente, do Cais Norte para o Sul. Verificou-se que quanto mais tempo a superfície do betão permanece seca, mais profunda se encontra a frente de carbonatação, tanto que até nas zonas de maré das vigas o valor é nulo, assim como na zona de carga e descarga de peixe (ponto L3).

Outro fator a contribuir para o aumento desta profundidade, é a utilização de veículos de combustão interna, emissores de gases como o dióxido de carbono. O Cais Sul, sendo o cais de acostagem e abastecimento, retornou os valores mais altos, enquanto que o Cais Oeste teve valores intermédios, também coincidente com facto de só ser utilizado para estacionamento de veículos ligeiros, à frente do Cais Norte, no qual apenas eram utilizadas empilhadoras elétricas.

A tabela abaixo, retrata a profundidade da frente de carbonatação por cais Tabela 7, em dois elementos estruturais, vigas e lajes. Nas vigas a média baseou-se nos três valores obtidos por cada cais, totalizando para estes elementos 9 amostras ensaiadas. Quanto às lajes dos cais Norte e Sul, as médias obtiveram-se a partir de 4 pontos distintos, enquanto no Oeste a média foi obtida segundo duas amostras, não sendo portanto representativo do cais inteiro, como nas restantes. Daqui constatou-se que a profundidade da frente de carbonatação é crescente do Cais Norte para o Sul, e que a mesma não chega a mais de metade da altura de recobrimento.

Tabela 10: Profundidade da frente de carbonatação média por cais

Profundidade de Carbonatação [mm]		
Cais	Elemento	Média/Cais
Norte	Viga	11

Profundidade de Carbonatação [mm]		
Cais	Elemento	Média/Cais
Oeste		18
Sul		25
Norte	Laje	9
Oeste		12
Sul		19

No que toca a teor de cloretos é claramente evidente a diferença, entre os regulamentos atuais e os da época. Uma estrutura deste tipo, pelas normas atuais deveria ter um tempo de vida útil de 50 anos, sem grandes intervenções de manutenção e/ou reparação (LNEC, 2007), implicando que o teor de cloretos só deveria rondar o valor crítico daqui a 16 anos. Junto às armaduras, ambas as médias das zonas de maré e atmosférica rondam os 2.6% de teor de cloreto por massa de cimento. Atendendo que o valor para a despassivação é de 0.6% por massa de cimento, o teor junto às armaduras é 4.3 vezes superior ao admitido.

Quanto às médias, a zona de maré retorna valores superiores aos da zona atmosférica. A penetração de cloretos no interior do betão apenas ocorre se os poros do betão contiverem água (Appleton & Costa, n.d.) portanto quanto maior exposição a águas contaminadas maior a permeação, e consequentemente maiores concentrações de teor de cloretos até à profundidade das armaduras Figura 43.

Por cais denotou-se que o Cais Norte, encontra-se com a maior quantidade em todo o perfil. Os valores mais altos, são justificados pela maior degradação da superfície de betão, que em toda a periferia exterior se encontra como os finos dissolvidos, retendo melhor os agentes agressores na superfície, e pela idade acrescida em relação aos restantes.

Os Cais Oeste e Sul apresentam valores médios muito semelhantes, excetuando nos valores pico e profundidades respetivas. Dado que o estado superficial da periferia é geralmente semelhante nos dois cais, a justificação encontra-se na idade mais jovem do Cais Sul.

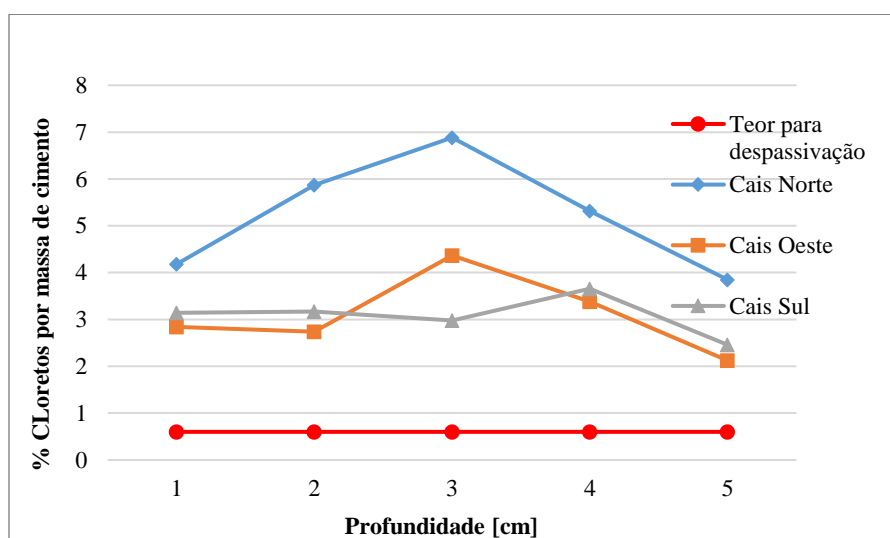


Figura 42: Perfis de cloretos, média por cais

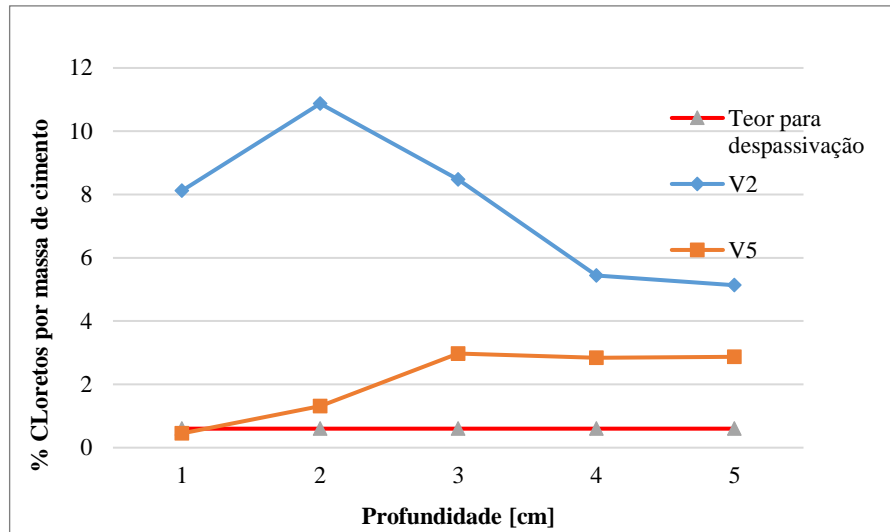


Figura 43: Perfis de cloretos pontos V2 e V5

Individualizando os resultados, verificou-se 2 pontos com resultados muito discrepantes. Os pontos V2 e V5 destacaram-se, pelas suas concentrações mais altas e mais baixas, observadas em todo o perfil de cloretos, devido ao tipo de tarefas realizadas na zona. Dado que na zona do ponto V2, é efetuada a descarga de peixe, surge maiores hipóteses de contaminação tanto por sais como por substâncias biológicas que adulteram os resultados para valores superiores. No entanto, verificou-se o oposto no ponto V5. Na proximidade, efetuam-se os carregamentos de gelo nas embarcações e veículos de carga, procedimento que acaba lavando a superfície do betão com água doce, eliminando a concentração de sais oriundos do mar.

Toda a zona interior do cais, foi inspecionada na zona mais inferior da viga periférica. Como referido, tal aconteceu devido a inacessibilidade a pontos mais altos. Junto às armaduras verificou-se uma média de 1.57% de cloretos por massa de cimento, valor um pouco mais baixo mas bem acima do valor para a despassivação, que o obtido na zona exterior, devido às lavagens superficiais oriundas das marés que evitam a permanência dos depósitos de sal, por períodos mais alongados, dificultando assim a penetração dos mesmos. O ponto Vi5, retornou os teores mais baixos, devido a sua proximidade com a zona de descarga de gelo.

A classe de betão existente na estrutura, só foi determinada após os ensaios de compressão, atendendo que não há qualquer informação nas plantas. Obtidos os valores de resistência à compressão das amostras, seguiu-se a avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas, segundo a norma NP EN 13791:08.

Esta norma refere vários métodos de avaliação, segundo o tipo de elementos a ensaiar, sendo provetes ou amostras, número de elementos a ensaios e ainda tipos de ensaios. Dado que foram utilizadas carotes com um total de 13 elementos, utilizou-se a avaliação da resistência à compressão “in situ” por ensaios em carotes segundo a Abordagem B (NP EN 13791:2008, 2008).

Esta abordagem retorna a classe de betão, segundo as atuais especificações da EN 206-1, através de uma estimativa da resistência, obtida por meio dos valores obtidos em laboratório e cálculos, que mais tarde é comparada com os requisitos mínimos de cada classe, indicados no Quadro 1, da NP EN 13791.

A resistência estimada, $f_{ck,is}$, é obtida pelo menor valor das duas equações seguintes:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k \quad (19)$$

$$f_{ck,is} = f_{is,menor} + 4 \quad (20)$$

onde:

$f_{m(n),is}$ – média dos resultados de n ensaios;

$f_{is,menor}$ – menor resultado do ensaios;

k – margem associada ao número de resultados;

Do subcapítulo anterior obteve-se $f_{m(n),is} = 46.9 \text{ MPa}$ e $f_{is,menor} = 36.5 \text{ MPa}$, portanto tomando $k = 5$, (NP EN 13791:2008, 2008) obtém-se das equações anteriores o seguinte:

$$f_{ck,is} = 46.9 - 5 = 41.9 \text{ MPa}$$

$$f_{ck,is} = 36.5 + 4 = 40.5 \text{ MPa}$$

Tomando o $f_{ck,is} = 40.5 \text{ MPa}$, segundo o Quadro 1 da NP EN13791:2008, o betão tem a classe de resistência C35/45.

3.6 MODELAÇÃO ESTRUTURAL

Atendendo que as zonas a intervir na estrutura são os pórticos, modelou-se o pórtico mais condicionante, constituinte do Cais Norte, com um vão efetivo (l_{eff}) de 7.9 m (NP EN 1992-1-1, 2010).

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 \quad (21)$$

Onde,

l_n – é a distância livre entre as faces dos apoios, $l_n = 7.35 \text{ m}$

a_1 e a_2 – são os valores em cada extremidade de cada vão, sendo $a_1 = \frac{h_{viga}}{2} = 0.4 \text{ m}$ e $a_2 = 0.15 \text{ m}$, considerando o aparelho de apoio (muro montante) com 0.3 m de largura.

$$l_{eff} = 7.35 + 0.4 + 0.15 = 7.9 \text{ m}$$

O modelo foi executado no programa, SAP2000 por forma a obter os esforços das diversas secções, de forma automática e menos morosa. A figura abaixo ilustra, o pórtico do Cais Norte, com a figura a) a

ilustrar a distribuição de momentos ao longo da viga e na figura b) a distribuição de tensões na sua direção longitudinal. A preferência pelos elementos frame, surge pela maior dinâmica na utilização do programa, desde a aplicação de cargas à aplicação direta dos esforços nos cálculos das armaduras.

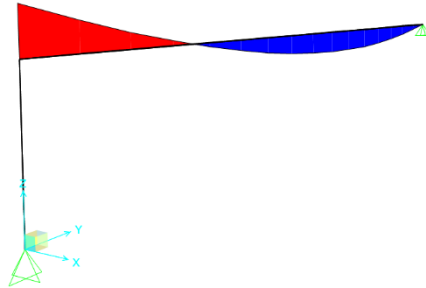


Figura 44: Pórtico em elementos "frame", vista com momento fletor atuante

No lado montante do pórtico apenas prolongou-se a viga até ao comprimento conhecido terminando com um apoio simples. As seções da viga e do maciço de encabeçamento foram executadas pela ferramenta Section Designer, utilizando a geometria estipulada no projeto com o betão C35/45. Além da geometria original, modelou-se a viga com a solução de reabilitação Figura 45.

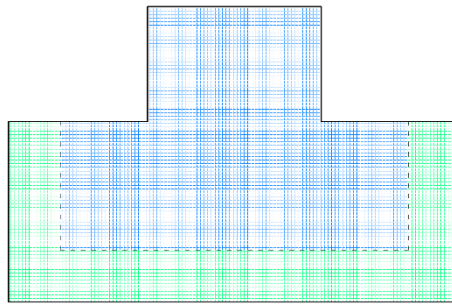


Figura 45: Secção da viga com solução de reabilitação

Para fins de cálculo, no alargamento foi implementado na secção um betão da classe C35/45, e a estrutura contou com uma coluna, com a secção indicada no projeto, com a única profundidade conhecida, de 9.4 m, com uma profundidade adicional de 4 diâmetros simulando o encastramento, totalizando em 13.8 m.

Para as cargas, foram implementadas o peso próprio da laje e ainda uma sobrecarga de exploração da estrutura de 10kN/m^2 , transformadas em cargas lineares, segundo o procedimento seguinte:

$$pp_{enchimento} = h_{enchimento} \times l_{influência} \times \gamma_{betão} \quad (22)$$

Onde,

- $l_{influência}$ é a largura da área que distribui cargas para a viga, sendo neste caso igual à distância entre pórticos;

$$pp_{enchimento} = 0.10 \times 5.4 \times 25 = 13.5 \text{ kN/m}$$

$$pp_{laje} = h_{laje} \times l_{influência} \times \gamma_{betão} \quad (23)$$

$$\leftrightarrow pp_{laje} = 0.33 \times 5.4 \times 25.0 = 45 \text{ kN/m}$$

$$SC_{exploração} = SC_{10kN/m^2} \times l_{influência} \quad (24)$$

$$\leftrightarrow SC_{exploração} = 10 \times 5.4 = 54.0 \text{ kN/m}$$

Os valores para cada carga mencionada adotados foram: $pp_{laje} = 45 \text{ kN/m}$, $pp_{enchimento} = 13.5 \text{ kN/m}$ e $SC_{exploração} = 54.0 \text{ kN/m}$. Para o dimensionamento, definiu-se a combinação Estado Limite Último, com o s coeficiente de majoração de $\gamma_{f,sc}=1.5$ para a sobrecarga de exploração e $\gamma_{f,betão}=1.35$ para as cargas gravíticas do peso próprio da laje e dos elementos modelados.

$$comb_{ELU} = 1.35 \times (pp_{enchimento} + pp_{laje} + pp_{pórtico}) + 1.5 \times SC_{exploração} \quad (25)$$

Efetuada a análise, verificou-se um momento negativo junto ao maciço de encabeçamento significativo, o que levou a uma verificação da capacidade resistente das armaduras estipuladas no projeto. Verificou-se que para as cargas aplicadas, que as armaduras são insuficientes. Como tal o dimensionamento das armaduras longitudinais de tração, contabilizaram uma redistribuição de momentos, retirando metade do valor do momento negativo que passa a ser suportado pelas armaduras longitudinais de tração.

$$M_{plástico} = M_{Ed}^+ + M_{Ed}^- / 2 \quad (26)$$

$$M_{plástico} = 1172 + 627/2 = 1485.5 \text{ kN.m}$$

O dimensionamento das armaduras foi realizado de acordo com o método das grandezas adimensionais, através das seguintes equações:

$$\mu = \frac{Med}{b \times d^2 \times F_{cd}} \quad (27)$$

$$\omega = \frac{(1 - \sqrt{1 - 2.42\mu})}{1.21} \quad (28)$$

$$A_s = \omega \times b \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \times 10^4 \quad (29)$$

μ – momento fletor reduzido

ω – percentagem mecânica de armadura

A_s – armadura longitudinal [cm^2]

M_{ed} – momento atuante [$kN.m$]

b – largura do banzo [m]

d – altura útil [m]

f_{cd} – valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão [MPa]

f_{yd} – valor de cálculo da tensão de rotura do aço à tração [MPa]

Com os valores da tabela seguinte, obteve-se uma área de armadura de cálculo de $45.83 cm^2$, resultando em $15\emptyset 20$ ($47.1 cm^2$), que substituíem por completo as armaduras existentes. Esta quantidade verifica a condição de armadura mínima.

$$A_{s_{min}} = 0.26 \times \frac{F_{ctm}}{F_{ym}} \times b_w \times d \quad (30)$$

$$A_{s_{min}} = 0.26 \times \frac{3.2}{435} \times 1.2 \times 0.785 = 16.98 cm^2 < 11\emptyset 20 (34.54 cm^2).$$

Para a verificação das forças de tração nos estribos, foram calculadas as armaduras transversais segundo

Tabela 11: Valores de cálculo para armaduras longitudinais inferiores

Com secção retangular						Betão			Aço A500	
b [m]	h [m]	d [m]	M_{Ed} [kN.m]	μ	ω	Classe	f_{cd} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	f_{yd} [MPa]	f_{yk}
1.3	0.85	0.785	1485.5	0.079	0.084	C35/45	23.3	3.2	435	500

Foram também calculadas as armaduras transversais, segundo Equação (6.8) do EuroCódigo 2 (31),

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \times z \times f_{yd} \times \cot \theta \quad (31)$$

$$\leftrightarrow \frac{A_w}{s} = \frac{\theta}{z \times f_{yd} \times \cot \theta}$$

Capítulo 3 – Caso de Estudo

Para este cálculo considerou-se $\theta = 30^\circ$, para retornar a maior distância ao apoio e dimensionamento com a menor armadura possível.

