

Análise mecânica de um piso decantador de uma estação de tratamento de água**Mechanical analysis of a water treatment station settling floor**

DOI:10.34117/bjdv6n10-536

Recebimento dos originais: 08/09/2020

Aceitação para publicação: 25/10/2020

Sandro Mateus Gonçalves Monteiro

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: sandro.mateus.monteiro@gmail.com

Matheus Silva Corrêa

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: eng.matheus.correa@gmail.com

Pedro Gil Marques Brito

Engenheiro Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: ppedrogmb@hotmail.com

Rodrigo Rodrigues da Cunha

Doutorando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: rodrigo.totalmix@gmail.com

Alcebíades Negrão Macêdo

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: anmacedo@ufpa.br

Gyselle Maciel de Almeida

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal do Pará – Campus Breves

Endereço: Rua Antônio Fulgêncio – S/N, Bairro Parque Universitário – Breves – Pará

E-mail: gyselle.almeida@ifpa.edu.br

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise da resistência mecânica do concreto por meio de corpos de prova moldados e testemunhos extraídos de um piso em concreto armado de uma estação de tratamento de água de Belém do Pará. Foram avaliados, por meio de corpos de prova, as resistências aos 7 e 28 dias, onde, após determinada a inconformidade de alguns exemplares, foi solicitado a extração de 16 testemunhos de concreto do piso aos 46 dias. Além disso, avaliaram-se as variações de resistência à compressão que possivelmente foram resultados de processos construtivos, condições de cura do concreto e idade do concreto.

Palavras Chave: Resistência a compressão, extração de testemunho, controle do concreto.

ABSTRACT

This study presents a concrete mechanical resistance analysis by molded cylindrical specimens and core testing of a reinforced concrete floor from a water treatment station at Belém do Pará. Were evaluated, by cylindrical specimens, the resistance at 7 and 28 days, were, after determined the nonconformity of some pieces, were solicited the extraction of 16 cylindrical concrete floor specimens at 46 days. Besides that, were evaluated variations of compressive strength caused by constructive process, concrete curing conditions, and age of the concrete.

Keywords: Compressive strength, core testing, concrete control.

1 INTRODUÇÃO

A resistência de um material é definida como a capacidade deste material de resistir à tensão sem romper (METHA e MONTEIRO, 2008). Especificamente no concreto, percebe-se que sua resistência à compressão é maior que seus outros tipos de resistência, propriedade esta que, segundo Helene e Terzian (1993), é explorada e adotada durante o dimensionamento da estrutura e, portanto, está ligada diretamente com a segurança estrutural.

Avaliar se o que está sendo produzido corresponde ao que foi adotado previamente, por ocasião do dimensionamento da estrutura, faz parte da própria concepção do processo construtivo como um todo (HELENE & TERZIAN, 1993). Em vista disso, surge dentro do controle tecnológico das estruturas de concreto, o controle da resistência à compressão do concreto que busca verificar a conformidade da resistência mecânica do concreto. Pode-se realizar esta investigação por moldagem e ensaio de ruptura por compressão axial de corpos de prova cilíndricos com altura igual ao dobro do diâmetro.

Durante a execução da estrutura, o concreto produzido é controlado por meio de corpos de prova, que não representam a mesma resistência do concreto presente nas peças estruturais. Estes corpos de prova foram moldados e mantidos em condições ideais até a data de ensaio, diferentes do concreto empregado na execução da estrutura (HELENE et al., 2015). Logo, podemos determinar a resistência em uma estrutura já finalizada por meio do ensaio de ruptura por compressão axial de

testemunhos extraídos da estrutura. Por conta de os resultados obtidos por meio das extrações serem afetados diretamente pelos procedimentos de extração e construção, faz-se necessário um maior rigor no ensaio e nas retiradas das amostragens. Helene et al. (2015) ressaltam que a análise da resistência do concreto a partir de testemunhos extraídos é uma atividade ainda mais complexa que a análise de resistência de corpos de prova.

Por conta disso, o presente trabalho tem como objetivo a comparação da resistência mecânica de um piso decantador de concreto armado de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) no estado do Pará por meio de ensaios de compressão com corpos de prova e testemunhos extraídos, analisando ainda possíveis fatores que possam influenciar a resistência de ambos os ensaios.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o controle e posterior verificação da resistência mecânica do piso decantador de uma ETA coletou-se amostras de concreto do piso por meio de corpos de prova moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015) e testemunhos extraídos segundo a NBR 7680 (ABNT, 2015), ambos ensaiados segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018).

O concreto solicitado para a obra foi de Fck igual a 40 MPa e classe de consistência S100 ($100 \text{ mm} \leq A \leq 160 \text{ mm}$) sendo este recebido e controlado segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015) onde, para a concretagem total do piso, foram utilizados 20 caminhões betoneiras com capacidade de 8 m^3 , o que representa 20 lotes de concreto para o controle por amostragem total, totalizando um volume de 160 m^3 de concreto.

