

Estudo de diferentes classes de concreto para curvas de correlação nacionais para o ensaio de esclerometria¹

Concrete classes different study for national correlation curves for sclerometry test

Thaís Mayra de Oliveira²

Elisa Coelho Lage³

Vanessa Cristina Rezende Carvalho²

DOI: <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2018.v18.29851>

Resumo

Os ensaios não destrutivos (END) constituem uma alternativa para a análise de estruturas de concreto, tanto para controle de qualidade, como na verificação de danos estruturais. Sua principal vantagem está no fato de que podem ser executados com a estrutura em uso e não impedem a utilização posterior. Mesmo que a maneira usual de se avaliar estruturas seja a extração de testemunhos, os ensaios não destrutivos se modernizaram e aumentaram seu grau de confiabilidade. O número de avaliações em estruturas de concreto por meio dos ensaios não destrutivos tem sido cada vez maior, sendo a esclerometria o ensaio mais solicitado, devido à sua facilidade de execução. Porém, o equipamento utilizado, conhecido como esclerômetro de Schmidt, possui curvas de correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão que não devem ser adotadas, pois foram feitas com concretos característicos da origem do equipamento. Como a maioria das obras onde há solicitação de avaliação por meio de END não fez controle tecnológico, e algumas se encontram paralisadas por um período longo de tempo, o ensaio torna-se com baixa acurácia. Este trabalho pretende como primeira etapa de proposição para complementação a NBR 7584 (2012), estudar as dosagens para concretos em diferentes classes de resistência, a saber, C20 a C50 com variação de 5 em 5MPa, utilizadas na construção civil nacional, além de avaliação do índice esclerométrico e módulo de elasticidade. Nessa primeira etapa os resultados de resistência à compressão, esclerometria e módulo de elasticidade comprovaram a eficiência das dosagens.

Palavras-chave: Concreto. Esclerometria. Resistência à compressão. Módulo de elasticidade.

Abstract

The nondestructive testing (NDT) are an alternative for the analysis of concrete structures, for both quality control checks as in structural damage. Its main advantage lies in the fact that you can run with the structure in use and do not prevent further use. Even though the usual way to evaluate structures is the extraction of testimony, the NDT modernized and increased their degree of reliability. The number of assessments in concrete structures by means of nondestructive testing (NDT) has been increasing, the rebounds hammer being the most requested test due to its ease of implementation. However, the equipment used, known as Schmidt sclerometer, has correlation curves between rebound hammer content and the compressive strength should not be adopted because of being made with the specific

¹ Trabalho premiado no Seminário de Iniciação Científica da UFJF de 2014.

² Professora D. Sc.; Depart^o de Construção Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

³ XXII PIBIC/XXVI BIC/UFJF. Graduandas em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento CCI, CEP: 36036-900.



characteristics of the equipment origin. Since most of the works where there evaluation request via END did not control technology and some are paralyzed for a long period of time, the test becomes low accuracy. This study aims as a first step proposition to complement the NBR 7584 (2012), study dosages for concrete in different strength classes, namely C20 to C50 with 5 MPa variation in 5 MPa, used in national construction, and rebound hammer from evaluation index and elastic modulus. In this first stage the compressive strength results sclerometry and modulus of elasticity, the efficiency of dosages.

Keywords: Concrete. Sclerometry. Compressive strength. Modulus of elasticity.