Dado que $z = 0.9 \times d$,

$$z \cot \theta = 0.9 \times 0.785 \times \cot 30 \approx 1.2 \text{ m}$$

A $z \cot \theta$ o esforço transversal atuante é $V_{Ed}=627$ kN. Da Equação (31), $\frac{A_{sw}}{s} = 11.16 \text{ cm}^2$, e, conseqüente, uma armadura de ligação banzo-alma $\left(\frac{A_{sf}}{s} = 0.5 \times \frac{A_{sw}}{s}\right)$ de 4.73 cm^2 .

Escolheu-se o maior espaçamento possível, para a maior redução de furações a fazer.

- espaçamento máximo s_{max}

$$s_{max} \leq 0.75 \times d(1 + \cot \theta) \quad (32)$$

$$\leftrightarrow s_{max} \leq 0.75 \times 0.785 \times (1 + \cot 30) = 0.58 \text{ m}$$

contudo o espaçamento máximo recomendado é descrito pela condição abaixo

$$s_{recomendado} \leq 0.5 \times d \quad (33)$$

$$\leftrightarrow s_{recomendado} \leq 0.5 \times 0.785 = 0.39 \text{ m}$$

Portanto ficou-se pelo espaçamento máximo de 35 cm na disposição das armaduras transversais, logo a disposição de armaduras fica em $\emptyset 16$ afastado a 35 cm (11.4 cm^2) para os estribos da alma e $\emptyset 10$ também afastados a 35 cm (2.24 cm^2) para os estribos do banzo.

Dimensionadas as armaduras para o esforço transversal, procedeu-se à seguinte verificação:

- compressão da alma $\sigma_{c,max} \geq \sigma_{c,alma}$

$$\sigma_{c,max} = 0.6 \left[1 - \frac{F_{ck}}{250} \right] F_{cd} \quad (34)$$

$$\leftrightarrow \sigma_{c,max} = 0.6 \left[1 - \frac{35}{250} \right] \times 23.3 = 12.02 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{c,alma} = \frac{V_{ed}(z \cot \theta)}{0.9 \times d \times b_w \times \sin 30 \times \cos 30} \quad (35)$$

$$\leftrightarrow \sigma_{c,alma} = \frac{532}{0.9 \times 0.785 \times 1.3 \times \text{sen}30 \times \text{cos}30} = 1.7 \text{ Mpa} < \sigma_{c,max}$$

3.7 METODOLOGIA DE REPARAÇÃO

A reparação basear-se-á na remoção do betão deteriorado e das armaduras não recuperáveis, com posterior colocação de novas armaduras, ligadas ao existente por aplicação de resina epóxida, e betonagem.

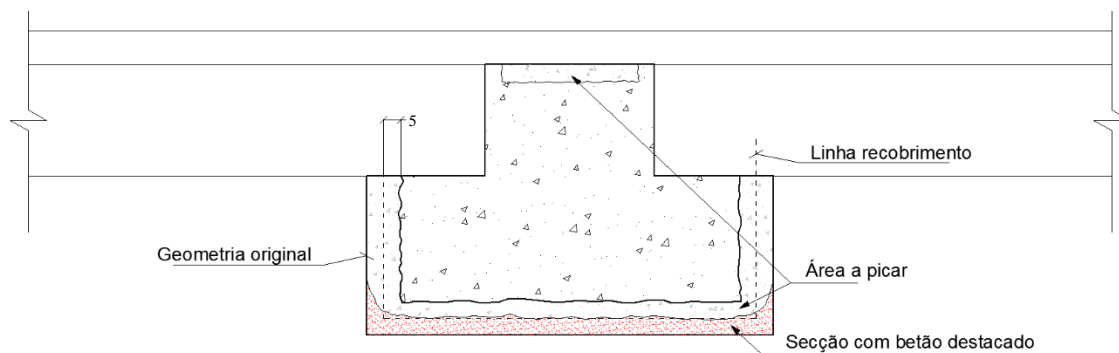


Figura 46: Pormenorização das áreas a picar [cm]

Por razões de segurança, prevê-se um sistema de suporte, para a totalidade das cargas da estrutura, a existir durante os trabalhos de reparação.

O suporte é realizado através de perfis metálicos, paralelos às vigas dos pórticos, acoplados aos maciços de encabeçamento e ao muro/parede existente, cujas cargas são transferidas através de prumos metálicos. Garantindo a transferência de forças uniforme, é colocado um perfil IPE encostado à laje, escorado de metro a metro.

Uma vez escorada a estrutura, procede-se à remoção do betão superficial e das armaduras em avançado estado de corrosão. Furam-se todas as zonas de passagem de armaduras, e colocam-se as armaduras transversais, com a respetiva selagem e injeção sempre que tal é previsto. Segue-se a montagem das cofragens inferiores. Finalmente, realiza-se a betonagem. Por forma a possibilitar esta operação, serão realizados furos na laje, de betonagem e inspeção, junto às vigas, de modo a possibilitar a colocação de betão autocompactável, evitando a sua vibração em zonas de difícil acesso.

Todo este processo é realizado em sucessão das tarefas, num máximo de 6 vigas em simultâneo, continuando a reparação no elemento seguinte, após a disponibilidade do material reutilizável, i.e., perfis metálicos, prumos e cofragens. Estas 6 vigas serão divididas por 3 grupos para 3 fases distintas de trabalhos: fase de picagem (fase 1), fase de colocação de armaduras (fase 2) e fase de betonagem (fase 3). Assim que a descofragem seja possível, o material reutilizável passa para a viga seguinte iniciando de novo o ciclo.

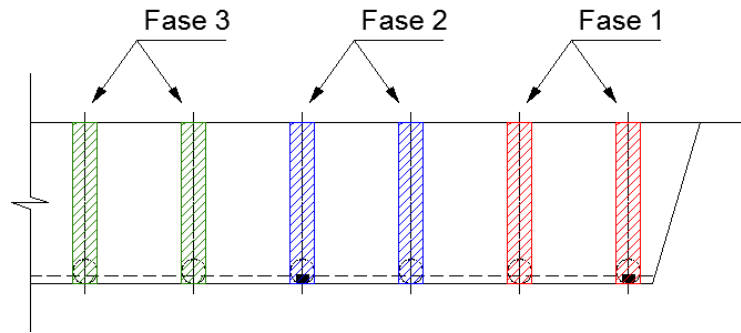


Figura 47: Ilustração da sucessão de fases de reparação, Cais Norte

No pavimento será removido todo o betão de enchimento e betonado uma nova camada, também com betão da classe C35/45 e rede eletrosoldada do tipo AQ50, com 15 cm de espessura, acabada com talocha mecânica e endurecedor de superfície. Na zona inferior do pavimento será aplicada uma pintura nas vigas pré-fabricadas como proteção.

3.8 DIMENSIONAMENTO DO ESCORAMENTO

O dimensionamento da viga começou pela definição do modelo de cálculo que, neste caso, é uma viga simplesmente apoiada. Depois, calculou-se o peso próprio da estrutura, da camada de enchimento, e ainda uma sobrecarga de serviço de 5 kN/m². Atendendo que certas cargas são distribuídas pelos dois perfis metálicos, as cargas da laje, enchimentos, sobrecargas de serviço e carga no aumento da secção da viga são multiplicados por 0.5.

Em equação as cargas descrevem-se da seguinte forma:

$$carga_{perfil} = 0.5A_{aumento\ secc\tilde{a}o} \times \gamma_{bet\tilde{a}o} \times \gamma_{f,bet\tilde{a}o} + 0.5pp_{laje} \times \gamma_{f,bet\tilde{a}o} + 0.5pp_{enchimento} \times \gamma_{f,bet\tilde{a}o} + 0.5sc_{servi\tilde{c}o} \times \gamma_{f,sc} + pp_{perfil} \times \varphi_{a\tilde{c}o} \quad (36)$$

onde, $\gamma_{f,i}$, representam os coeficientes de segurança respetivos a cada carga, ficando, portanto,

$$carga_{perfil} = 0.5 \times (0.52 \times 1.3 - 0.37 \times 1) \times 25 \times 1.35 + 0.5 \times (44.55 + 16.9 + 13.5) \times 1.35 + 0.5 \times (27 + 0.5) \times 1.5 + (0.18 + 1.52) \times 1.15 = 78.3 \text{ kN/m}$$

É de acrescentar que o peso próprio do perfil foi atribuído após a sua seleção e verificação dos parâmetros de segurança, através de iterações. Para um $l=7.9 \text{ m}$, ficando do lado da segurança, obtiveram-se os esforços abaixo:

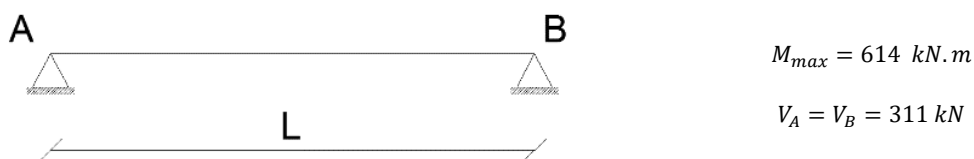


Figura 48: Modelo de cálculo utilizado no dimensionamento de perfis e esforços obtidos

As verificações efetuadas foram: verificação à flexão da secção transversal viga, verificação da viga considerando a encurvadura por flexão-torção, e verificações das ligações ao corte e tração para as buchas.

Para a verificação da segurança da viga, recorreu-se à NP EN 1993-1-1:2010, Anexo F, para o cálculo do momento crítico elástico. Inicialmente, apuram-se os parâmetros k , k_w e C_i , que contabilizam a distribuição do diagrama de momentos, condições de apoio, nomeadamente rotação (k) e de empenamento (k_w).

Consultando a tabela F.1.2 e admitindo um apoio rotulado ($k = 1$), obteve-se as constantes: $C_1 = 1.132$, $C_2 = 0.459$ e $C_3 = 0.525$. Para o valor de k_w , foi admitido que o perfil é livre de empenar, caso em que $k_w = 1$.

Tirando os valores referentes às propriedades do perfil selecionado (HEB 400), fazendo $z_g = \frac{h_{perfil}}{2} = 200 \text{ mm}$, com $E_{aço} = 210 \text{ GPa}$ e $G_{aço} = 81 \text{ GPa}$, a equação abaixo dá o seguinte resultado:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]^{0.5} - C_2 z_g \quad (37)$$

$$\Leftrightarrow M_{cr} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 10820 \times 10^4}{(1 \times 7.9 \times 10^3)^2} \left\{ \left(\frac{1}{1} \right)^2 \frac{3817 \times 10^{-3} \times 10^6}{10820 \times 10^4} + \frac{(1 \times 7.9 \times 10^3)^2 \times 81 \times 10^3 \times 355.7 \times 10^4}{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 10820 \times 10^4} + (0.459 \times 200)^2 \right\}^{0.5} - 0.459 \times 200$$

$$\Leftrightarrow M_{cr} = 837.1 \text{ kN.m}$$

Obtido o momento crítico, verificou-se a resistência da viga, que tem em conta os fatores de imperfeição referentes ao tipo de secção, sendo laminada ou soldada segundo o ponto 6.3.2 no EC3, resultando:

- cálculo da esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_{yk}}{M_{cr}}} \quad (38)$$

$$\Leftrightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{3232 \times 10^3 \times 355}{837.1}} = 1.17$$

- seleção da curva de encurvadura, dependente da relação altura/largura da viga:

$$h/b \quad (39)$$

$$\Leftrightarrow \frac{h}{b} = \frac{400}{300} = 1.33 < 2$$

pelo Quadro 6.3 e 6.4 do EC3, indica a curva de encurvadura a, com o fator de imperfeição $\alpha_{LT} = 0.21$;

- cálculo intermédio $\bar{\phi}_{LT}$;

$$\bar{\phi}_{LT} = 0.5 \left(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \quad (40)$$

$$\bar{\phi}_{LT} = 0.5 \times (1 + 0.21 \times (1.17 - 0.2) + 1.17^2) = 1.28$$

- cálculo do coeficiente de redução para a encurvadura lateral, $\bar{\chi}_{LT}$:

$$\bar{\chi}_{LT} = \frac{1}{\bar{\phi}_{LT} + \sqrt{\bar{\phi}_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1 \quad (41)$$

$$\Leftrightarrow \bar{\chi}_{LT} = \frac{1}{1.28 + \sqrt{1.28^2 - 1.17^2}} = 0.55 \leq 1$$

- cálculo do momento fletor resistente, $M_{b,rd}$:

$$M_{b,rd} = \bar{\chi}_{LT} W_{pl,y} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad (42)$$

$$\Leftrightarrow M_{b,rd} = 0.55 \times 3232 \times 10^3 \times \frac{355}{1} = 630 \text{ kN.m} < M_{ed} = 614 \text{ kN.m}$$

O dimensionamento das ligações foi realizado para o caso condicionante (Cais Norte), nomeadamente no tocante à espessura da chapa para resistir à flexão e ao esmagamento, e ainda de todos as buchas químicas que fazem a ligação entre o perfil e o betão existente.

