

RELATÓRIO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BETÃO APLICADO EM PILARES E VIGAS

ENTIDADE: MBC Engenharia, Lda.

OBRA: Hotel Holiday Inn - Armação de Pera

LOCAL: Armação de Pera - Algarve

Relatório Elaborado por: Hermínia Maria Mesquita Morais

LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Bragança, 02 de maio de 2024

Índice

1. Objetivo.....	3
2. Procedimento dos ensaios em laboratório.....	3
2.1 Determinação da profundidade de carbonatação em betão endurecido pelo método da fenolftaleína.....	3
2.2 Preparação das carotes.....	4
3. Resultado dos ensaios Realizados.....	4
3.1 Determinação da profundidade de contaminação.....	4
3.2 Determinação da Resistência à compressão simples.....	5
4. Conclusões.....	7
5. Bibliografia.....	8

Determinação da resistência à compressão do betão aplicado em Pilares e Vigas

Ensaio elaborado para:	MBC Engenharia, Lda.
Obra:	Hotel Holiday Inn - Armação de Pera
Data de betonagem dos pilares e vigas:	> 50 anos
Data de extração das carotes:	04-2024
Data de entrega no LMC	19-04-2024

1. Objetivo

Elaboração de um parecer para estimar a resistência à compressão simples em pilares e vigas para betão armado numa estrutura construída há aproximadamente 50 anos, com base nos resultados dos ensaios à compressão de vinte e oito (28) carotes cilíndricas de betão, com diâmetro de 83 mm com alturas variáveis e determinação da profundidade de carbonatação pelo método da fenolftaleína referentes à obra em epígrafe. As carotes foram extraídas em diversos locais da obra, sendo estas posteriormente entregues no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança – Instituto Politécnico de Bragança (ESTiG – IPB) por pessoal técnico do dono de obra no dia 19 de abril de 2024.

2. Procedimento dos ensaios em laboratório

2.1 Determinação da profundidade de carbonatação em betão endurecido pelo método da fenolftaleína

O método de ensaio da fenolftaleína destina-se a medir a profundidade da camada carbonatada junto à superfície do betão endurecido e pode ser utilizado “*in situ*” ou em laboratório, em provetes de ensaio ou em núcleos ou fragmentos retirados de estruturas de betão endurecido, segundo as normas BS EN 14630 [5] e a LNEC E 391,1993 [7], vaporizando-os com uma solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1%. A frente de carbonatação desenvolve-se paralelamente à superfície, sendo a profundidade de carbonatação que se pretende determinar a distância entre a superfície do provete e a linha da frente de carbonatação (fim da cor roxa). A zona incolor dos provetes indica que o pH do betão é inferior a 8 concluindo-se que o betão nessa determinada área se encontrava carbonatado.

2.2 *Preparação das carotes*

A preparação das carotes consistiu na retificação das suas extremidades através de um equipamento de desgaste de modo a obter superfícies planas e paralelas de acordo com a norma ASTM C617-94 [1], seguido de pesagem e medição (diâmetro e comprimento) (Figuras 1a) e 1b), sendo os provetes ensaiados com 83 mm de diâmetro e com alturas variáveis conforme Quadro I. As carotes foram submetidas ao ensaio de compressão (Figura 1c), tendo sido registado, para cada uma delas, o valor da carga de rotura por compressão (kN).



a)



b)



c)

Figura 1: a) Rectificação das carotes

b) Pesagem das carotes

c) Ensaio à compressão das carotes

3. Resultado dos ensaios Realizados

3.1 *Determinação da profundidade de contaminação*

A determinação da resistência à carbonatação foi realizada de acordo com a Especificação do LNEC E391-1993 [7] utilizando fenolftaleína. A frente de carbonatação desenvolve-se paralelamente à superfície, sendo a profundidade de carbonatação que se pretende determinar a distância entre a superfície do provete e a linha da frente de carbonatação (fim da cor roxa). Uma vez que este ensaio não foi efetuado em obra logo após a extração das carotes, posteriormente, em laboratório cortaram-se as carotes ao meio e logo após o corte saturou-se a carote com fenolftaleína ao longo de todo o comprimento da carote e mediu-se a distância de profundidade. A zona incolor dos provetes indica que o pH do betão é inferior a 8

concluindo-se que o betão nessa determinada área se encontrava carbonatado (no recobrimento). Na Figura 2 podem-se verificar os provetes a serem cortados ao meio para serem pulverizados com fenolftaleína logo após o corte.