Figura 1 - Vista do piso concretado



Fonte: Autores

Para cada um dos 20 lotes de concreto 4 corpos de provas cilíndricos eram preparados com diâmetros de 100 mm e altura igual ao dobro do diâmetro, existindo uma tolerância de 1% para o diâmetro e 2% para a altura. Ao final, obteve-se um total de 80 corpos de prova que após cura submersa, foram ensaiados aos 7 e 28 dias para a verificação da resistência.

Figura 2 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autores

Após resultados insatisfatórios das resistências obtidas nos ensaios com corpos de prova de 8 lotes, foi solicitado um ensaio de resistência por extração de testemunho para atestar a conformidade ou não conformidade do concreto com a resistência estabelecida em projeto. Para tal análise foram extraídos 16 testemunhos com as seguintes dimensões, 74,4 mm de diâmetro, 43,45 cm² de área e alturas variando de 109,40 mm até 156,60 mm.

Figura 3 - Extração dos testemunhos do piso



Fonte: Autores

Figura 4 – Ensaio de compressão axial dos testemunhos



Fonte: Autores

Helene et al. (2015) ressaltam que é consenso no meio técnico que a resistência obtida por meio de testemunhos extraídos é possivelmente menor que a resistência potencial obtida por meio de corpos de prova moldados, visto alguns fatores como o processo de extração, execução da obra, condições laboratoriais e outros que necessitam de coeficientes para correção da resistência.

Para fim de tais ajustes a NBR 7680 (ABNT, 2015) estabelece a seguinte expressão para cálculo corrigido da resistência:

$$f_{ci,ext} = [1 + (k1 + k2 + k3 + k4)] * f_{ci,ext, inicial} \quad (\text{Equação 1})$$

Os quatro coeficientes k são definidos a seguir:

- **Relação h/d ($k1$):** Coeficiente aplicável quando a relação h (altura)/ d (diâmetro)=2 não se verifica.

Tabela 1 - Valores de $K1$

h/d	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
$k1$	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14

• **Efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho (k2):** Coeficiente proveniente de efeito deletério de broqueamento e que deve ser aplicado em todos os casos.

Tabela 2 - Valores de K2

Diâmetro do Testemunho (mm)	≤25	50	75	100	≥150
k2	Não permitido	0,12	0,09	0,06	0,04

• **Direção da extração em relação ao lançamento do concreto (k3):** Os corpos de prova devem ser ensaiados na mesma direção de lançamento do concreto adotando-se $k3=0$, caso o ensaio seja feito na direção ortogonal ao lançamento adota-se $k3=0,05$.

• **Efeito da umidade no testemunho (k4):** Para corpos de prova rompidos saturados adota-se $k4=0$, caso rompido em ar seco adota-se $k4=-0,04$.

Helene et al. (2015) ressaltam que a literatura nacional e internacional aponta outros fatores de influência na resistência de testemunhos extraídos como a idade de ensaio do testemunho, deficiência de cura do concreto na obra, deficiência de adensamento e outros. Neste estudo foram adotados os parâmetros segundo a NBR 7680 (ABNT, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESULTADOS

Tabela 3 – Resultados dos ensaios à compressão axial dos corpos de prova.

Lote	Hora da Aplicação	Abatimento (mm)	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)	Média aos 28 dias
3	10:00	120	23,0	37,6	36,70
			21,5	35,8	
5	11:30	100	18,3	36,3	36,05
			17,5	35,8	
6	11:50	100	24,9	37,6	37,75
			26,3	37,9	
9	13:40	120	22,3	36,7	36,10
			21,7	35,5	
12	15:03	140	22,5	37,3	37,50
			23,2	37,7	
14	16:12	100	22,1	36,5	37,50
			23,9	38,5	
18	17:28	120	23,4	39,4	38,65
			23,8	37,9	
19	17:42	140	17,2	31,3	30,85
			18,0	30,4	

Inicialmente percebe-se que todos os resultados estão abaixo do $F_{ck}=40$ MPa conforme especificado em projeto.