Exemplificando para o caso mais condicionante, ligação perfil HEB 400-maciço de encabeçamento, os esforços são:

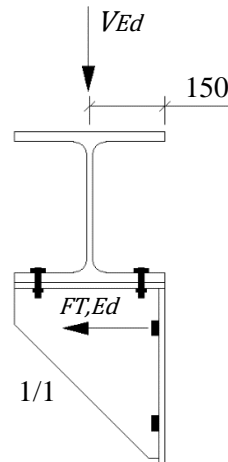


Figura 49: Modelo de cálculo, ligação perfil/maciço, para HEB 400 [mm]

Para uma reação de apoio $V_{ed} = 310 \text{ kN}$, o momento gerado pela excentricidade de carga apresentada é:

$$M_{ed} = 310 \times 0.150 \approx 50 \text{ kN.m}$$

Também foi selecionado o mesmo tipo de aço S355 para as chapas dos apoios.

Tabela 12: Propriedades bucha química HILTI HUV HAS-(E) M27x24

f_{ub} [MPa]	d [mm]	d_0 [mm]	$N_{ru,n}$ [kN]	$V_{ru,n}$ [kN]	h [mm]
800	27	30	250.3	182.7	270

Para dimensionamento das buchas, definiu-se inicialmente a posição das mesmas, considerando as distâncias mínimas entre os bordos das chapas e entre eles, ficando numa chapa de $460 \times 350 \text{ mm}$ com a disposição da Figura 50 (NP EN 1993-1-8, 2010).

Os esforços atuantes nas buchas são de tração e de corte. Para o corte, bastou comparar a resistência última de cada bucha HUV M27x240 indicada pelo fabricante. Definiu-se que seriam implementadas 2 buchas, cada uma com $V_{Rd} = V_{ru,n} = 182.7 \text{ kN}$, ficando desta forma ligeiramente sobredimensionadas.

A Figura 50 demonstra a disposição da simbologia em relação à direção das forças atuantes. Neste caso a carga está representada pela seta, indicando que os símbolos nessa direção tomam o índice 1 e os restantes 2. O posicionamento das buchas contou com o espaçamento mínimo entre buchas assim como entre os respetivos eixos e a extremidade da chapa, resultando na disposição com as medidas abaixo indicadas.

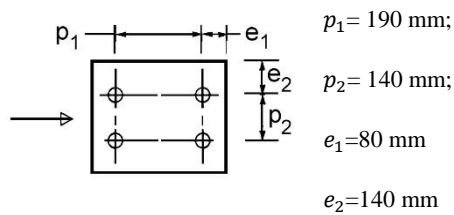


Figura 50: Símbolos para as distâncias entre os eixos dos furos de peças de ligação, adaptado de NP EN 1993-1-8, (2010)

A verificação das forças de tração, é realizada pela equação abaixo, onde o $F_{T,ED}$ obtido é comparado com a capacidade resistente à tração da bucha ($N_{ru,n}$). Para $M_{Ed} = 50 \text{ kN.m}$ e um braço $p_1 = 190 \text{ mm}$, obtém-se:

$$F_{T,ED} = \frac{M_{Ed}}{z_{bucha} \times 10^{-3} / n_{parafusos}} \quad (43)$$

$$\leftrightarrow F_{T,ED} = \frac{50}{190 \times 10^{-3} / 2} = 131.6 \text{ kN} < N_{ru,n} = 250.3 \text{ kN}$$

A verificação final fica no cálculo da flecha elástica, tanto dos perfis HEB como dos perfis IPE usados (IPE 180) para uniformizar a transferência de cargas da laje para os HEB.

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{p * l^4}{E * I} \quad (44)$$

Cada flecha foi calculada sem sobrecarga de serviço e sem coeficientes de majoração, com $l = 7.9 \text{ m}$ pelo lado da segurança, para o perfil HEB 400 e $l = 1 \text{ m}$ para o IPE 180 visto que será o espaçamento entre cada prumo colocado.

Tabela 13: Propriedades dos perfis

$l_{HEB 400} [m]$	$l_{IPE 180} [m]$	$I_{y,HEB 400} [cm^4]$	$I_{y,IPE 180} [cm^4]$
7.9	1	57680	1317

Aplicando a Equação (36), sem sobrecargas e os coeficientes de segurança, obtém-se uma carga de 43.5 kN/m para o HEB 400, e retirando o peso do HEB 400, 41.9 kN/m para o perfil IPE 180. Com as condições descritas, obtiveram-se os seguintes valores:

$$\rightarrow \delta_{HEB 400} = \frac{5}{384} \times \frac{43.5 \times 7.9^3}{210 \times 10^3 * 57680 \times 10^{-8}} = 10.9 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \delta_{IPE\ 180} = \frac{5}{384} \times \frac{41.9 \times 1^4}{210 \times 10^3 \times 1317 \times 10^{-8}} = 0.0008\ mm$$

3.9 PORMENORIZAÇÕES E ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO

Neste subcapítulo ilustra-se o escoramento da estrutura, pormenorizações das ligações dos perfis metálicos aos elementos de betão armado e pormenorizações da secção transversal, incluindo a pormenorização das armaduras, áreas a demolir e betonar na secção transversal.

A Figura 51 e Figura 52, ilustram as ligações à parede e ao maciço de encabeçamento, usando perfis HEB 400. É de notar que o posicionamento dos mesmos conta com um espaçamento na vertical de 15 cm do banzo da viga e que os apoios ficam encostados ao maciço de encabeçamento, estando portanto afastados a uma largura de 1.3 m. A transmitir a carga uniformemente para os HEB's utilizam-se prumos extensíveis com a altura a rondar os 42 cm, com duas chapas de 100x100x10 nas suas bases. A fim de garantir a ligação entre perfis e as chapas que compõem os apoios, estão parafusos M12x60 da classe 8.8, enquanto que os apoios, compostos por chapas de 12 mm de espessura estão ligados ao betão por meio de buchas químicas HILTI HUV HAS-(E) M27x240, num total de 4 por apoio, ficando 2 a suportar as forças de corte e 2 a suportar as forças de tração geradas pelo momento fletor nas extremidades.

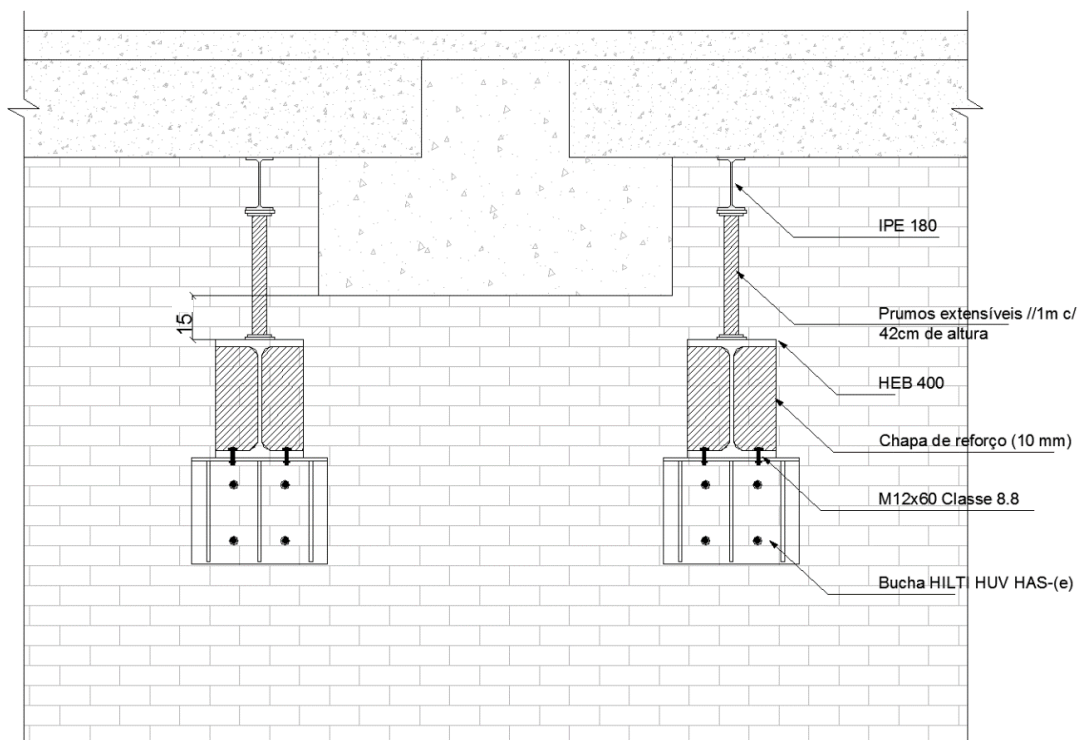


Figura 51: Ligação perfil-parede no Cais Norte [cm]

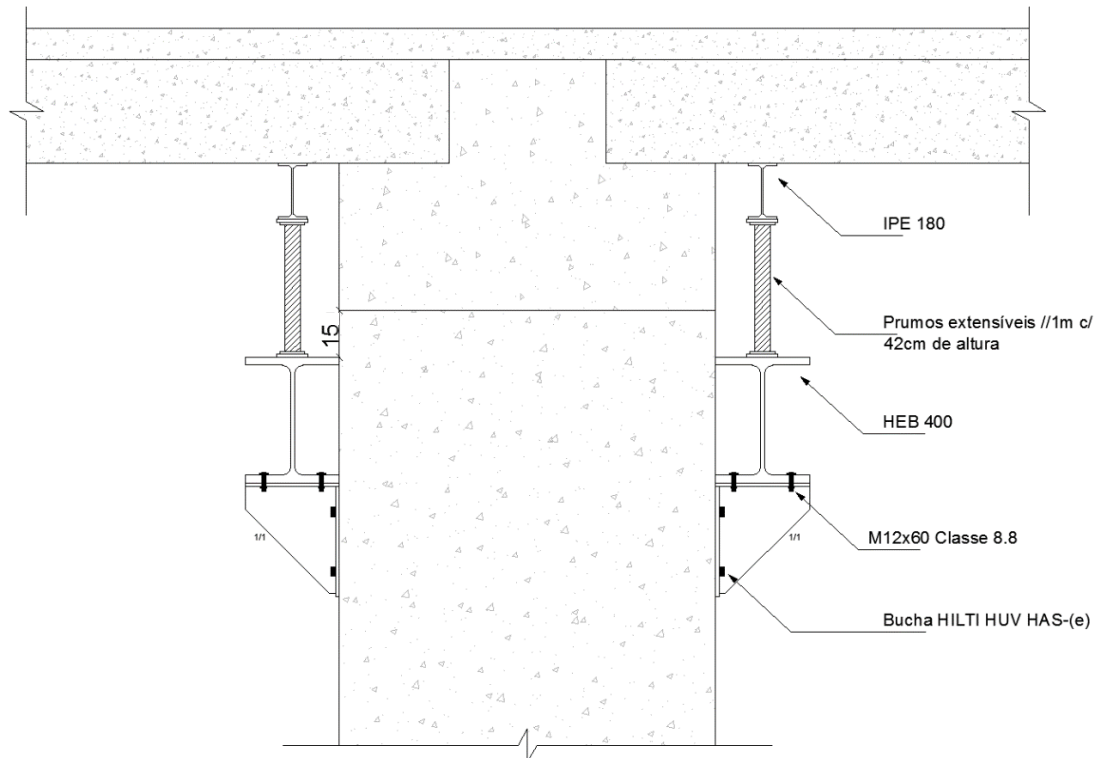


Figura 52: Ligação perfil-maço de encabeçamento [cm]

Quanto aos apoios, todos são executados com chapa de 12 mm de espessura utilizando aço S355, com ligações soldadas.

Na Figura 53 e Figura 54, observam-se os alçados dos escoramentos do Cais Norte e Cais Oeste. É de notar que a ligação do lado mar, nas duas ilustrações, não está centrada com o maço de encabeçamento. O centro do apoio em aço conta com um desvio de 10 cm, de modo a possibilitar a montagem sem interagir com a viga periférica. Como reforço aos HEB's, colocam-se placas de reforço na alma em semelhança aos apoios perfli/parede, na mesma posição dos prumos. Como nota final, deixa-se que cada perfil deverá contar com um espaçamento de 5 cm, em cada extremidade do elemento de betão existente.

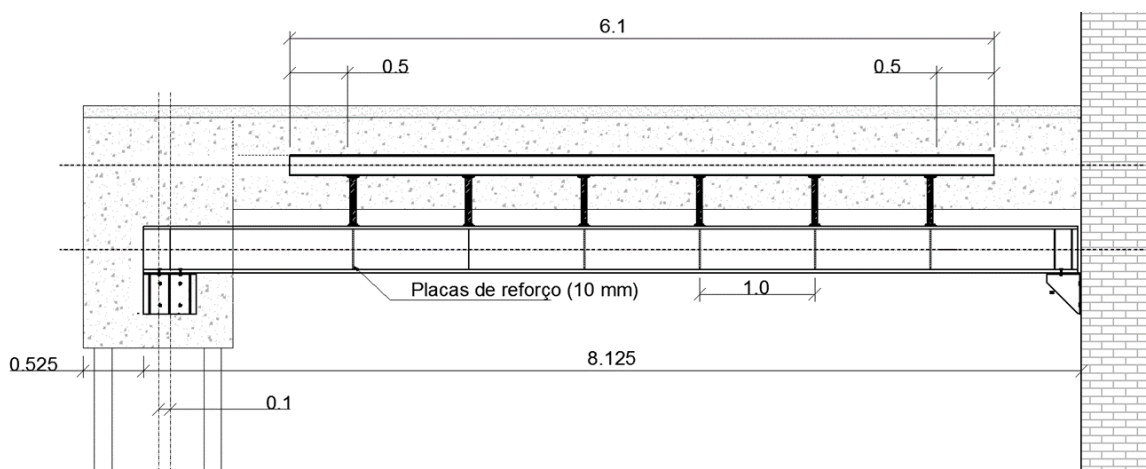


Figura 53: Alçado do pórtico do Cais Norte escorado

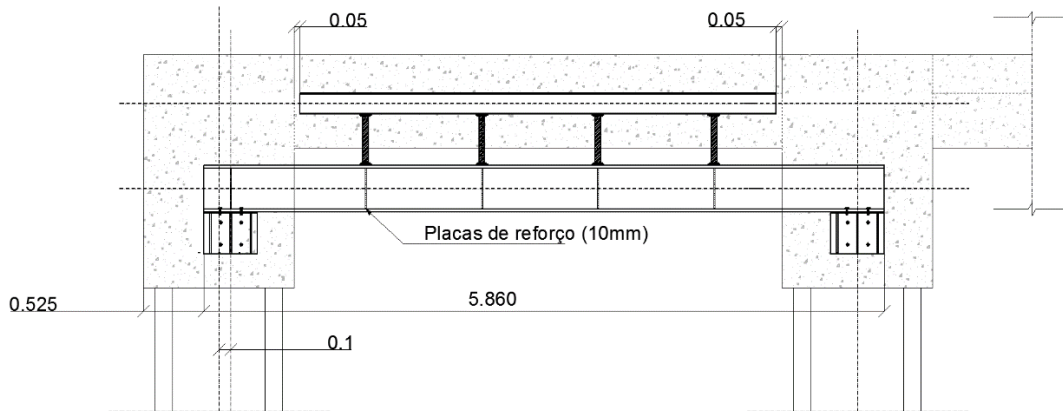


Figura 54: Alçado do pórtico do Cais Oeste escorado

Em seguida, representa-se a secção final da viga, com a disposição das armaduras. As legendas com (*) e (**) indicam furos com diâmetro de 25 e 16 mm, para os varões de 16 e 10 mm de diâmetro respetivamente, injetados e selados com resina epóxida. O comprimento da furação para os estribos do banzo é de cerca de 35 cm, a partir das superfícies, após a picagem do betão. Para os estribos, executam-se 2 furos, de modo a perfurar completamente a viga em toda a sua altura, com o mesmo diâmetro de furação mas distanciados de cerca de 7.5 cm a contar da face da alma.