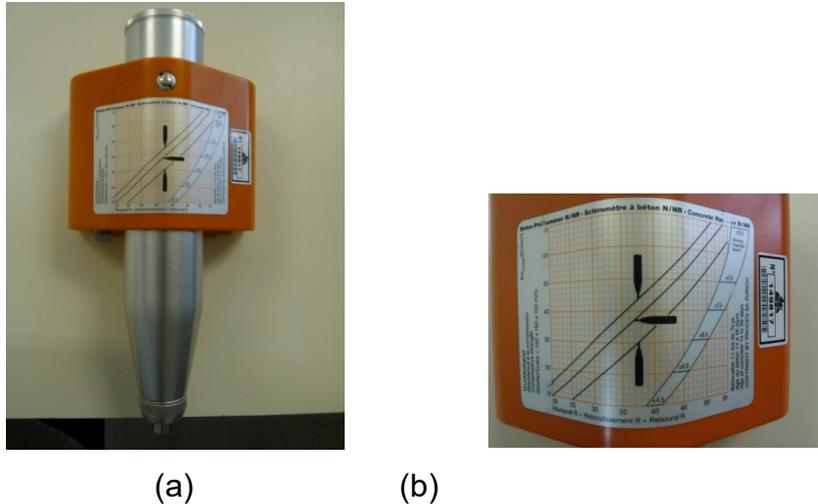
1 INTRODUÇÃO

A ideia de se testar a integridade de peças estruturais sem causar (ou causando pouco) dano, é de grande interesse para estudos. A utilização de ensaios não destrutivos no canteiro de obras avalia as condições dos elementos estruturais e permite verificar a qualidade do concreto. Sendo assim, os ensaios não destrutivos podem auxiliar na avaliação de danos e, também, contribuir com o controle de qualidade de um canteiro de obras.

Um dos ensaios não destrutivos mais utilizados é o ensaio de dureza superficial. Conhecido como esclerometria, este ensaio não destrutivo baseia-se no princípio da reflexão de uma massa com propriedades elásticas, isto é, certo impacto é aplicado em um ponto da estrutura, que devolve este impacto com uma ordem de grandeza menor, devido ao armazenamento de energia da estrutura, que é função do módulo da elasticidade do material (MALHOTRA,2004). Este equipamento vem acompanhado de curvas próprias utilizadas para estimar a resistência dos concretos, e cada aparelho é fabricado com suas próprias curvas de calibração. Entretanto, o uso dessas curvas não é recomendado, pois os materiais e as condições de teste podem ser diferentes das empregadas em sua confecção, pelo fabricante (Figura 1 (a) e (b)). Com o objetivo de tornar mais confiáveis e reais os resultados de avaliação e observação das resistências à compressão de concretos utilizados nas obras brasileiras, uma vez que as curvas adotadas pelos fabricantes não foram formuladas para as normas nacionais, esta pesquisa propõe apresentar uma contribuição para o desenvolvimento de um modelo de correlação com três tipos de curvas, com o equipamento posicionado verticalmente para baixo, verticalmente para cima e horizontalmente entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão em diferentes classes (C20 a C50), com variação de 5 em 5MPa. Como primeira etapa, foram verificadas as dosagens para a resistência à

compressão e feitos ensaios para testar essas dosagens e prever resultados para as curvas de correlação e módulo de elasticidade.

Figura 1 – Curvas utilizadas em esclerômetro – modelo N/NR



Fonte: elaboração própria.

1 Programa experimental

Para a realização dos testes das dosagens para cada classe de concreto (C20 a C50) foram moldados corpos-de-prova. A aprovação destas dosagens foi feita através do ensaio de resistência à compressão, uma vez que os resultados de resistência obtidos no ensaio se apresentaram dentro do esperado para cada classe de concreto. Importante salientar que os resultados de resistência à compressão deveriam ser os mais próximos possíveis da resistência característica do concreto (f_{ck}), para que se pudessem obter curvas representativas para cada classe, a fim de correlacionar estes resultados com o índice esclerométrico, obtido através do ensaio de dureza superficial (esclerometria).

A Tabela 1 apresenta a composição dos materiais para cada dosagem das sete diferentes classes de resistência do concreto.

Tabela 1 – Composição dos materiais (em massa) para dosagem das classes de resistência do concreto

f_{ck} (MPa)	Cimento	AA	AN	B0	B1	a/C	Aditivo %	Cimento kg/m ³
20	1	0,924	2,772	1,2	2,8	0,65	0,65	260
25	1	0,843	2,528	1,117	2,607	0,60	0,65	280
30	1	0,700	2,099	0,971	2,265	0,55	0,65	320
35	1	0,644	1,933	0,914	2,133	0,52	0,65	340
40	1	0,621	1,864	0,891	2,078	0,50	0,65	350
45	1	0,611	1,832	0,880	2,052	0,45	0,65	360
50	1	0,436	1,307	0,701	1,635	0,38	0,65	450

Fonte: elaboração própria.