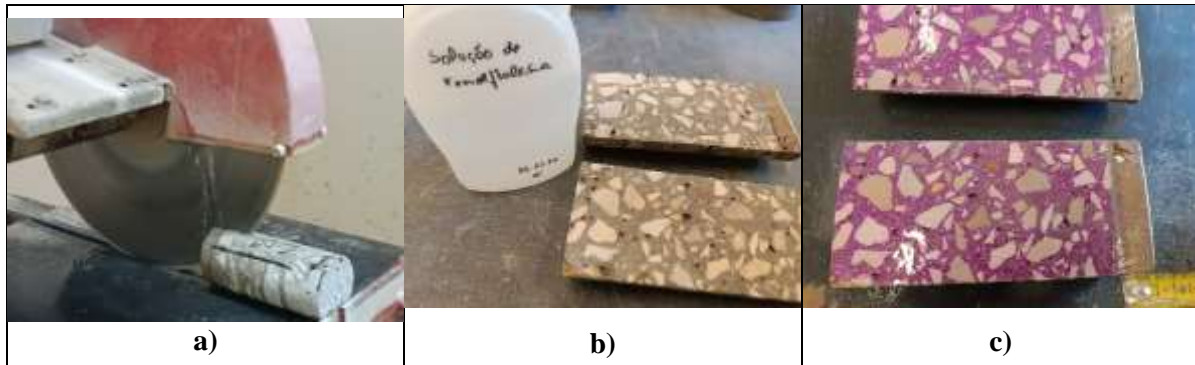


Figura 2: a) Corte da carote ao meio; b) Aspetto das carotes antes da pulverização das superfícies com fenolftaleína; c) Aspetto das carotes após pulverização das superfícies com fenolftaleína

3.2 Determinação da Resistência à compressão simples

O betão das carotes é representativo do betão que se quer caracterizar; assim, foram extraídas em pilares e vigas vinte e oito (28) carotes cilíndricos de betão, com diâmetro de 83 mm, pertencendo a betonagens diferentes, logo, são betões diferentes. As carotes foram extraídas horizontalmente, examinadas e preparadas segundo a norma NP EN 12504-1:2009-pt [6] e ensaiadas à compressão sem varões de aço segundo a norma EN 12390-3:2011[9].

A resistência à compressão das carotes obtida através do ensaio de compressão axial bem como respetivo valor da resistência à compressão estimado para provetes cúbicos, estão representados em resumo no quadro I (ver Anexo I).

Quadro I: Estimativa das tensões de rotura para os pilares e vigas para diâmetro $D=83$ mm

Referência Carote	Altura do provete (L) (mm)	Relação L/D	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura da carote - f_{carote}	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo} (MPa)	Tensão de rotura média - f_m (MPa)
B3.1	107	1,29	85,51	15,81	17,37	18,8
B3.3	105	1,27	79,71	14,74	16,09	
B3.4	101	1,22	135,66	25,09	27,02	
B3.5	106	1,28	68,81	12,72	13,93	

B3.6	106	1,28	95,97	17,75	19,44		
B4.1	101	1,22	109,93	20,33	21,89	16,0	
B4.3	105	1,27	72,91	13,48	14,71		
B4.4	113	1,36	74,58	13,79	15,43		
B4.5	113	1,35	57,10	10,57	11,78		
B5.1	106	1,28	108,09	19,99	21,89		
B5.2	109	1,31	81,91	15,15	16,75	16,5	
B5.3	105	1,27	70,75	13,61	14,85		
B5.4	106	1,28	65,50	12,11	13,26		
B5.5	105	1,27	77,64	14,36	15,67		
C01	98	1,18	55,39	10,24	10,91		20,8
C01	94	1,13	145,44	26,89	28,21		
C011	104	1,25	61,10	11,30	12,29		
C02	101	1,22	143,38	26,51	28,54		
C02*	111	1,34	Não foi ensaiado à compressão - Tem 1 vão a todo o comprimento				
C04	104	1,25	132,30	24,46	26,61		
C05	101	1,22	108,48	20,06	21,60		
C06*	111	1,34	Não foi ensaiado à compressão - Tem 1 vão em todo o comprimento				
C07	100	1,20	144,10	26,65	28,59		
C08	104	1,25	89,79	16,60	18,06		
C09	100	1,20	61,88	11,44	12,27		
C1.1	101	1,22	153,14	28,22	30,39	26,0	
C1.2	106	1,28	106,44	19,68	21,55		
D06	106	1,28	112,56	20,81	22,79	22,8	