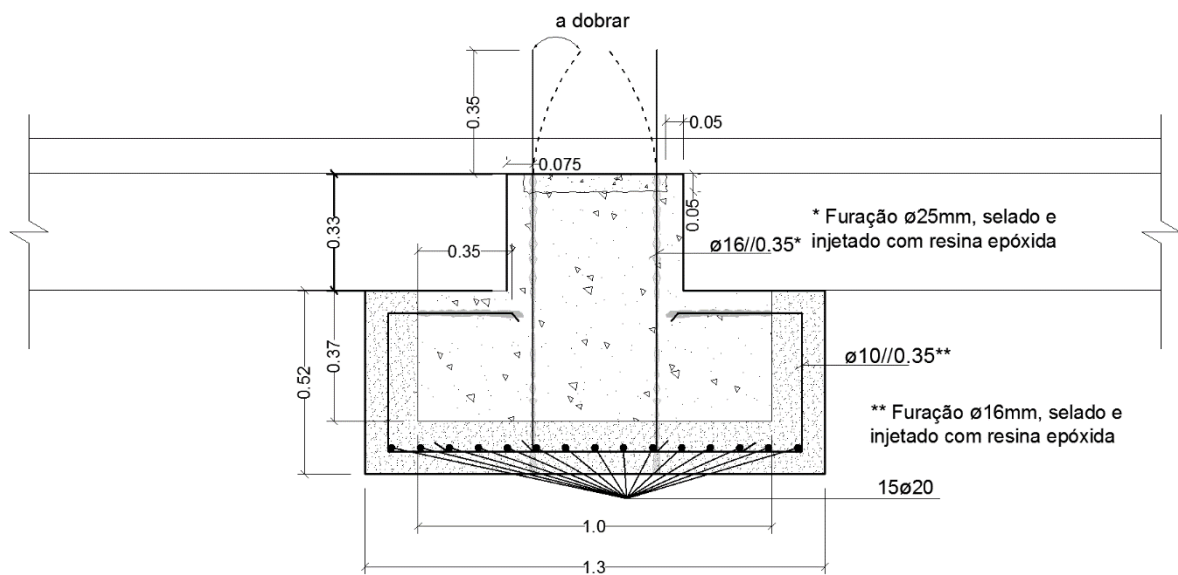


Figura 55: Pormenorização das armaduras

Quanto ao betão a usar, trata-se de um betão com a seguinte especificação: NP EN206-1: C35/45 XS3 (PT) Cl 0.1 D8 S4, de retração controlada. O aço das armaduras é do tipo A500 NR SD.

É de notar que o betão para as vigas dos pórticos e para os restantes elementos, nomeadamente pavimento e vigas periféricas, partilham a mesma classe de resistência no entanto diferem na especificação.

Betão para vigas do pórtico: NP EN206-1: C35/45, XS3 (PT), Cl 0.1, Dmax8, S4, autocompactável;

Betão para o pavimento e vigas periféricas: NP EN206-1: C35/45, XS1 (PT), Cl 0.1, Dmax20, S3;

Ambos podem receber os seguintes cimentos: CEM IV/B; CEM III/A; CEM III/B; CEM V; CEMII/A-D

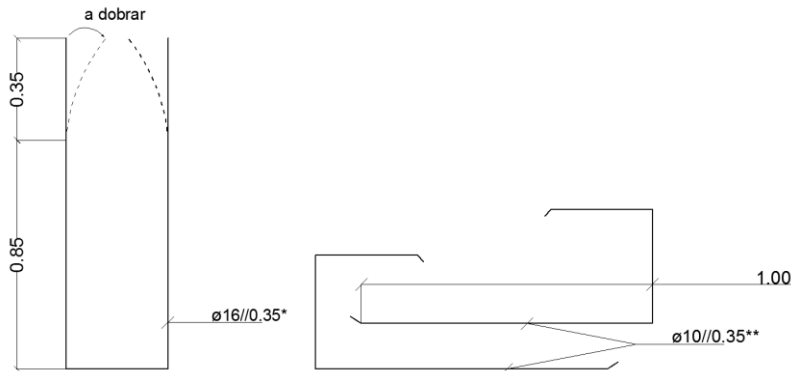


Figura 56: Pormenor dos estribos da alma e do banzo

Designou-se um betão C35/45 devido à classe de exposição XS3, com classe de abaixamento S4, atendendo que se trata de uma estrutura convencional e que este é a classe recomendada. O diâmetro máximo do agregado foi estipulado para 8 mm, visando facilitar o processo de betonagem.

O recobrimento nominal (C_{nom}) foi determinado pela seguinte equação (NP EN 13670:2011, 2011):

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta_{dev} \quad (45)$$

Em que,

$$\Delta_{dev} = 10 \text{ mm (NP EN 13670:2011, 2011);}$$

C_{min} é dado pela equação abaixo.

$$C_{min} = \text{máx}\{C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \quad (46)$$

sendo,

$C_{min,b}$ – recobrimento mínimo para garantir a aderência, que pela LNEC E 464, não deve ser inferior ao diâmetro do varão (LNEC, 2007), logo $C_{min,b} = 20 \text{ mm}$;

$C_{min,dur}$ – recobrimento mínimo relativo às condições ambientais, que segundo as condições de exposição toma o valor $C_{min,dur} = 55$;

$\Delta C_{dur,\gamma}$ - margem de segurança ambiental, toma o valor recomendado de $\Delta C_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$;

$\Delta C_{dur,st}$ – redução do recobrimento no caso de utilização de aço inox, $\Delta C_{dur,st} = 0 \text{ mm}$ atendendo que não são utilizadas armaduras em aço inox;

$\Delta C_{dur,add}$ – redução do recobrimento no caso de utilização de proteções adicionais, toma o valor nulo face à agressividade do ambiente e por questões conservativas.

logo,

$$C_{min} = \text{máx}\{20; 55 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 55 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 55 + 10 = 65 \text{ mm}$$

Conclui-se que o recobrimento a implementar é de 65 mm.

3.10 MAPA DE QUANTIDADES

O mapa de quantidades realizou-se segundo o documento “Curso sobre Regras de Medição na Construção”, do LNEC, cujos critérios foram aplicados nos seguintes elementos:

- betão NP EN206-1: C35/45, XS3 (PT), Cl 0.1, Dmax8, S4 [m^3];
- armaduras [kg];
- cofragens [m^2];
- parafusos/buchas [unidade];
- chapas de aço e perfis metálicos [kg].
- viga periférica por metro linear [$€/m$];

Todos os valores, nas unidades apresentadas, foram obtidos através de cálculo auxiliar. O cálculo teve em conta os respetivos comprimentos, áreas e volumes, de cada unidade, que é multiplicado posteriormente pelo o número de pórticos. As áreas das cofragens foram obtidas de forma direta, assim como o número de buchas e parafusos.

Esta quantificação considerou que seria necessário material para a reparação de todas as vigas, restando o material que pudesse ser reutilizado, ficando este limitado a 6 vigas por cais. Por exemplo, os perfis de aço podem ser reutilizados, mas são necessários 12 para reparar 6 vigas de betão armado por cais, devido aos apoios soldados e os diferentes apoios de cada pórtico, ficando em perfis o seguinte:

$$peso_{aço} = \frac{Área_{perfil} \times l_{perfil} \times \gamma_{aço} \times 10^3}{9.81} \quad (47)$$

Tabela 14: Dados referentes à quantificação do peso do perfil HEB 400 para o Cais Norte

$l_{vão} [m]$	$Área_{perfil} [cm^2]$	$\gamma_{aço} [kN/m^3]$	$n^{\circ} perfis_{viga}$
7.9	197.8	78.6	2

$$peso_{aço/viga} = \frac{197.8 \times 10^{-4} \times (7.9) \times 78.6 \times 10^3}{9.81} \times 2 = 2504 \text{ kg}$$

$$peso_{aço/cais\ norte} = 2504 \times 6 = 15214\ kg$$

Nas chapas de aço, para reforço de perfis junto ao apoio, criação de apoios perfil/maciço e perfil/parede, e chapas transversais entre perfis, assim como de apoio aos prumos, mediu-se a área em CAD, multiplicando pela espessura, sendo a contagem no vão calculada pelo espaçamento ($n^o = \text{vão}/\text{espaçamento}$), em semelhança aos perfis metálicos.

Nos últimos elementos a reutilizar estão as cofragens, que passa pela medição em CAD direta da área, multiplicado por 6 para acomodar a reparação de 6 vigas em simultâneo.

Mediu-se o betão em volume, em unidades de m^3 , obtido através da medição da área da secção transversal, multiplicado pelo comprimento do vão e pelo número total de aplicações em toda a obra. Utilizou-se a equação seguinte:

$$Vol_{\frac{\text{betão}}{\text{cais}_i}} = (\text{Área}_{\text{alargamento secção}} \times l_{\text{influência}} \times n^o \text{ porticos}) \quad (48)$$

$$Vol_{\text{betão}/\text{cais}_{\text{norte}}} = ((0.52 \times 1.3 - 0.37 - 1) \times 7.35 \times 12) \approx 27\ m^3$$

A quantificação das armaduras baseia-se na medição do comprimento, multiplicação pelo número de varões existentes como mencionado anteriormente nas furações, e multiplicação do comprimento pelo peso por unidade de comprimento, ficando:

$$Peso_{A500NR} = n_{\text{pórticos}} \times l_{\text{varão}} \times (n_{\text{varões, long}} \text{ ou } \frac{l_{\text{vão}}}{//\ As_{\text{trans}}}) \times \text{peso}/m \quad (49)$$

$$Peso_{\varnothing 20\ A500NR, \text{long}} = 12 \times (7.35 + 0.3 \times 2) \times (15) \times 2.47 = 3534.6\ kg$$

No caso as armaduras transversais o número é obtido pela divisão do vão livre pelo espaçamento dos estribos.

$$Peso_{\varnothing 16\ A500NR, \text{trans}} = 12 \times (1.53 \times 2) \times \left(\frac{7.35}{0.35}\right) \times 1.58 = 1218.4\ kg$$

O custo da viga periférica foi estimado, em semelhança às vigas do pórtico, por metro linear de construção visto a necessidade de intervir consoante o cais era variável e só determinável após demolição da camada de recobrimento em certos casos. O processo baseou-se na quantificação dos trabalhos de preparação e reparação de uma secção entre pórticos e estimativas dos respetivos custos, dividindo os custos pelo comprimento da secção.

As buchas e os parafusos foram calculados, partindo do número necessário para fazer uma ligação de uma extremidade do perfil, multiplicado pelo número de apoios da viga e pelo número de vigas em toda a obra.

Reparação das Vigas do Entrepósito Frigorífico do Funchal – Um caso de estudo

$$n_{buchas/parafusos} = n_{apoio} \times n_{apoio/viga} \times n_{vigas/pórtico} \times n_{pósticos} \quad (50)$$

Na Tabela 15 é apresentado o mapa de quantidades e orçamento, com descrição de cada artigo, sendo material ou tarefa, com unidades e respetivos custos unitário, assim como as referentes quantidades e custos.

Tabela 15: Mapa de quantidades e orçamento

Mapa de Quantidades e Orçamento					
Art.	Descrição	Unidade	Custo Unitário [€]	Quantidade	Custo
1	Estrutura Metálica				
1.1	Fornecimento e colocação em obra de perfis de aço, incluindo chapas e perfis de ligação, metalização, ligações aparafusadas e/ou soldadas, sistemas de ligação ao betão, calços metálicos para ajustamentos, todos os restantes trabalhos e materiais, execução e aplicação de acordo com elementos de projeto e caderno de encargos.				
1.1.1	Chapas de aço				
1.1.1.1	Chapas c/ 10mm de espessura, em apoios de fixação e ligação, incluindo furações.	<i>kg</i>	1.50	380.00	570.00
1.1.1.2	Chapas c/ 12mm de espessura, em apoios de fixação e ligação, incluindo furações.	<i>kg</i>	1.50	1 420.00	2 130.00
1.1.2	Perfis Metálicos, incluindo furação				
1.1.2.1	IPE 180	<i>kg</i>	2.80	1 700.00	4 760.00
1.1.2.2	HEB 280	<i>kg</i>	2.80	8 600.00	24 080.00
1.1.2.3	HEB 400	<i>kg</i>	2.80	15 220.00	42 616.00
1.1.3	Ligações				
1.1.3.1	Em betão armado com bucha HILTI HSV M27x240	unidade	24.00	280.00	6 720.00
1.1.3.2	Em perfis metálicos com parafusos HILTI DIN 933 - M12x60 Classe 8.8	unidade	16.00	100.00	1 600.00
2	Demolição				
2.1	Demolição de elementos estruturais, incluindo picagem e tratamento de superfícies de ligação com novos elementos estruturais, remoção e transporte a destino final adequado de todos os produtos provenientes da demolição, conforme projeto e caderno de encargos				

Capítulo 3 – Caso de Estudo

Mapa de Quantidades e Orçamento					
Art.	Descrição	Unidade	Custo Unitário [€]	Quantidade	Custo
2.1.1	Em vigas da zona inferior do cais	m ³	180.00	30.00	5 400.00
2.1.2	Em lajes	m ³	240.00	1 240.00	297 600.00
3	Cofragens				
3.1	Fornecimento e colocação de cofragem normal, incluindo escoramento, posicionamento de negativos, óleo descofrante, todos os trabalhos acessórios e complementares, conforme projeto e caderno de encargos, aplicada nos seguintes elementos estruturais				
3.1.1.	Em vigas pórticos	m ²	14.00	40.00	560.00
3.1.2	Em vigas periféricas por metro linear	m ² /m	14.00	4.50	63.00
4	Armaduras				
4.1	Fornecimento e montagem de armaduras em aço A500NR SD, incluindo sobreposições, armaduras auxiliares de montagem, desperdícios, todos os trabalhos acessórios e complementares, conforme projeto e caderno de encargos				
4.1.1	Em vigas no reforço de lajes incluindo a colocação de ferrolhos, assim como a respetiva furação e selagem com "SIKA AnchorFix-1"	kg	2.50	12 250.00	30 625.00
4.1.2	Fornecimento e colocação de malha eletrosoldada AQ50 em lajes, incluindo sobreposições e todos os trabalhos complementares, conforme projeto e caderno de encargos	kg	8.00	900.00	7 200.00
4.1.3	Em vigas periféricas incluindo a colocação de ferrolhos, por metro linear	kg/m	2.50	35.00	87.50
5	Betão				
5.1	Fornecimento e colocação de betão autocompactável NP EN206-1: C35/45, XS3 (PT), Cl 0.1, Dmax8, S4				
5.1.1	Vem Vigas, incluindo os furos nas lajes para garantir possibilitar a betonagem através do pavimento.	m ³	200.00	60.00	12 000.00
5.2	Fornecimento e colocação de betão NP EN206-1: C35/45, XS1 (PT), Cl 0.1, Dmax20, S3				
5.2.1	Nos pavimentos, incluindo o fornecimento e colocação de malhasol, com acabamento a talocha mecânica com endurecedor de superfície	m ³	120.00	140.00	16 800.00
5.2.2	Nas vigas periféricas, por metro linear	m ³ /m	72.00	0.70	50.40
6	Diversos				
6.1	Pintura protetora na zona inferior da laje	m ²	25.00	1 230.00	30 750.00
				Total €	483 611,90

4 CONCLUSÕES

Considera-se que os objetivos definidos no início deste trabalho foram cumpridos. Este trabalho possibilitou a continuidade no conhecimento prático sobre a matéria e provou que era possível a reparação, fornecendo uma solução estrutural e de escoramento, assim como uma estimativa de custos.