Observações: AA – areia artificial; AN – areia natural; Cimento CP III E 40; Aditivo plastificante polifuncional.

As proporções exatas em massa dos materiais, assim como a relação água/cimento, foram definidas em função das características granulométricas dos agregados e do teor de materiais pulverulentos, ou seja, de grãos finos menores do que 0,075mm.

Os materiais utilizados na pesquisa foram caracterizados através de ensaios padronizados (análise granulométrica, massa específica real, massa específica unitária e teor de material pulverulento) conforme a Tabela 2, uma vez que para se obter um concreto com determinadas características de desempenho, uma criteriosa seleção dos materiais componentes é o primeiro passo (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

A utilização de métodos de ensaio padronizados garante o rigor técnico do estudo, além da importância na reprodutibilidade da pesquisa.

2.1 Materiais empregados

- a) Água - A água utilizada é proveniente da rede de abastecimento de água local.
- b) Cimento - Para a dosagem do concreto foi utilizado o cimento Portland CPIII 40-RS (cimento Portland de alto-forno resistente a sulfatos). Este tipo de cimento foi escolhido pela facilidade de ser encontrado na cidade de Juiz de Fora e por ser um dos materiais mais utilizados na região.

c) Agregados - De acordo com a ABNT NBR 7211(2009) os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a distribuição granulométrica do agregado deve ser adequada a ponto de proporcionar maior densidade de empacotamento das partículas, proporcionando menor consumo de cimento para uma determinada trabalhabilidade, ocasionando um menor custo da obra. Neste estudo, como agregado miúdo, foram utilizadas a areia natural, proveniente do Rio do Peixe, e a areia de britagem, fornecida por uma pedreira localizada na cidade de Matias Barbosa, MG. Para o agregado graúdo foram utilizadas duas graduações de brita, de graduações 0 e 1, tipo gnaisse (ambas com Abrasão “Los Angeles” inferior a 30%) provenientes da mesma pedreira localizada na cidade de Matias Barbosa, MG.

d) Aditivo: em geral os aditivos plastificantes melhoram a trabalhabilidade (mistura, lançamento, adensamento e acabamento) do concreto para um mesmo consumo de água, e ainda reduzem a segregação. Para o traço escolhido nesta pesquisa, foi utilizado o aditivo plastificante polifuncional MIRA 104, fabricante GRACE.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos na caracterização dos materiais utilizados neste projeto.

Tabela 2 – Caracterização física padrão dos agregados

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (NBR NM 248:2003)				
Peneiras (mm)	% Retido Acumulado			
	B0	B1	AN	AA
25				
19		14		
12,5		77		
9,5	6	98		
6,3	60	99	1	
4,8	89	99	1	1
2,4	99	99	4	22
1,2	99	99	21	42
0,6	99	99	58	53
0,3	99	99	89	62
0,15	99	99	98	76
Fundo	100	100	100	100
Massa específica (g/cm ³) (NBR NM	2,76	2,85	2,6	2,725
Massa unitária (g/cm ³)	1,4	1,49	1,44	1,72
Teor de material pulverulento (%)	0,685	0,945	2,25	20,8