Tensão de rotura média à compressão (MPa)	f_{cm} (D=83 mm)=	19,3
Tensão de rotura mínima à compressão (MPa)	f_{min} (D=83 mm)=	10,9

Pelo quadro I verifica-se que o betão apresenta uma tensão de rotura média $f_{cm}=19,3$ MPa, e um valor mínimo $f_{min}=10,9$ MPa para as vinte e oito (28) carotes extraídas horizontalmente em pilares e vigas com diâmetro de 83mm.

As resistências à compressão são obtidas a partir do ensaio de cubos moldados de 150 mm de lado, sendo o betão aceite se a tensão característica, f_{ck} , satisfazer as seguintes condições segundo a norma NP EN 206-1:2013[8]

$$f_{ck} < f_{cm} / 0,85$$

$$f_{ck} < f_{min} / 0,75$$

Assim, para se poder estimar o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão as condições anteriores eram satisfeitas se:

$$f_{ck} < 22,7 \text{ MPa};$$

$$f_{ck} < 14,5 \text{ MPa}$$

Deste modo, estima-se que o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão ensaiado em cubos seja de 14 MPa.

De acordo com a norma NP EN 206-1:2013 [8] este betão poder-se-ia classificar da classe C12/15.

4. Conclusões

A análise dos resultados obtidos indica que globalmente o betão é de fraca resistência mecânica. A resistência à compressão equivalente a cubos de betão *in situ* será da ordem de 14 a 22 MPa.

- Para as carotes extraídas horizontalmente em pilares e vigas com **diâmetro de 83mm**, ou seja, vinte e oito (28) carotes verificou-se que o betão apresenta uma tensão de rotura média $f_{cm}=19,3$ MPa, e um valor mínimo $f_{min}=10,3$ MPa.

A resistência à compressão é obtida a partir do ensaio de cubos moldados, sendo o betão aceite se a tensão característica, f_{ck} , satisfizer as seguintes condições:

$$f_{ck} < f_{cm}/0,85$$

$$f_{ck} < f_{min}/0,75$$

Assim, para se poder estimar o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão as condições anteriores eram satisfeitas se:

$$f_{ck} < 22,7 \text{ MPa};$$

$$f_{ck} < 14,5 \text{ MPa}$$

Deste modo, estima-se que o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão ensaiado em cubos para estas carotes seja de 14,5 MPa.

Estima-se que este betão de acordo com a norma NP EN 206-1:2007 [8] poder-se-ia classificar como da classe C12/15.

5. Bibliografia

- [1] ASTM C617-94 - Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens English language.
- [2] BS 1881 - Part 124: 1988 - British Standard Testing concrete. Part 124. Methods for analysis of hardened concrete
- [3] BS 1881- Part 120: 1983 – Testing concrete – Part 120: Method for determination of compressive strength of concrete cores;
- [4] BS 6089:2010 – Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components – Complementary guidance to that given in BS EN 13791.
- [5] BS EN 14630:2006 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method;
- [6] NP EN 12504-1:2009-pt - Ensaio do betão nas estruturas; Parte 1: Carotes; Extracção, exame e ensaio à compressão;
- [7] LNEC E 391-1993, Betões – Determinação da resistência à carbonatação.

[8] NP EN 206-1:2013+A1:2017, Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.

[9] NP EN 12390-3:2011 – Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes.

[11] T 260-97 – AASHTO DESIGNATION : T260-97 – Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials.