A conceção da solução partiu do trabalho realizado no cais adjacente à zona hoteleira, abrangendo a metodologia de reparação, desde a solução de escoramento, sequências e ciclos de trabalho, condições de acesso, número de equipas e supervisão, visto que apresentava condições de acesso e de trabalho semelhantes. Com o decorrer do estudo denotou-se que para uma celeridade de processos e controlo de qualidade e segurança, os trabalhos englobariam 6 vigas de cada vez, dividindo a reparação de cada cais, basicamente em duas partes, com um horário de trabalho a rondar entre 3 a 5 horas diárias, condicionado sempre pelas marés e ondulação.

Consideradas várias possibilidades, concluiu-se que o escoramento tem que ser garantido por duas vigas adjacentes, à viga a reparar. A colocação dos perfis de suporte, garante com o afastamento de 15 a 20 cm, o espaço mínimo para os trabalhos de limpeza e colocação de armaduras, não sendo possível seu o aumento devido à largura do maciço de encabeçamento insuficiente.

Embora o grau de deterioração nas vigas dos pórticos decresça do Cais Norte para o Sul, implementou-se a mesma solução de reparação para todas as vigas, visando um tempo de via útil para a obra de 50 anos. Considerando a deterioração dos pavimentos, será substituída toda a camada de enchimento do pavimento, desta vez com um betão da mesma classe de resistência, e reparada todas as vigas periféricas da mesma forma que os pórticos.

Recomenda-se a realização de uma inspeção minuciosa nas colunas, com especial atenção à corrosão negra. É também recomendado, para a reparação, um acesso através de uma abertura no pavimento do Cais Oeste junto ao Sul. Durante os trabalhos de inspeção observou-se que esta zona, se encontra destinada apenas ao estacionamento de viaturas ligeiras, sendo portando dos lugares mais fáceis de reservar o espaço. Na zona inferior do cais deverá ser instalada uma plataforma de trabalho abrangente a todos os pórticos. Desta a deslocação dos trabalhadores não é condicionada pelas embarcações de apoio e o tempo de trabalho aumenta ligeiramente, visto que possibilita o trabalho até uma maré mais alta.

Na exploração da estrutura propõe-se monitorizações periódicas das armaduras, pela medição do seu potencial elétrico, como controlo da corrosão das armaduras.

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, J. (2001). *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos.*
- Appleton, & Costa. (n.d.). *Análise da Penetração de Cloretos em Estruturas de Betão Armado Expostas ao Ambiente Marítimo.*
- Appleton, J. (2005). *Inspeção e Reabilitação de Pontes.*
- Appleton, J. (2005). *Inspeção e Reabilitação de Pontes.*
- Appleton, J. (2013). *Estruturas de Betão - Vol. 2.* Amadora: Edições Orion.
- Appleton, J., Costa, A., & França, P. (2004). *Efeitos estruturais da deterioração em estruturas de betão armado.* Porto.
- Appleton, J., Costa, A., Moura, R., Gonçalves, P., & Junior, D. (2000). *Reparação da Doca 22 do Estaleiro da Lisnave. REPAR - Encontro Nacional sobre a Conservação e Reabilitação de Estruturas.* Lisboa.
- Araújo, C. J. (Outubro de 2014). Vistoriando obras de arte especiais. *Revista Notícias da Construção*, pp. 60-62.
- Ben-Yair, M. (1974). The effect of chloride on concrete in hot and arid regions. *Cement and Concrete Research journal*, 405-416.
- Berkeley, K. G., & Pathman, S. (1990). *Cathodic protection of reinforced steel in concrete.* Butterworths.
- Berkeley, S., & Pathmanaban, S. (1990). *Cathodic protection of reinforcement steel in concrete.* London: Butterworths & Co. Ltd.
- Branco, F., & Ferreira, J. (n.d.). *Inspeção de Edifícios.*
- Brum, F. S., Oliveira, R. S., & Soares, T. M. (2003). *Patologia das Construções.*
- Cascudo, O. (1997). *O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.* Pini.

- CEB/FIP. (1982). Manual CEB/FIP on Bending and Compression. *Manual CEB/FIP on Bending and Compression, Bulletin n°141, Construction Press 1982.*
- Coito, M. (2008). *Avaliação probabilística da Vida Útil de Estruturas de Betão sob a Acção da Carbonatação e dos Cloretos - Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico.*
- Costa. (1997). *Durabilidade de estruturas de betão armado em ambiente marítimo.*
- Costa. (n.d.). *Inspeção e Avaliação de Estruturas de Betão Armado, IST. Lisboa.*
- Costa, A. (1999). *Mecanismo de deterioração em Estruturas de Betão Armado, IST. Lisboa.*
- Coutinho. (1998). *Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento da Cofragem, Tese de Doutoramento.*
- Coutinho. (2006). *Fabrico e Propriedades do Betão - Vol.2. Lisboa: LNEC.*
- Coutinho, A. (2006). *Fabrico e Propriedades do Betão - Vol.1. Lisboa.*
- Coutinho, A. (2006). *Fabrico e Propriedades do Betão - Vol.3. Lisboa.*
- Dicionários Porto Editora.* (31 de 07 de 2017). Obtido de infopédia - Dicionários Porto Editora: www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/betão
- E 391-1993. (1993). *E 391-1993 - Especificação LNEC. Betões - Determinação da resistência à carbonatação. LNEC.*
- E 397-1993. (1993). *E 397-1993 Especificação LNEC. Betões - Determinação do módulo de elasticidade em compressão. LNEC.*
- El-Reedy, M. (2007). *Steel-Reinforced Concrete Structures - Assessment and Repair of Corrosion. CRC Press.*
- EN 14629:2007. (2007). *EN 14629:2007 (E) - European Standard - Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of chloride content in hardened concrete. CEN.*
- Flores, I., & Brito, J. (2001). *Metodologias de Inspeção, Seminário de Inspeção e Manutenção de Pontes (FUNDEC). Lisboa.*
- França, P. (2011). *Reabilitação e Reforço de Estruturas.*

- Gambhir, M. L. (2004). *Concrete Technology - Third Edition*. Tata McGraw-Hill.
- Gulikers, J. (2002). *Critical Review of Corrosion Deterioration Models for Reinforced Concrete*.
- Heckroodt, R. (2002). *Guide to deterioration and failure of building materials*. London: Thomas Telford Ltd.
- ISO 6892-1:2016. (2016). *ISO 6892-1:2016 (E) International Standard. Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature*. Geneva: ISO.
- ISQ. (24 de 7 de 2017). *Instituto de Soldadura e Qualidade*. Obtido de Web site de Instituto de Soldadura e Qualidade: <http://www.isq.pt>
- Lima, M., Mazer, W., Brito, P., Morelli, F., & Lencioni, J. (2006). *Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho - importância dos estudos envolvendo microclima*.
- Liu. (1991). Damage to concrete structures in a marine environment. Em *Materials and Structures* 24 (pp. 302-307).
- Liu, Y., & Weyers, E. (1996). *Modeling the Time-to Corrosion Cracking of the Cover Concrete in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures*.
- LNEC. (2007). *E 464 - 2007 Especificação LNEC. Betões - Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais*. Lisboa: LNEC.
- Master, L., & E., B. (s.d.). *Prediction of service life of building materials and components*. RILEM.
- McCarthy, M., & Giannakou, A. (2002). In situ performance of CPF concrete coastal environment. *Cement and Concrete Research*, 451-457.
- Mehta, P., & Monteiro, P. J. (1994). *Concreto: Estrutura, propriedade e materiais*. São Paulo.
- NP EN 12390-3:2011. (Dezembro de 2011). *NP EN 12390-3:2011 Norma Portuguesa Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes*. Setúbal, Setúbal, Portugal: IQP.
- NP EN 12504-1:2009. (2009). *NP EN 12504-1:2009 - Norma Portuguesa - Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes - Extração, exame e ensaio à compressão*. Setúbal: IQP.

- NP EN 12504-2:2012. (2012). *NP EN 12504-2:2012 Norma Portuguesa - Ensaio do betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo - Determinação do índice esclerométrico*. Setúbal: IQP.
- NP EN 13670:2011. (2011). *NP EN 13670:2011 Norma Portuguesa. Execução de estruturas de betão*. Setúbal: IQP.
- NP EN 13791:2008. (Abril de 2008). *NP EN 13792:2008 Norma Portuguesa Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos prefabricados*. Setúbal, Setúbal, Portugal: IQP.
- NP EN 1504:2006. (2006). *NP EN 1504:2006. Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão- Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade*. Setúbal: IQP.
- NP EN 1992-1-1. (2010). *NP EN 1992-1-1 - Eurocódigo 2 - Projeto de estruturas de betão, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. Lisboa: IQP.
- NP EN 1992-1-1. (2010). *NP EN 1992-1-1 Norma Portuguesa. Eurocódigo 2 - Projeto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. Setúbal: IQP.
- NP EN 1993-1-1:2010. (Março de 2010). *NP EN 1993-1-1:2010 Norma Portuguesa. Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. Setúbal, Setúbal, Portugal: IQP.
- NP EN 1993-1-8. (2010). *NP EN 1993-1-8 Norma Portuguesa. Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço Parte 1-8: Projecto de ligações*. Setúbal: IQP.
- NP EN 206-1:2007. (2007). *NP EN 206-1:2007 Norma Portuguesa - Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade*. Setúbal: IQP.
- NP EN ISO 6892-1:2012. (2012). *NP EN ISO 6892-1:2012. Materiais metálicos. Ensaio de tração. Parte:1 Método de ensaio à temperatura ambiente*. Setúbal: IQP.
- P., M., & Monteiro, P. J. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais - 1ª Edição*. São Paulo.
- Peck, R. B., Hansen, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). *Foundation Engineering*.
- Pereira, T. D. (2013). *Diretiva Estaleiros - Segurança nas obras*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

- Polito, G. (2006). *Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação*. Belo Horizonte.
- Progenie Engineering. (Janeiro de 2015). Obtido de Web site de Progenie Engineering: <https://www.progenie-engineering.com/wp-content/uploads/2015/01/FT31.pdf?x19327>
- Ribeiro, D., Sales, A., Sousa, C., Almeida, F., Cunha, M., Lourenço, M., & Helene, P. (2015). *Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise*. CAMPUS.
- Rocha, I. (Dezembro de 2015). Corrosão em estruturas de concreto armado. *Resvita On-line IPOG - Especialize*, pp. 1-26.
- Rodrigues, F. A. (2011). *Modelos de gestão da degradação de infraestruturas portuárias*. Lisboa.
- Salta, M. (1996). Introdução à corrosão do aço no betão. Modelos de comportamento às acções agressivas. Prevenção da corrosão em estruturas de betão armado. Em *LNEC* (p. 13). Lisboa.
- Serra, A. H. (2012). *Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo*. Porto.

ANEXO A – BOLETINS DE ENSAIO DA FRENTE DE CARBONAÇÃO

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **095/17** Boletim n.: **DEM/R0196/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 1

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
095/17-1	Vs1_carbo natação	095/17-1.3	Betão	19-06-2017	19-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	7	10	13
Interior	0	0	0



Observações:

O laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.


 ENGR. LUIS CORREIA

Processo n.º: **12.01.02** Pedido n.º: **097/17** Boletim n.º: **DEM/R0199/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.º: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 3

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
097/17-1	Vs3_carbonatação	097/17-1.3	Betão	19-06-2017	19-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	8	12	16
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados


 DR. ENIO FERNANDES

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **098/17** Boletim n.: **DEM/R0202/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 4

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
098/17-1	Vs4_carbo natação	098/17-1.3	Betão	19-06-2017	19-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	0	0	0
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.

Luís Correia
 ENGR. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.01** Pedido n.: **099/17** Boletim n.: **DEM/R0205/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO DO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

VIGA SUPERIOR 5

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
099/17-1	Vs5_carbo natação	099/17-1.3	Betão	20-06-2017	20-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **20/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	10	14	18
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

J. Fernando
 DR. JENIO FERNANDES



Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **100/17** Boletim n.: **DEM/R0208/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 6

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
100/17-1	Vs6_carbo natação	100/17-1.3	Betão	27-06-2017	27-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **27/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	0	0	0
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados



Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **101/17** Boletim n.: **DEM/R0211/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO DO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 7

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
101/17-1	Vs7_carbo natação	101/17-1.3	Betão	20-06-2017	20-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **20/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	10	21,5	33
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.


ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **102/17** Boletim n.: **DEM/R0214/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PASCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

VIGA SUPERIOR 9

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
102/17-1	Vs9_carbo natação	102/17-1.3	Betão	21-06-2017	21-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **21/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	18	30	42
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados


DR. ENIO FERNANDES



Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **103/17** Boletim n.: **DEM/R0217/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 11

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
103/17-1	Vs11_carbonatação	103/17-1.3	Betão	21-06-2017	21-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	15	20	25
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados



DR. ENIO FERNANDES



SECRETARIA REGIONAL DE ASSUNTOS PARLAMENTARES E EUROPEUS

Laboratório Regional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E VIAS DE COMUNICAÇÃO

LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

[Signature]
ENGR LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **104/17** Boletim n.: **DEM/R0220/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DO MUNICÍPIO 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

VIGA SUPERIOR 12

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
104/17-1	Vs12_carbonatação	104/17-1.3	Betão	21-06-2017	21-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	0	0	0
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, falência e cura dos materiais ensaiados.

FUNCHAL, 31 JULHO 2017

O CHEFE DA ULQM

[Signature]

DR. ENIQ FERNANDES

BOLETIM DE ENSAIO

Este é um ficheiro de texto gerado automaticamente pelo sistema de gestão de laboratório. Não é possível alterar o conteúdo deste ficheiro. O conteúdo deste ficheiro é apenas informativo e não deve ser utilizado para fins legais. O conteúdo deste ficheiro é apenas informativo e não deve ser utilizado para fins legais.