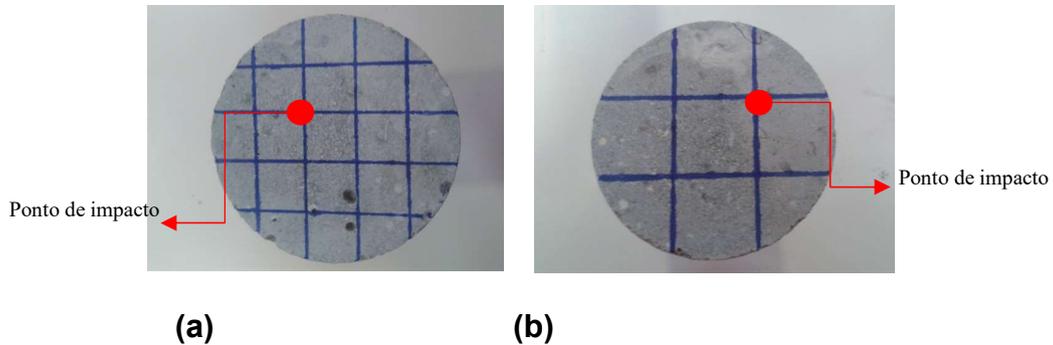
Fonte: elaboração própria.

2.2 Programa experimental

Este trabalho teve como finalidade caracterizar e definir os materiais e as dosagens para cada classe de concreto; moldar os corpos-de-prova a serem ensaiados para verificação das dosagens e executar os ensaios de esclerometria e resistência à compressão e módulo de elasticidade. Definidas as dosagens, foram moldados 77 corpos de prova cilíndricos de concreto, de 100 x 200mm de acordo com a NBR 5738 (2015), sendo 11 corpos de prova por classe avaliada. Aos 28 dias de idade realizaram-se os ensaios de esclerometria e de resistência à compressão. Segundo a NBR 7584 (2012), para se realizar o ensaio de esclerometria, deve-se fazer na superfície do corpo de prova uma malha com 16 pontos de impacto (Figura 2 (a)). Porém, no estudo, a esclerometria foi realizada em uma malha de 4 impactos, pois devido a grande proximidade entre os pontos o impacto posterior estava sofrendo interferência do anterior. Foi também observado que os pontos localizados na extremidade do corpo de prova não estavam sendo contabilizados na média, por apresentarem resultados muito baixos. Dessa forma,

foi utilizada a malha com 4 pontos que melhor representa os resultados (Figura 2 (b)).

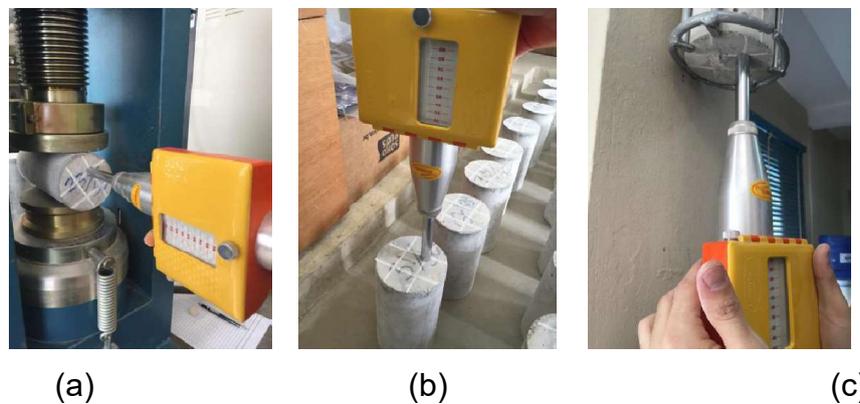
Figura 2 – (a) Malha com 16 pontos de impacto, e (b) malha com 4 pontos de impacto



Fonte: elaboração própria.

Os corpos de prova de cada traço foram divididos em 3 grupos de posicionamento do esclerômetro: horizontal, vertical para baixo e vertical para cima (Figura 3 (a), (b) e (c)).

Figura 3 – Ensaio de esclerometria (a) horizontal (Pos 1); (b) vertical para baixo (Pos 2) e (c) vertical para cima (Pos 3)



Fonte: elaboração própria.

Posteriormente, 3 corpos de prova de cada classe foram submetidos aos ciclos, conforme ensaio de módulo de elasticidade (NBR 8522 (2008)). Foram utilizados medidores de deformações elétricos do tipo resistivo, ou seja, são constituídos por uma liga de metal-filme estabilizadas, conhecidos como “*strain-gage*”. O equipamento de deformação da DINATEST possui como *software* o *TestMod*, no qual foram recebidos os pontos, controlada a carga e velocidade de operação da máquina, e gerados os relatórios

necessários. O método utilizado por meio da interface do programa *TestMod* devido a sua simplicidade e eficiência na coleta e análise dos dados.