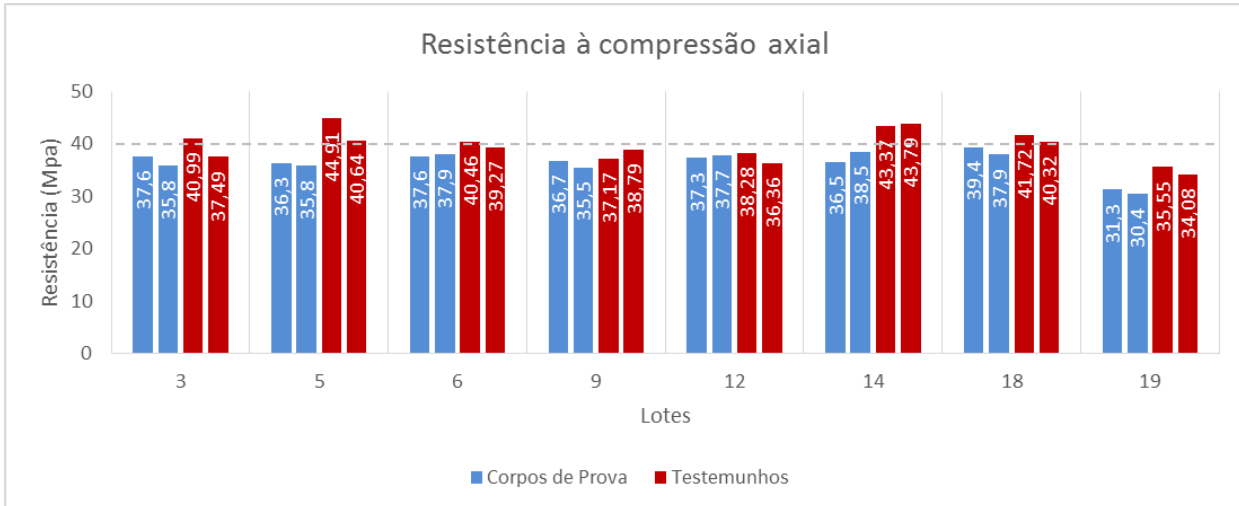
Os resultados de resistência à compressão axial dos testemunhos extraídos foram corrigidos pelos coeficientes k_1 , k_2 , k_3 e k_4 . Adotou-se K_1 em função da relação h/d por meio de interpolação linear dos valores presentes na norma como a mesma orienta; Adotou-se $K_2=0,09$ por interpolação linear dos valores tabelados na norma como a mesma orienta; Adotou-se $K_3=0$ visto que os testemunhos foram extraídos na mesma direção de lançamento do concreto; Adotou-se $K_4=-0,04$ visto que os testemunhos foram ensaiados secos ao ar. A tabela a seguir resume os cálculos segundo a equação 1 e os resultados obtidos.

Tabela 4 – Resultados do ensaio à compressão axial dos testemunhos extraídos

Lotes	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Fator H/D	K1	K2	K3	K4	Carga (Kgf.)	Resistência à compressão obtida (Mpa)	Resistência à compressão corrigida (Mpa)
3	135,5	74,4	43,45	1,82	-0,02	0,09	0,00	-0,04	17300	39,8	40,99
	146,7	74,4	43,45	1,97	0,00	0,09	0,00	-0,04	15500	35,7	37,49
5	132,2	74,4	43,45	1,78	-0,02	0,09	0,00	-0,04	18950	43,6	44,91
	147,5	74,4	43,45	1,98	0,00	0,09	0,00	-0,04	16800	38,7	40,64
6	143,5	74,4	43,45	1,93	-0,01	0,09	0,00	-0,04	16900	38,9	40,46
	155,5	74,4	43,45	2,00	0,00	0,09	0,00	-0,04	16250	37,4	39,27
9	150,0	74,4	43,45	2,00	0,00	0,09	0,00	-0,04	15400	35,4	37,17
	144,6	74,4	43,45	1,94	-0,01	0,09	0,00	-0,04	16200	37,3	38,79
12	109,4	74,4	43,45	1,47	-0,04	0,09	0,00	-0,04	16450	37,9	38,28
	128,3	74,4	43,45	1,72	-0,02	0,09	0,00	-0,04	15350	35,3	36,36
14	151,6	74,4	43,45	2,00	0,00	0,09	0,00	-0,04	17950	41,3	43,37
	156,6	74,4	43,45	2,00	0,00	0,09	0,00	-0,04	18100	41,7	43,79
18	128,3	74,4	43,45	1,72	-0,02	0,09	0,00	-0,04	17600	40,5	41,72
	145,5	74,4	43,45	1,96	0,00	0,09	0,00	-0,04	16700	38,4	40,32
19	114,8	74,4	43,45	1,54	-0,04	0,09	0,00	-0,04	15300	35,2	35,55
	119,0	74,4	43,45	1,60	-0,03	0,09	0,00	-0,04	14500	33,4	34,08

Podemos observar que não houve uma grande diferença de resultados entre as resistências corrigidas dos testemunhos de cada lote, sendo que apenas o Lote 5, apresentou uma diferença máxima de 4,27 MPa entre as duas amostras do Lote, o pode ter sido ocasionado pelo processo de transporte do testemunho ao laboratório, uma distribuição de carga não uniforme no testemunho durante o ensaio de compressão axial, diferença de adensamento local do concreto durante a concretagem, entre outros fatores.