Processo n.º: **12.01.02** Pedido n.º: **121/17** Boletim n.º: **DEM/R0190/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **26-07-2017** Pág. n.º: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
LAJE SUPERIOR 1

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
121/17-1	Ls1_carbo natação	121/17-1.1	Betão	23-06-2017	23-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	0	5	10
Interior	0	0	0



Observações:



Este é um documento de acesso público. Qualquer pessoa pode consultar este documento em qualquer momento. O acesso a este documento não implica a aceitação de qualquer responsabilidade por parte do Laboratório. Os resultados são válidos para o prazo de validade indicado.

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **105/17** Boletim n.: **DEM/R0182/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC. METROP. CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTRPOSTO FIGORÍFICO DO FUNCHAL**

LAJE SUPERIOR 4

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
105/17-2	Ls4_carbo natação	105/17-2.1	Betão	23-06-2017	23-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **23/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	2	10	18
Interior	0	0	0



Observações:

Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados



ENGR. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **123/17** Boletim n.: **DEM/R0192/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **26-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO DO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
LAJE SUPERIOR 6

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
123/17-1	Ls6_carbo natação	123/17-1.1	Betão	23-06-2017	23-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **23/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	0	12	24
Interior	0	0	0



Observações:

Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados



Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **106/17** Boletim n.: **DEM/R0184/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
LAJE SUPERIOR 7

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
106/17-2	LS7_carbo natação	106/17-2.1	Betão	23-06-2017	23-06-2017

Resultados dos EnsaiosData de Recolha: **23/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	15	18	21
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **124/17** Boletim n.: **DEM/R0193/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **26-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

LAJE SUPERIOR 11

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
124/17-1	Ls11_carbonatação	124/17-1.1	Betão	23-06-2017	23-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	18	24	30
Interior	0	0	0



Observações:

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **125/17** Boletim n.: **DEM/R0194/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **26-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

LAJE SUPERIOR 12

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
125/17-1	Ls12_carbonatação	125/17-1.1	Betão	27-06-2017	27-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **27/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	18	19	20
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA UOQM

DR. ENIO FERNANDES

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **126/17** Boletim n.: **DEM/R0195/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **26-07-2017** Pág. n.: **1/1**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PASCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

LAJE SUPERIOR 13

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
126/17-1	Ls13_carb onatação	126/17-1.1	Betão	26-06-2017	26-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha: **26/06/2017**

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	18	19	20
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados



Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **108/17** Boletim n.: **DEM/R0188/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/1**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
LAJE SUPERIOR 14

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
108/17-2	Ls14_carb onatação	108/17-2.1	Betão	26-06-2017	26-06-2017

Resultados dos Ensaios

Data de Recolha:

BETÃO. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO - LNEC E 391:1993

Face	Profundidade de Carbonatação		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
Exterior	10	14	18
Interior	0	0	0



Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados



Este e demais serviços de avaliação para a qualificação de estruturas de betão armado, são realizados em conformidade com o Regulamento de Avaliação da Conformidade de Produtos de Construção (CEM) e o Regulamento de Avaliação da Conformidade de Serviços de Construção (CSP). Os resultados são válidos para o território nacional.

ANEXO B – BOLETINS DE ENSAIO DO TEOR DE CLORETOS

Processo n.º: **12.01.02** Pedido n.º: **095/17** Boletim n.º: **DEM/R0197/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.º: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 1

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
095/17-1	Vs1_cloretos	095/17-1.2	Betão	04-07-2017	04-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,211	1,509
B	15	35	0,745	5,325
C	25	45	0,651	4,651
D	35	55	0,409	2,925
E	45	65	0,292	2,085
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA UDCM


DR. ENIO FERNANDES

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO



ENG. LUÍS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **120/17** Boletim n.: **DEM/R0225/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **26-07-2017** Pág. n.: **1/2**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DO MUNICÍPIO 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**

VIGA SUPERIOR 2

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
120/17-1	Vs2_cloretos	120/17-1.1	Betão	18-07-2017	18-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	1,138	8,126
B	15	35	1,522	10,873
C	25	45	1,187	8,476
D	35	55	0,762	5,440
E	45	65	0,719	5,134
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA ULM



DR. ENIO FERNANDES



LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SECRETARIA REGIONAL DE ASSUNTOS PARLAMENTARES E EUROPEUS

Laboratório Regional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E VIAS DE COMUNICAÇÃO

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

[Signature]
ENGR. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **098/17** Boletim n.: **DEM/R0203/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 4

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
098/17-1	Vs4_cloretos	098/17-1.2	Betão	06-07-2017	06-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
 MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,522	3,730
B	15	35	0,408	2,917
C	25	45	1,310	9,361
D	35	55	1,254	8,958
E	45	65	0,760	5,430
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.

O CHEFE DA ULOM

[Signature]
DR. ENIO FERNANDES

BOLETIM DE ENSAIO

Este é parte integrante do processo de certificação do LREC, e não se pode retirar qualquer informação deste documento sem a autorização expressa do LREC. Os resultados são válidos para o período de validade da certificação.



LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SECRETARIA REGIONAL DE ASSUNTOS PARLAMENTARES E EUROPEUS

Laboratório Regional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E VIAS DE COMUNICAÇÃO

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **100/17** Boletim n.: **DEM/R0209/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 6

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
100/17-1	Vs6_cloretos	100/17-1.2	Betão	20-07-2017	20-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007. MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,633	4,519
B	15	35	0,336	2,401
C	25	45	0,465	3,321
D	35	55	0,432	3,083
E	45	65	0,211	1,509
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA ULOM

DR. ENO FERNANDES

Processo n.º: **12.01.02** Pedido n.º: **101/17** Boletim n.º: **DEM/R0212/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção: Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.º: **1/2**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 7

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
101/17-1	Vs7_cloret os	101/17-1.2	Betão	10-07-2017	10-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,161	1,151
B	15	35	0,304	2,175
C	25	45	0,674	4,814
D	35	55	0,524	3,743
E	45	65	0,171	1,223
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.



LABORATÓRIO REGIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

SECRETARIA REGIONAL DE ASSUNTOS PARLAMENTARES E EUROPEUS

Laboratório Regional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E VIAS DE COMUNICAÇÃO

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENGR. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **118/17** Boletim n.: **DEM/R0224/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PASCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DO MUNICÍPIO 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 8

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
118/17-1	Vs8_cloretos	118/17-1.1	Betão	21-07-2017	21-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,733	5,236
B	15	35	0,709	5,066
C	25	45	0,889	6,351
D	35	55	0,541	3,863
E	45	65	0,404	2,882
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.

O CHEFE DA ULQM

DR. ENO FERNANDES

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENGLUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **102/17** Boletim n.: **DEM/R0215/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 9

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
102/17-1	Vs9_cloretos	102/17-1.2	Betão	10-07-2017	10-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,146	1,043
B	15	35	0,111	0,792
C	25	45	0,180	1,286
D	35	55	0,481	3,437
E	45	65	0,373	2,665
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.

O CHEFE DA UICM


DR. ENIO FERNANDES

Tudo o conteúdo da divulgação científica dos resultados construídos desde a criação do LREC, a não ser que seja expressa autorização. São proibidas a reprodução, a distribuição, a comunicação pública ou a utilização de qualquer forma de informação, identificação, nome ou imagem de qualquer entidade, nome ou marca, sem a autorização expressa do Laboratório. Os resultados só são válidos para os fins enunciados.

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO



ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **103/17** Boletim n.: **DEM/R0218/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 11

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
103/17-1	Vs11_cloretos	103/17-1.2	Betão	14-07-2017	14-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,493	3,521
B	15	35	0,367	2,621
C	25	45	0,452	3,230
D	35	55	0,568	4,054
E	45	65	0,320	2,285
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA ULOM



DR. ENIO FERNANDES

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **104/17** Boletim n.: **DEM/R0221/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA SUPERIOR 12

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
104/17-1	Vs12_cloretos	104/17-1.2	Betão	17-07-2017	17-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,682	4,870
B	15	35	0,855	6,104
C	25	45	0,620	4,427
D	35	55	0,487	3,478
E	45	65	0,340	2,427
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA ULOM

DR. ENIO FERNANDES

BOLETIM DE ENSAIO

Este documento é propriedade parcial dos estatutos regulamentares do LRECE, a não ser que seja feita expressa autorização. São proibidas a reprodução, a distribuição, a divulgação ou a utilização não autorizada. Os resultados são válidos para os fins previstos.



LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SECRETARIA REGIONAL DE ASSUNTOS PARLAMENTARES E EUROPEUS

Laboratório Regional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E VIAS DE COMUNICAÇÃO

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENGLUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **109/17** Boletim n.: **DEM/R0223/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 1

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
109/17-1	Vi1_cloreto s	109/17-1.1	Betão	25-07-2017	25-07-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
 MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	5	25	0,968	6,916
B	15	35	0,518	3,698
C	25	45	0,355	2,536
D	35	55	0,310	2,214
E	45	65	0,266	1,901
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.

O CHEFE DA ULOM

DR. ENO FERNANDES

BOLETIM DE ENSAIO

Este é um documento de trabalho interno do Laboratório Regional de Engenharia Civil. Não se deve usar esta informação para fins comerciais ou de qualquer natureza sem a autorização expressa do Laboratório. Os resultados são válidos apenas para os materiais amostrados.

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

ENG. LUIS CORREIA

Processo n.º: **12.01.02** Pedido n.º: **110/17** Boletim n.º: **DEM/R0250/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.º: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PASCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 2

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
110/17-1	VI2_cloretos	110/17-1.1	Betão	23-08-2017	23-08-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	0	10	0,604	4,311
B	10	20	0,767	5,478
C	20	30	0,638	4,556
D	30	40	0,605	4,318
E	40	50	0,449	3,210
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO


ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **111/17** Boletim n.: **DEM/R0253/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 3

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
111/17-1	Vi3_cloretos	111/17-1.1	Betão	25-08-2017	25-08-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	0	10	0,670	4,782
B	10	20	0,309	2,206
C	20	30	0,144	1,030
D	30	40	0,135	0,967
E	40	50	0,077	0,552
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela instalação, fabrico e cura dos sistemas ensaiados.

O CHEFE DE LOM


DR. ENG. FERNANDO



LABORATÓRIO REGIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

SECRETARIA REGIONAL DE ASSUNTOS PARLAMENTARES E EUROPEUS

Laboratório Regional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E VIAS DE COMUNICAÇÃO

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

[Signature]
ENGR. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **112/17** Boletim n.: **DEM/R0254/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 5

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
112/17-1	VI5_cloreto s	112/17-1.1	Betão	28-08-2017	28-08-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	0	10	0,604	4,312
B	10	20	0,411	2,934
C	20	30	0,292	2,086
D	30	40	0,282	2,011
E	40	50	0,172	1,230
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

O CHEFE DA ULOM

[Signature]
DR. ENIO FERNANDES

BOLETIM DE ENSAIO

Não é permitida a divulgação parcial ou total dos resultados constantes deste relatório ao LRAC, a não ser que seja obtida expressa autorização. Deve indicar-se em qualquer caso a fonte de obtenção do relatório. Os resultados só são válidos para os pontos ensaiados.

O DIRECTOR DE DEPARTAMENTO


 ENGE. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **113/17** Boletim n.: **DEM/R0255/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 6

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
113/17-1	VI6_cloretos	113/17-1.1	Betão	29-08-2017	29-08-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
 MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	0	10	1,033	7,380
B	10	20	0,279	1,996
C	20	30	0,320	2,285
D	30	40	0,305	2,179
E	40	50	0,326	2,331
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados.

O CHefe DA ULOM


 DR. ENID FERNANDES

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **114/17** Boletim n.: **DEM/R0256/17**

NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**

Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**

Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**

Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 7

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
114/17-1	Vi7_cloretos	114/17-1.1	Betão	30-08-2017	30-08-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	0	10	0,724	5,171
B	10	20	0,256	1,828
C	20	30	0,282	2,013
D	30	40	0,213	1,524
E	40	50	0,203	1,446
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

C Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais analisados

O DIRECTOR DO DEPARTAMENTO


 ENG. LUIS CORREIA

Processo n.: **12.01.02** Pedido n.: **115/17** Boletim n.: **DEM/R0257/17**
 NMC - Núcleo de Materiais de Construção Data do Pedido: **20-07-2017** Pág. n.: **1/2**
 Requerente: **DIREÇÃO REGIONAL DE PESCAS**
 Endereço: **ED.SOC.METROP.CÂMARA DE LOBOS, PRAÇA DA AUTONOMIA 9300-138 CÂMARA DE LOBOS**
 Obra: **ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL**
VIGA INFERIOR 9

Referências da amostra		Referência da amostra laboratorial	Designação da amostra	Data	
Interna	Externa			Entrada	Ensaio
115/17-1	Vi9_cloretos	115/17-1.1	Betão	01-09-2017	01-09-2017

Resultados dos Ensaios

A amostra foi recolhida através de perfuração múltipla com berbequim. As fracções pulverizadas foram reunidas e homogeneizadas antes de serem analisadas.

BETÃO. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM BETÃO ENDURECIDO - EN 14629:2007.
 MÉTODO DE DETERMINAÇÃO: TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Subamostra	Profundidade (mm)		Teor Cloretos (%)	
	Inicial	Final	por massa de betão	por massa de cimento*
A	0	10	0,549	3,921
B	10	20	0,340	2,425
C	20	30	0,282	2,012
D	30	40	0,241	1,721
E	40	50	0,148	1,058
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
M				
N				

Nota: * assumindo que o betão apresenta um teor de: 14 % em cimento (teor estimativo - EN 14629:2007).