2 Resultados e análises

A Tabela 3 apresenta as médias dos resultados dos ensaios de resistência à compressão, de esclerometria nas três posições do esclerômetro e módulo de elasticidade.

Tabela 3 – Médias dos resultados dos ensaios de resistência à compressão (5739, 2018), esclerometria -três posições do esclerômetro e módulo de elasticidade (NBR 8522, 2017).

Traço	Leitura média do impacto	Posição de leitura	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
TR20	14,27	Posição 1	22,20	29,33
	13,80	Posição 2	23,80	30,19
	16,27	Posição 3	20,36	29,59
TR25	24,30	Posição 1	28,00	32,08
	23,70	Posição 2	28,10	31,69
	27,30	Posição 3	28,30	32,06
TR30	29,22	Posição 1	31,40	33,32
	27,60	Posição 2	31,00	33,00
	32,12	Posição 3	32,50	33,88
TR35	33,20	Posição 1	37,30	35,32
	31,80	Posição 2	36,20	35,03
	36,20	Posição 3	37,10	36,08
TR40	35,90	Posição 1	40,02	36,25
	33,81	Posição 2	40,02	36,12
	38,29	Posição 3	41,21	37,32
TR45	38,10	Posição 1	46,24	39,03
	35,55	Posição 2	46,65	39,08
	41,82	Posição 3	47,01	40,46
TR50	42,70	Posição 1	49,44	42,45
	39,55	Posição 2	49,98	43,07
	45,43	Posição 3	50,25	42,98

Fonte: elaboração própria.

Nota: Posição 1 (→) – Posição 2 (↓) – Posição 3 (↑) TR – traço 20 a 50 – indica classe de concreto

Os resultados de resistência à compressão demonstram a eficiência das dosagens para os concreto de 20MPa a 50MPa, pois as dosagens foram desenvolvidas para atender o mais próximo possível do f_{ck} , não tendo que apresentar valor sempre superior a este.

Observa-se que o valor das leituras dos impactos é crescente de acordo com a variação de posição do esclerômetro, obedecendo a seguinte ordem: vertical para baixo (Posição 2), horizontal (Posição 1) e vertical para cima (Posição 3). Tal fato não é

significativo para as resistências à compressão do concreto, uma vez que não há variação no posicionamento do equipamento no corpo-de-prova para este ensaio.

De acordo com a Figura 7, verifica-se que as linhas de tendência apresentaram para as três posições valores polinomiais de 2ª ordem com boa aproximação dos estudos experimentais (vide valores de R^2 para cada uma das curvas).

Salienta-se que para uma mesma resistência à compressão, os valores dos impactos diferem em função da posição do esclerômetro, por isso, a necessidade de três curvas de correlação (Equações 1; 2 e 3):

Posição 1: $f_c = 0,0223(I)^2 - 0,2612(I) + 21,170$ $R^2 = 0,9822$ (Equação 1)

Posição 2: $f_c = 0,0411(I)^2 - 1,1206(I) + 31,329$ $R^2 = 0,9751$ (Equação 2)