IPB-ESTG, Bragança, 06 de maio de 2024

Hermínia Maria M. Morais
MSc, Engenheiro Civil
ESTiG – Inst. Politécnico de Bragança
Técnica Superior do Lab. de Eng. Civil
Ordem dos Engenheiros – 41244

Campus de S. Apolónia
5300-253 Bragança – Portugal
Phone: +351 273 303 173
e-mail: hmorais@ipb.pt

ANEXOS

ANEXO I

CAROTES - Resistência Real

Carote Referência	Diâmetro da carote (D) (mm)	Altura do provete (L) (mm)	Relação L/D	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura da carote - f_{carote} (MPa)	$a1 = D/(1,5+Dc/L)$	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo} (MPa)	fm (MPa)
B3.1	83	107	1,29	85,51	15,81	1,10	17,37	18,8
B3.3	83	105	1,27	79,71	14,74	1,09	16,09	
B3.4	83	101	1,22	135,66	25,09	1,08	27,02	
B3.5	83	106	1,28	68,81	12,72	1,10	13,93	
B3.6	83	106	1,28	95,97	17,75	1,10	19,44	
B4.1	83	101	1,22	109,93	20,33	1,08	21,89	16,0
B4.3	83	105	1,27	72,91	13,48	1,09	14,71	
B4.4	83	113	1,36	74,58	13,79	1,12	15,43	
B4.5	83	112	1,35	57,10	10,56	1,12	11,78	
B5.1	83	106	1,28	108,09	19,99	1,10	21,89	16,5
B5.2	83	109	1,31	81,91	15,15	1,11	16,75	
B5.3	83	105	1,27	70,75	13,61	1,09	14,85	
B5.4	83	106	1,28	65,50	12,11	1,10	13,26	
B5.5	83	105	1,27	77,64	14,36	1,09	15,67	
C01	83	98	1,18	55,39	10,24	1,07	10,91	20,8
C01	83	94	1,13	145,44	26,89	1,05	28,21	
C011	83	104	1,25	61,10	11,30	1,09	12,29	
C02	83	101	1,22	143,38	26,51	1,08	28,54	
C02*	83	111	1,34	Não foi ensaiado à compressão - Tem 1 vão em todo o comprimento				
C04	83	104	1,25	132,30	24,46	1,09	26,61	
C05	83	101	1,22	108,48	20,06	1,08	21,60	
C06*	83	111	1,34	Não foi ensaiado à compressão - Tem 1 vão em todo o comprimento				
C07	83	100	1,20	144,10	26,65	1,07	28,59	
C08	83	104	1,25	89,79	16,60	1,09	18,06	
C09	83	100	1,20	61,88	11,44	1,07	12,27	

Carote Referência	Diâmetro da carote (D) (mm)	Altura do provete (L) (mm)	Relação L/D	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura da carote - f_{carote} (MPa)	a_1 $a_1=D/(1,5+Dc/L)$	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo} (MPa)	f_m (MPa)
C1.1	83	101	1,22	153,14	28,22	1,08	30,39	26,0
C1.2	83	106	1,28	106,44	19,68	1,10	21,55	
D06	83	106	1,28	112,56	20,81	1,10	22,79	22,8
Tensão de rotura média à compressão (MPa)						f_{cm} (D=83 mm)=	19,3	
Tensão de rotura mínima à compressão (MPa)						f_{min} (D=83 mm)=	10,9	

Valores característicos da tensão de rotura à compressão para $f_{cm}(D=83mm)$

$f_{ck} < f_{cm}/0,85$: 22,7

$f_{ck} < f_{min}/0,75$: 14,5

Data de extracção das carotes: 19-04-2024

Data do ensaio à compressão das carotes: 30-04-2024

Em que:

As carotes foram extraídas horizontalmente. Foram ensaiadas sem aço.

a_1 : Carotes sem aço $a_1=D/(1,5+Dc/L)$

Sendo:

$D=2,3$ para carotes extraídos verticalmente

$D=2,5$ para carotes extraídos horizontalmente

f_m : Valor médio da tensão de rotura à compressão (MPa)

D_c : Diâmetro da carote