Observações:

O Laboratório não é responsável pela amostragem, fabrico e cura dos materiais ensaiados

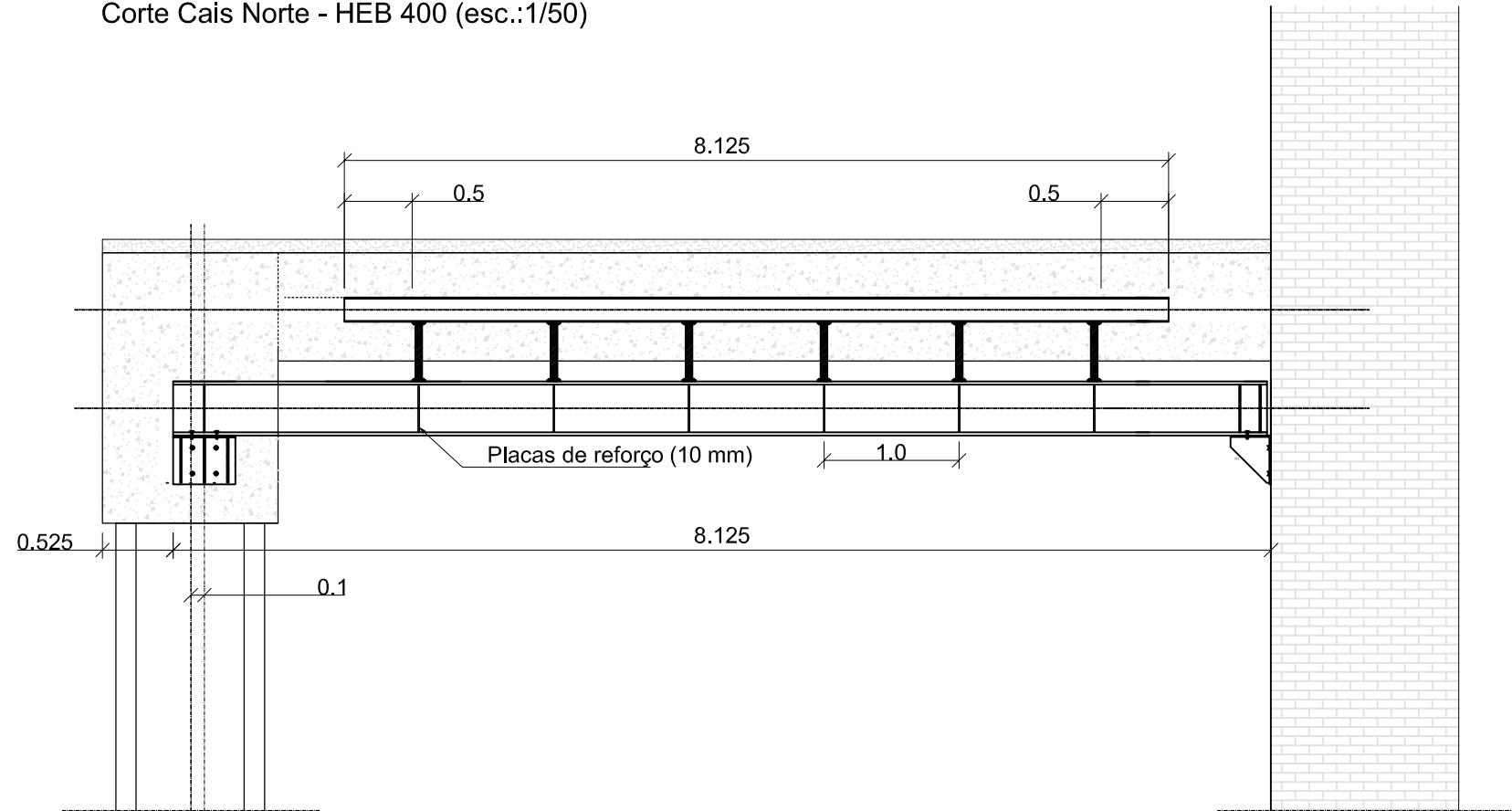
O CHEFE DA UDEM


 DR. ENZO FERNANDES

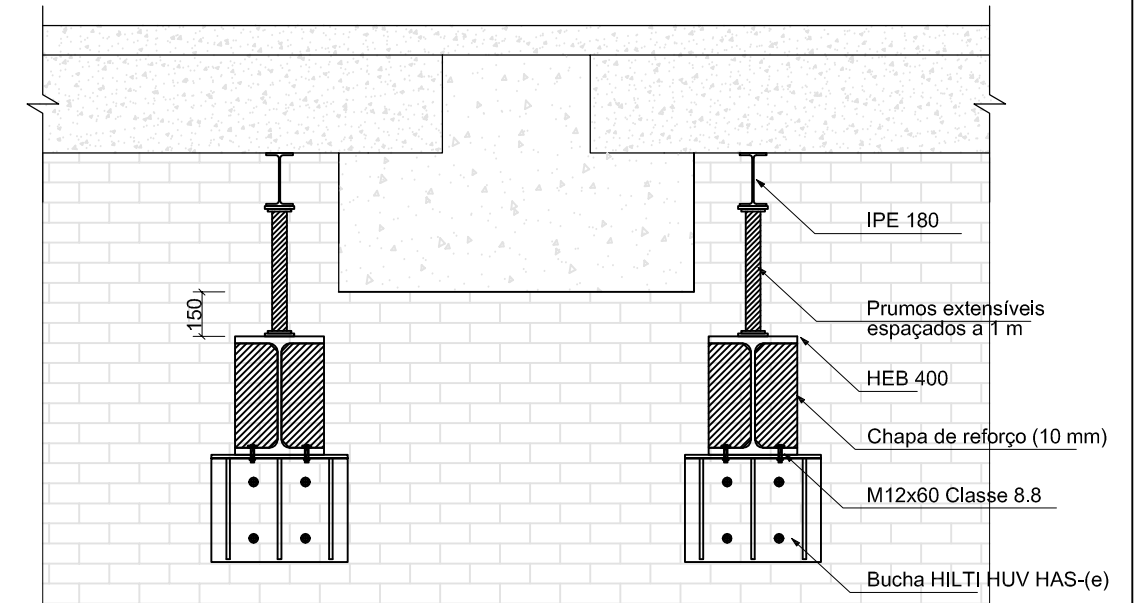
ANEXO C – BOLETINS DE ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

ANEXO D – DESENHOS EM CAD

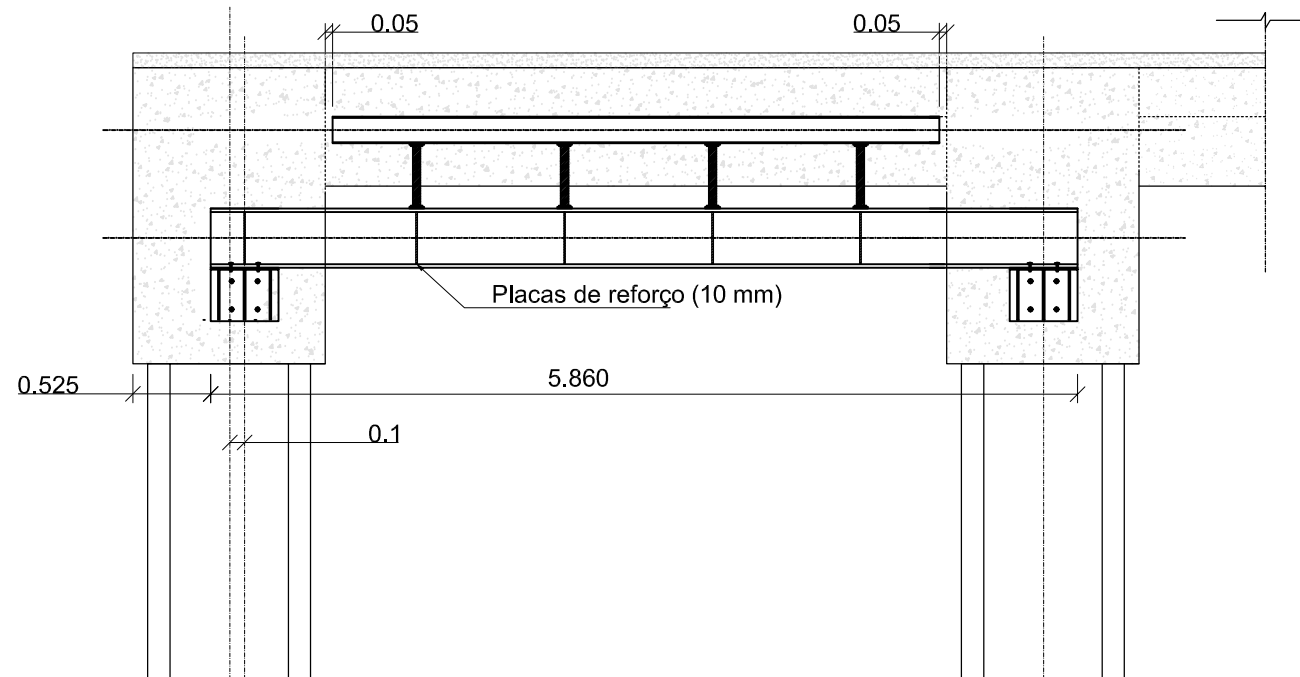
Corte Cais Norte - HEB 400 (esc.:1/50)



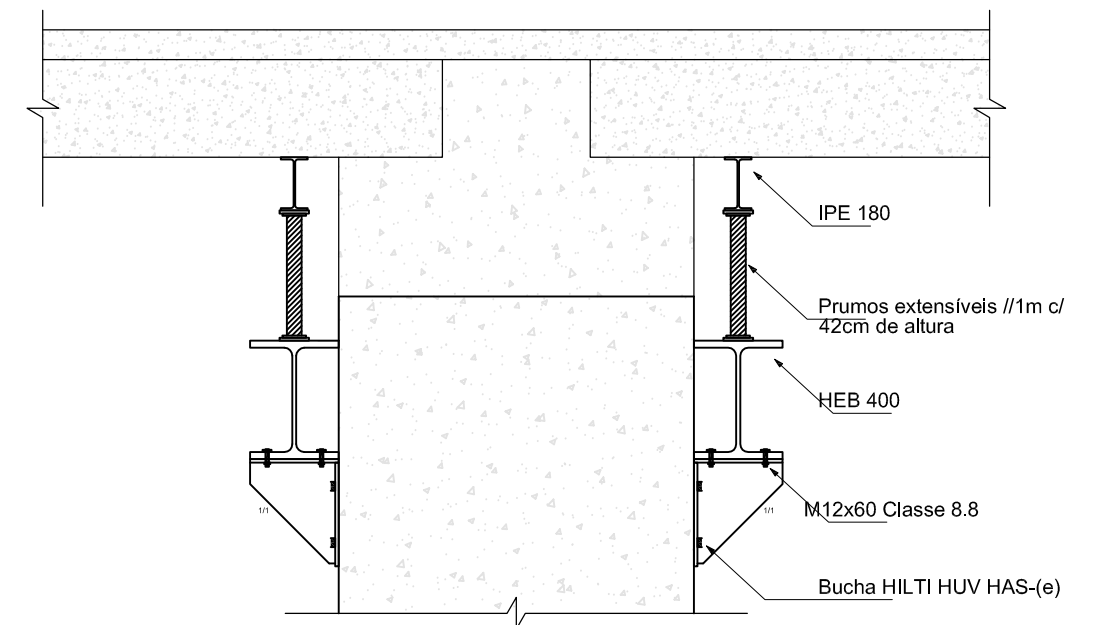
Ligação perfil/parede - HEB 400 (esc.:1/100)



Corte Cais Oeste - HEB 400 (esc.:1/50)

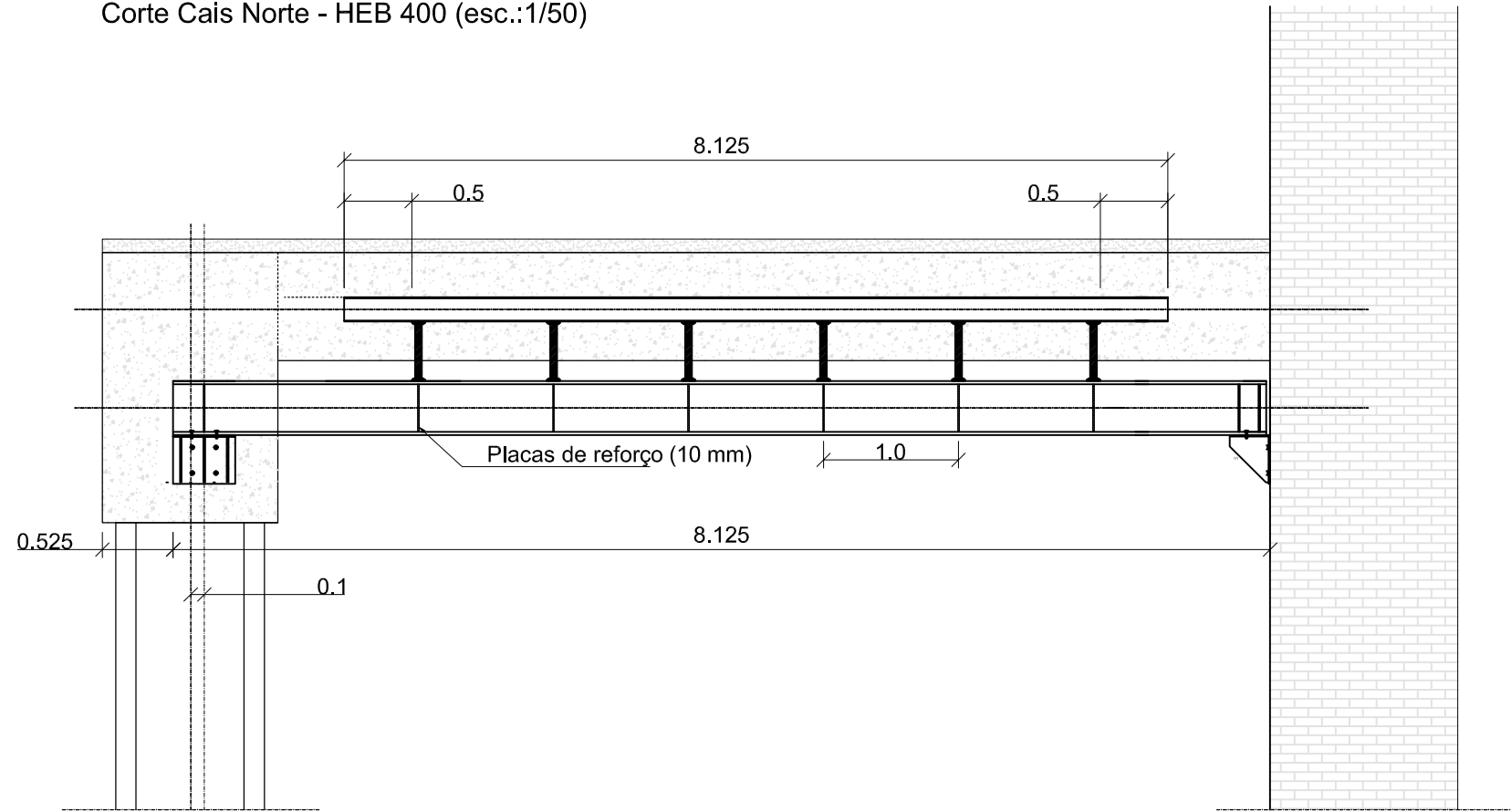


Ligação perfil/maciço - HEB 400 (esc.:1/100)