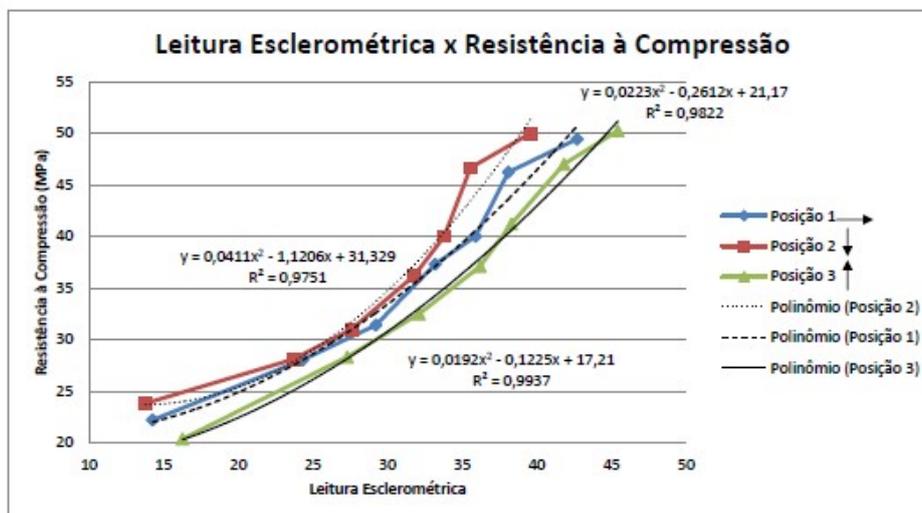
Posição 3: $f_c = 0,0192(I)^2 - 0,1225(I) + 17,210$ $R^2 = 0,9937$ (Equação 3)

Em que:

f_c – resistência à compressão superficial do concreto (MPa)

I – leitura esclerométrica (valor do impacto)

Figura 7 - Diagrama gráfico dos resultados de esclerometria e resistência à compressão nas três posições do equipamento



Fonte: elaboração própria.

Com relação aos resultados apresentados para módulo de elasticidade, não houve variação dos resultados em função da posição esclerômetro, como já observado para os resultados de resistência à compressão (Tabela 3).

Estes resultados demonstram a eficiência das dosagens, permitindo o

desenvolvimento da pesquisa para elaboração das curvas esclerométricas nacionais e dos testes nas obras em concreto. Finalmente, da viabilidade de adoção das curvas em uma reformulação da NBR 7584 (2012), fornecendo ao meio técnico resultados mais confiáveis.

3 CONCLUSÕES

De acordo com os estudos apresentados pode-se concluir que:

A utilização de métodos não destrutivos para avaliação de estruturas pode ser muito útil em controle de qualidade de concreto ou na avaliação de estruturas com possíveis danos, bem como, o ensaio de esclerometria estudado apresenta boa confiabilidade quando se tem conhecimento dos materiais utilizados, da dosagem dos insumos e das condições em que o concreto foi executado.

Os resultados de resistência à compressão e do módulo de elasticidade demonstram a eficiência das dosagens para os concreto de 20MPa a 50Mpa; e o valor das leituras dos impactos é crescente de acordo com a variação de posição do esclerômetro, obedecendo a seguinte ordem: Posição 2 (vertical para baixo), Posição 1 (horizontal) e Posição 3 (vertical para cima). Tal fato não é significativo para as resistências à compressão do concreto e para o módulo de elasticidade, uma vez que não há variação no posicionamento do equipamento no corpo-de-prova para estes ensaios.

As linhas de tendência para resistência e esclerometria apresentaram para as três posições valores polinomiais de 2ª ordem com boa aproximação dos estudos experimentais, verificados por meio dos valores de R^2 para cada uma das curvas.

Para uma mesma resistência à compressão, os valores dos impactos diferem em função da posição do esclerômetro, por isso, a necessidade de três curvas de correlação.

Os resultados demonstram a eficiência dos ensaios e permitiu a elaboração de um plano de concretagem significativo para elaboração das curvas esclerométricas nacionais.

Sendo o ensaio aprovado pela ABNT, sugere-se que a mesma dê subsídios mais claros e precisos para o ensaio. Tecnologistas necessitam da adoção deste ensaio em observações de obras de modo a fornecer aos calculistas resultados mais precisos dos concretos lançados na obra, uma vez que, a grande maioria delas não faz controle tecnológico ou o fazem de maneira deficiente.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio concedido a este trabalho: Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Federal de Juiz de Fora – Propp/UFJF.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **ABNT NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **ABNT NBR 7584**: Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **ABNT NBR 8522**: Concreto – determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

MALHOTRA, V.M.; CARINO, N.J. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. Boston: CRC Press, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2014.