Gráfico 1 - Valores de resistência à compressão axial de corpos de prova aos 28 dias e dos testemunhos aos 46 dias.



Para efeitos de aceitação do concreto, nos casos de não conformidade com os critérios da ABNT NBR 12655, deve ser considerado para comparação com o F_{ck} o maior valor de resistência dos testemunhos extraídos de cada lote, $f_{c,ext,pot}$, corrigidos pelos coeficientes estabelecidos nesta norma. NBR 7680 (ABNT, 2015). Desta forma, observa-se que os exemplares 9, 12 e 19 não conseguiram atingir a resistência de projeto de 40 Mpa por nenhum dos dois métodos de verificação.

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Inicialmente foi calculado o Coeficiente de Correlação de Pearson (r) para os valores de resistência do gráfico 1, sendo resultado $r=0,6$ e mostrando assim a correlação linear existente entre as resistências de corpos de prova e testemunhos.

Nota-se que, em geral, as resistências dos testemunhos são maiores que as dos corpos de prova. Buscando analisar essa diferença entre resistências, utilizou-se o Teste t de Student para avaliar se há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras de dados. O Teste t de Student é um teste de hipótese que se apoia em conceitos estatísticos para aceitar ou não uma hipótese nula quando não se conhece a variância populacional (σ^2), neste caso utiliza-se a variância amostral (s^2). Para nosso caso foi adotado uma hipótese nula do tipo $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (médias amostrais iguais) e hipótese alternativa $H_A: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (médias amostrais diferentes), sendo utilizado um intervalo de confiança de 95% resultando em um nível de significância de $\alpha=0,05$. A tabela a seguir resume os dados obtidos no teste de hipótese.

Tabela 5 – Teste t de Student para dados de resistências de corpos de provas e testemunhos extraídos.

	Testemunhos	Corpos de prova
Média	39,574375	36,3875
Variância	9,26370625	5,795833333
Observações	16	16
Variância agrupada	7,529769792	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	30	
Estatística de teste t	3,284877462	
P-valor bi-caudal	0,002599653	
t crítico bi-caudal	2,042272456	

A interpretação dos resultados do teste de hipótese pode ser feita comparando os valores de α e P-valor, onde a hipótese nula de médias amostrais iguais será negada se $P\text{-valor} < \alpha$. Como $P\text{-valor}=0,002599653$ é menor que $\alpha=0,05$, a hipótese nula será negada. Ainda pode-se interpretar os resultados a partir do valor da estatística de teste t, onde a hipótese nula será negada se Estatística de teste t $>$ t crítico, sendo este o nosso caso pois estatística de teste t=3,284877462 é maior que t crítico=2,042272456, assim confirmando a negação da hipótese nula. Com a hipótese nula negada, podemos inferir que existe diferença estatisticamente significativa entre as médias amostrais das resistências de corpos de prova e testemunhos extraídos, cabe agora definir os possíveis fatores que influenciaram tal disparidade.

Considerando que os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias e os testemunhos aos 46 dias, tal diferença de resistência pode ser resultado da diferença de idades, já que o tempo de hidratação dos testemunhos foram maiores, junto com variáveis de tempo de cura, umidade e temperatura na qual foram submetidas às amostras. Vários autores consideram que a resistência pode ainda ser influenciada diretamente pela temperatura de moldagem e cura, onde apontam que em elementos maciços, quando não se tomam medidas para controle de temperatura, o concreto terá uma temperatura bem mais alta que a temperatura ambiente. Portanto, considerando as primeiras idades, a resistência do concreto in loco será maior que a resistência dos corpos de prova curados em temperatura normal de laboratório, acontecimento que explicaria as maiores resistências dos testemunhos.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo a verificação da resistência à compressão do piso de uma Estação de Tratamento de Água, por meio do controle tecnológico com corpos de prova observou-se a não conformidade de 8 lotes, na qual comparou-se os resultados com ensaios de testemunhos de concreto extraídos. Dos resultados obtidos confirmou-se a não conformidade de 3 lotes, estes sendo em média 6,15% menores que a resistência de projeto de 40 MPa.

Observou-se ainda a influência de fatores construtivos e condições de cura nos resultados de resistência de corpos de prova e testemunhos extraídos, mostrando que o correto controle de temperatura e condições de cura podem afetar diretamente os resultados de comparações entre as duas metodologias e possivelmente o resultado de resistência final da estrutura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação. Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

HELENE, Paulo R.L; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Pini, 1993.

HELENE, Paulo R. L. et al. Análise crítica do novo texto da ABNT NBR 7680-1:2015. Anais. São Paulo: Ibracon, 2015.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** Ibracon, 2008.