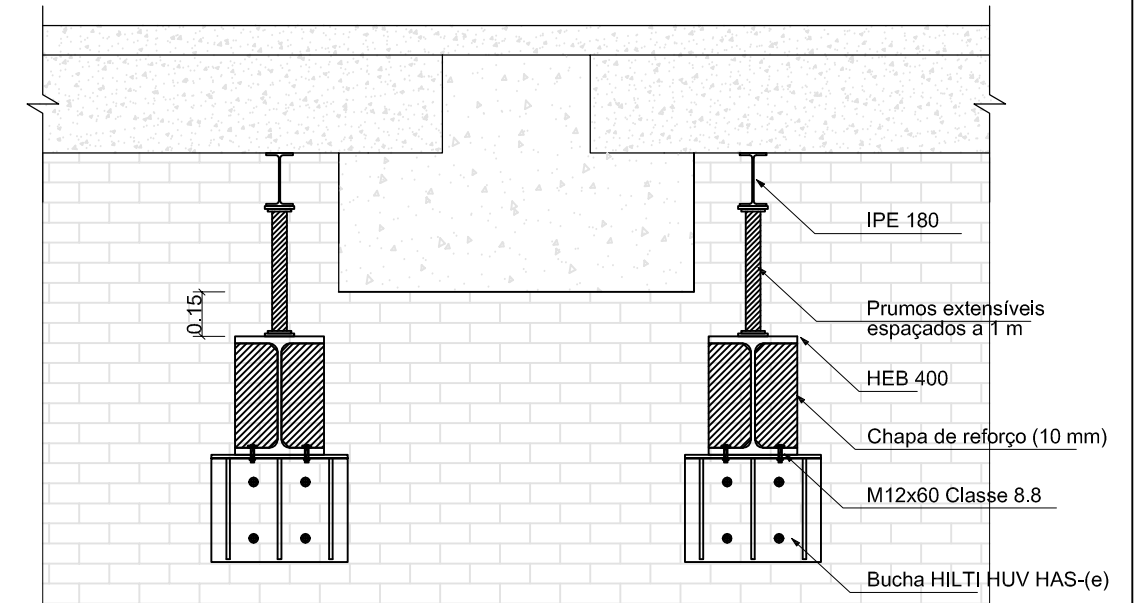


Proj.	Des.	Cop.	Verif.	Designação	Quant.	Material	Peso	Observação
				ETERMAR EMPRESA DE OBRAS TERRESTRES E MARÍTIMAS, S.A.R.L.				Des. N.º 7
				REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA SECRETARIAREGIONAL DA AGRICULTURA E PESCA				Escala: 1/50 e 1/100
				ENTREPÓSITO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL ALÇADO PÓRTICO E LIGAÇÕES PERFIL/MACIÇO E PERFIL/PAREDE				Data: 11-10-2017
								Subst. o des. N.º
								Subst. por:

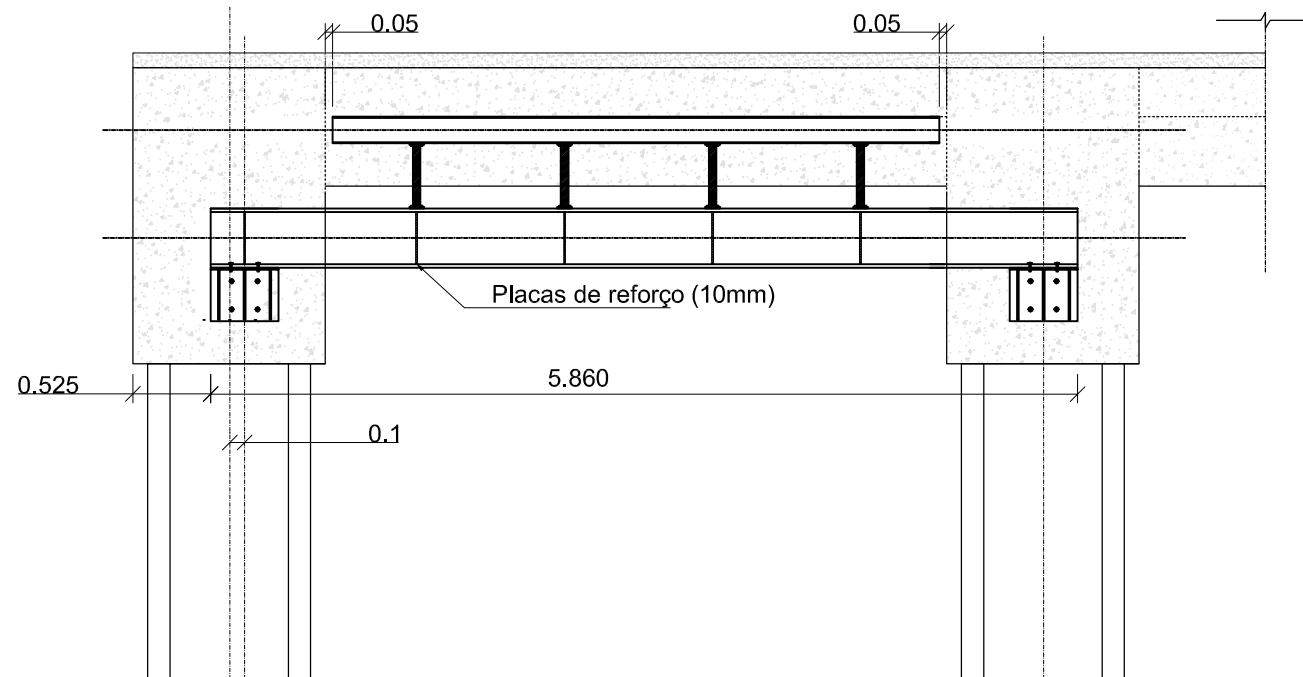
Corte Cais Norte - HEB 400 (esc.:1/50)



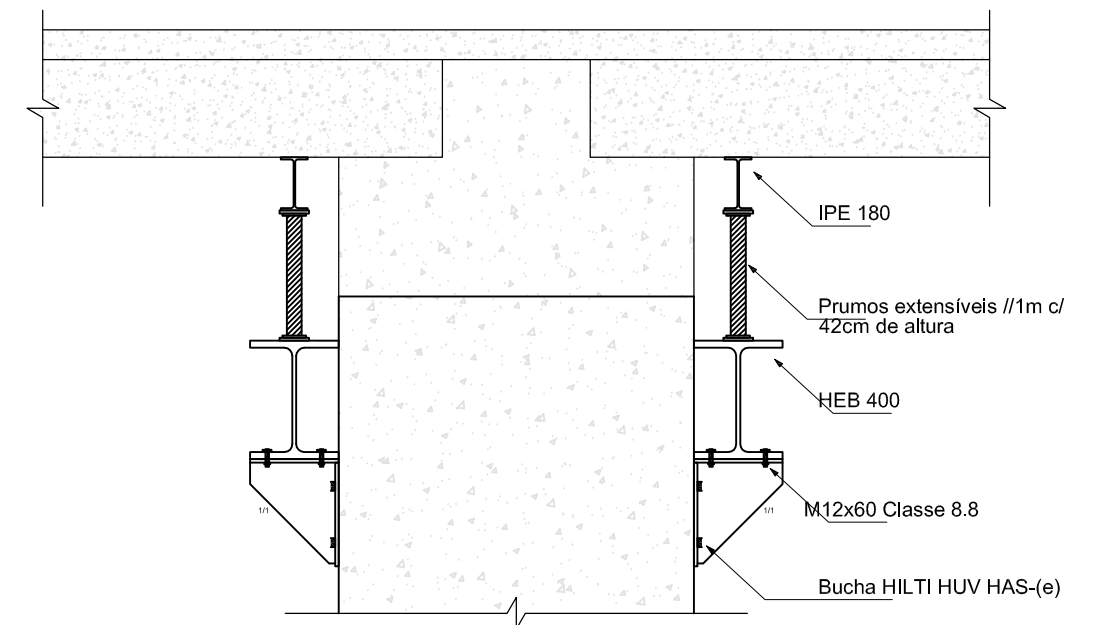
Ligação perfil/parede - HEB 400 (esc.:1/100)



Corte Cais Oeste - HEB 400 (esc.:1/50)

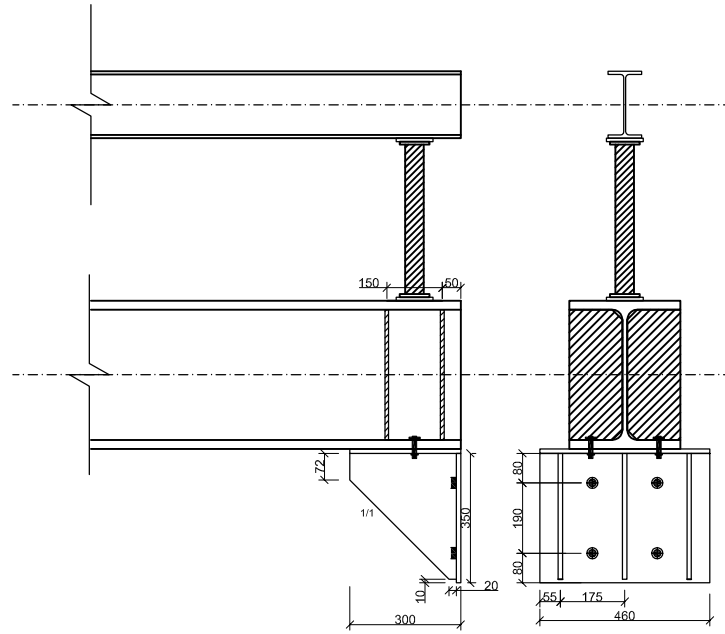


Ligação perfil/maciço - HEB 400 (esc.:1/100)



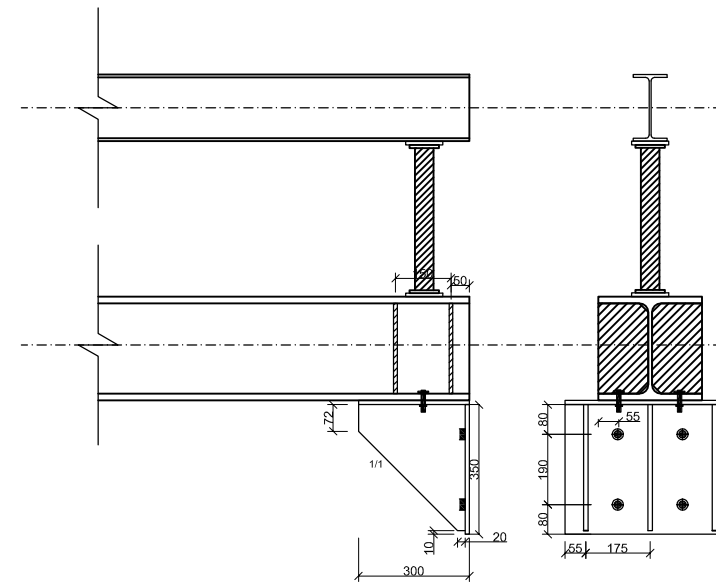
Proj.	Des.	Cop.	Verif.	Designação	Quant.	Material	Peso	Observação
				ETERMAR EMPRESA DE OBRAS TERRESTRES E MARÍTIMAS, S.A.R.L.				Des. N.º 7
				REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA SECRETARIAREGIONAL DA AGRICULTURA E PESCA				Escala: 1/50 e 1/100
				ENTREPOSTO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL ALÇADO PÓRTICO E LIGAÇÕES PERFIL/MACIÇO E PERFIL/PAREDE				Data: 11-10-2017
								Unidades: m
								Subst. por:

Ligação Perfil/Parede HEB 400



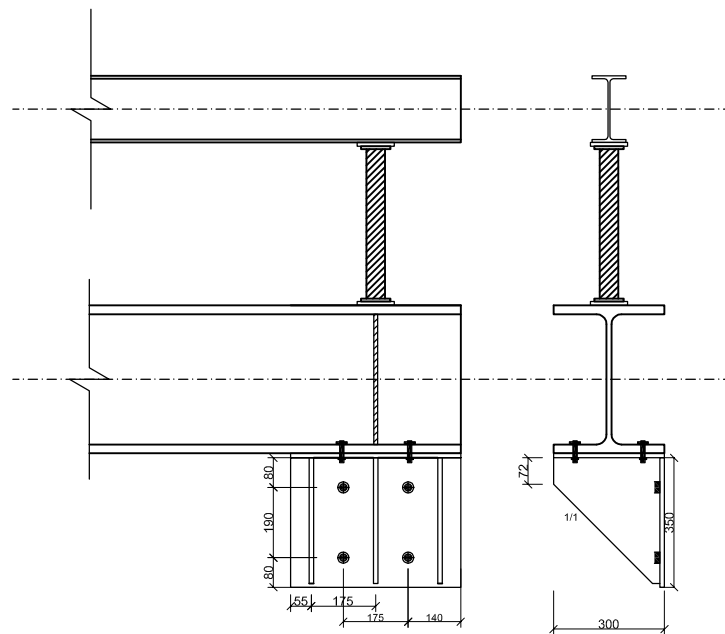
- HILTI HUV HAS-(E) M27x240
- HEB 400 S355
- IPE 180 S355
- Chapa S355 e=12 mm (apoios)
- ⌋ M12 Classe 6.8
- Chapa S355 100x100x10 mm (prumos)

Ligação Perfil/Parede HEB 280



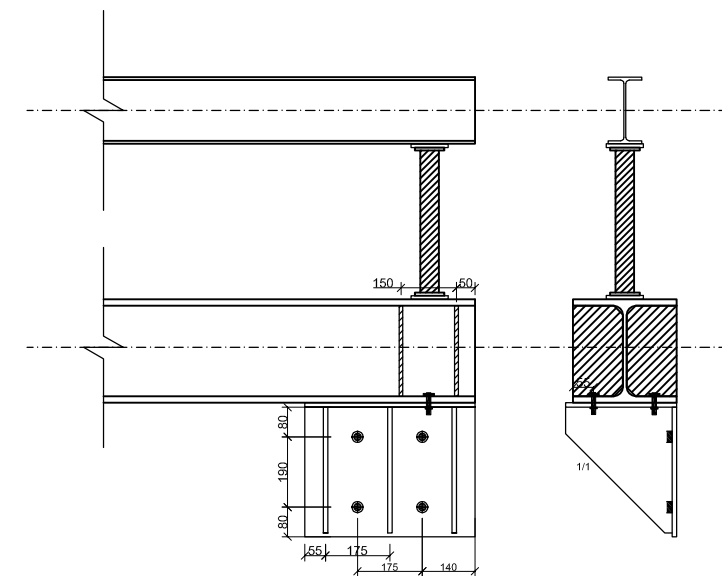
- HILTI HUV HAS-(E) M27x240
- HEB 260 S355
- IPE 180 S355
- Chapa S355 e=12 mm (apoios)
- ⌋ M12 Classe 6.8
- Chapa S355 100x100x10 mm (prumos)

Ligação Perfil/Maciço HEB 400



- HILTI HUV HAS-(E) M27x240
- HEB 400 S355
- IPE 180 S355
- Chapa S355 e=12 mm (apoios)
- ⌋ M12 Classe 6.8
- Chapa S355 100x100x10 mm (prumos)

Ligação Perfil/Maciço HEB 280



- HILTI HUV HAS-(E) M27x240
- HEB 260 S355
- IPE 180 S355
- Chapa S355 e=12 mm (apoios)
- ⌋ M12 Classe 6.8
- Chapa S355 100x100x10 mm (prumos)

Designação	Quant.	Material	Peso	Observação
ETERMAR EMPRESA DE OBRAS TERRESTRES E MARÍTIMAS, S.A.R.L.				Des. N.º 10
Proj.		REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA SECRETARIAREGIONAL DA AGRICULTURA E PESCA		Escala: 1/20
Des.		ENTREPÓSITO FRIGORÍFICO DO FUNCHAL LIGAÇÃO PERFIL/PAREDE E PAREDE MACIÇO PERFIS HEB 260 E 400		Data: 11-10-2017
Cop.				Subst. o des. N.º
Verif.				Subst. por:

