

## ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ESTRUTURA DE CONCRETO UTILIZANDO O ENSAIO DE ESCLEROMETRIA\*

Markssuel Teixeira Marvilar<sup>1</sup>  
Afonso Rangel Garcez Azevedo<sup>2</sup>  
Euzébio Bernabé Zanelato<sup>3</sup>  
Jonas Alexandre<sup>4</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>5</sup>  
Niander Cerqueira Aguiar<sup>6</sup>  
Vitor Barbosa de Souza<sup>7</sup>

### Resumo

A análise de resistência de estruturas de concreto armado já construídas torna-se inviável com a utilização das técnicas convencionais, uma vez que o padrão para mensurar essa propriedade é a utilização de técnicas destrutivas. Nesse cenário o ensaio de esclerometria, uma técnica de ensaio não destrutiva, é de grande valia para estimativa da resistência à compressão de estruturas de concreto armado já em serviço. O objetivo desse trabalho foi verificar a resistência à compressão de duas lajes de concreto armado de uma determinada edificação localizada em ambiente rural, cuja construção foi interrompida antes da conclusão do empreendimento. Foram utilizadas as técnicas de obtenção de resistência à compressão convencional, que consiste na extração de testemunhos para ensaio de compressão uniaxial, e a técnica de correlação pelo ensaio de esclerometria. Os resultados comprovam a eficácia da aplicação das técnicas não destrutivas em análise de estruturas de concreto armado.

**Palavras-chave:** Esclerometria, Ensaio não destrutivo, Concreto.

### CASE STUDY: CONCRETE STRUCTURE RESISTANCE ANALYSIS USING THE SCLEROMETRY TEST

#### Abstract

The resistance analysis of already constructed reinforced concrete structures becomes infeasible with the use of conventional techniques, since the standard to measure this property is the use of destructive techniques. In this scenario the sclerometry test, a non-destructive test technique, is of great value in estimating the compressive strength of reinforced concrete structures already in service. The objective of this work was to verify the compressive strength of two reinforced concrete slabs of a certain building located in rural environment, whose construction was interrupted before the project was completed. The techniques of obtaining resistance to conventional compression, which consists of the extraction of testimonies for uniaxial compression test, and the technique of correlation by the sclerometry test were used. The results demonstrate the effectiveness of the non-destructive techniques in the analysis of reinforced concrete structures.

**Keywords:** Sclerometry, Non-destructive testing, Concrete.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Civil, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>3</sup> Doutorando em Engenharia Civil, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em Ciências de Engenharia, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade da Flórida, Gainesville, Flórida, Estados Unidos.

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia Civil, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>7</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O principal parâmetro para analisar e dimensionar estruturas de concreto armado é a resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ). A obtenção desse parâmetro em componentes estruturais de concreto é realizada através do ensaio normatizado pela NBR 5738 [1] e NBR 5739 [2], onde são moldados corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, sendo a altura igual ao dobro do diâmetro. O ensaio é usualmente realizado após 28 dias de cura, numa prensa que aplica carga compressiva no material até a ruína. Esse ensaio, portanto, é classificado como um ensaio destrutivo, onde não existe possibilidade de reutilização do material após a ruptura.

Em estruturas que já estão em serviço, quando é necessário conhecer o valor de resistência à compressão, devido à ausência de projeto estrutural, problemas patológicos ou abandono da construção, fica inviável realizar o ensaio destrutivo, uma vez que retirar parte da estrutura é inviável. Nesse caso os ensaios mais indicados são os ensaios não destrutivos, como por exemplo o ensaio de penetração do pino, o ensaio de propagação de ondas ultrassônicas e esclerometria [3-4].

O esclerômetro mede a dureza superficial do concreto e a correlaciona com a resistência à compressão desse concreto, sendo muito utilizado em obras em execução, para avaliar a resistência do concreto cujos corpos de prova padrão deram resultado abaixo do esperado ou para estimar a resistência do concreto de obras antigas [5]. O esclerômetro, também chamado de martelo de Schmidt, foi criado em 1948 pelo Eng. suíço Ernest Schmidt.

O ensaio é normatizado no Brasil pela NBR 7584 [6], e consiste em bater na superfície a ser avaliada, sendo que o próprio equipamento mede a recuperação de energia do impacto. Com esse dado, é possível achar a resistência à compressão através do índice esclerômetro (IE), utilizando tabelas fornecidas pelo próprio equipamento [7-8].

A Figura 1 apresenta um esquema de funcionamento do equipamento. O instrumento apresenta um princípio de funcionamento mecânico através de um sistema de molas e extensômetros. Na posição inicial, o esclerômetro não está ativado e o sistema interno massa-mola do equipamento não sofre tensionamento. Na segunda fase o operador comprime o esclerômetro contra a superfície que terá sua dureza medida, provocando um efeito de tração na mola. Após a liberação do sistema pelo operador, o sistema massa-mola do equipamento aplica um impacto sobre a superfície do concreto avaliado, sendo que parte da energia de impacto é transmitida ao concreto e parte dessa energia retorna ao sistema massa-mola, provocando um repique no instrumento [9]. Quanto maior for a dureza do concreto, menos energia é absorvida pelo material e mais energia é retornada ao sistema massa-mola, provocando maiores repiques, ao passo que quanto menos duro for o concreto, o efeito inverso ocorre, isto é, mais energia é transmitida a superfície do concreto e menor será o repique medido pelo esclerômetro. O índice esclerômetro é medido através dos valores de repique obtidos pela mola [10-11].

Nesse cenário, o objetivo desse trabalho foi realizar a avaliação de duas lajes presentes numa estrutura localizada num ambiente rural, no município de Bom Jesus do Itabapoana, interior do estado do Rio de Janeiro, de uma edificação construída a aproximadamente 10 anos que apresenta sua execução interrompida antes de sua conclusão. Essa avaliação foi realizada utilizando a técnica destrutiva padronizada pela NBR 5739 [2] e pela técnica do esclerômetro, a fim de verificar a correlação entre os dois valores obtidos.

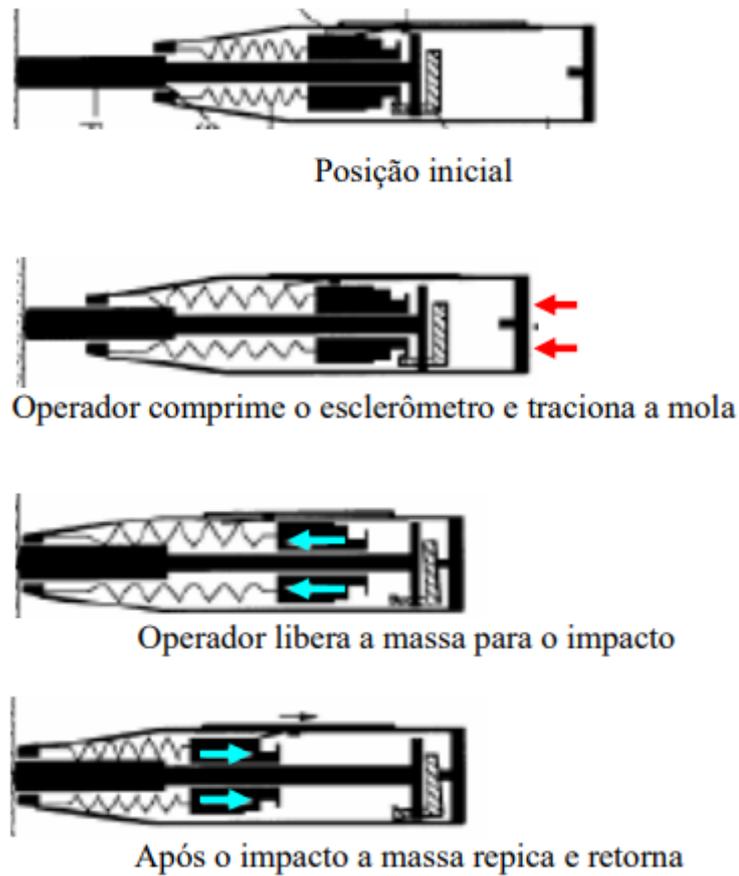


Figura 1. Funcionamento mecânico do esclerômetro. Fonte: Escobar et al. (2008) [12]

## 2 METODOLOGIA

As análises de resistência foram realizadas em duas lajes de uma edificação que teve sua execução interrompida a aproximadamente 10 anos. Essa edificação, cuja planta baixa é apresentada na Figura 2, situa-se em Bom Jesus do Itabapoana, RJ, situando-se numa região classificada como ambiente rural. Esse ambiente é definido como classe de agressividade I, sendo que para esse tipo de edificação a norma de estruturas de concreto armado, a NBR 6118 [13], exige que a resistência mínima à compressão seja de 20 MPa para estruturas executadas em concreto armado.

As lajes foram nomeadas com base no cômodo que atendem (laje da fábrica de ração e laje da sala). Cada laje foi avaliada em cinco posições distintas, em pontos uniformemente espaçados na laje. O procedimento do ensaio de esclerometria seguiu as prescrições da norma NBR 7584 [6], sendo realizado 9 impactos por posição avaliada, conforme ilustrado na Figura 3. O equipamento utilizado nas análises é ilustrado na Figura 4, enquanto a curva de calibração do instrumento, usado para relacionar o IE com a resistência do concreto é apresentado na Figura 5. Destaca-se que para realizar as análises os impactos foram executados de cima para baixo, com o instrumento a uma posição de  $-90^\circ$ .

Para realização do ensaio destrutivo, foram extraídos testemunhos cilíndricos das lajes avaliadas, numa dimensão de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Em cada laje foram extraídos três testemunhos, e o ensaio de compressão foi realizado numa

prensa hidráulica, modelo SOLOTEST, com capacidade de 100 toneladas, seguindo os procedimentos das NBR 5738 [1] e NBR 5739 [2].

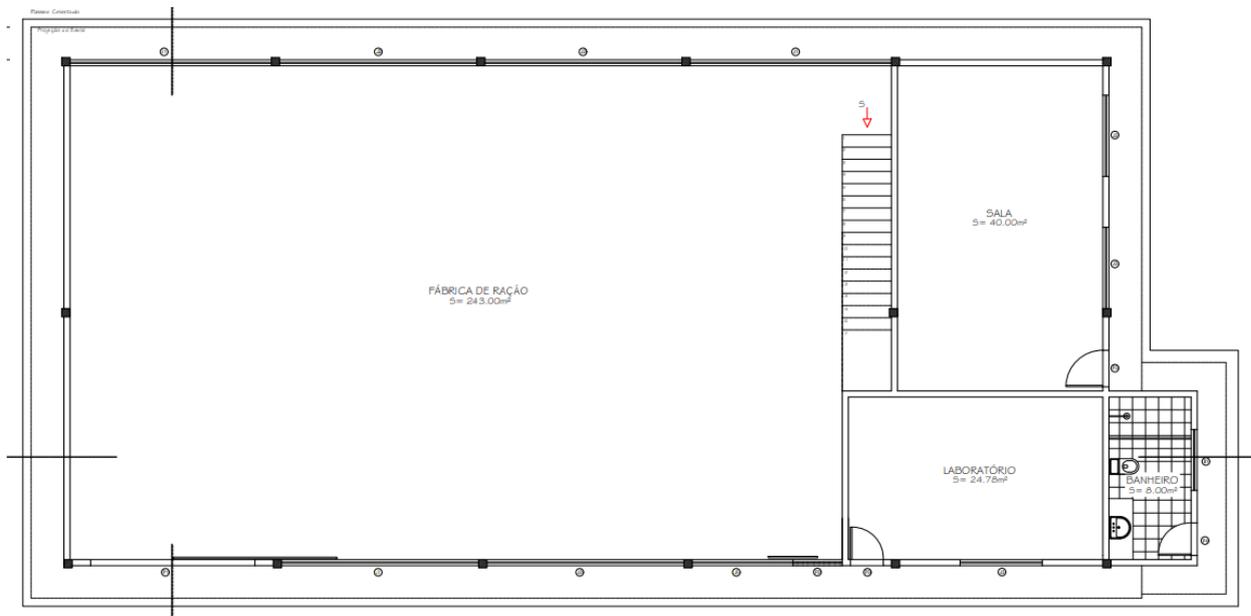


Figura 2. Representação das lajes avaliadas.

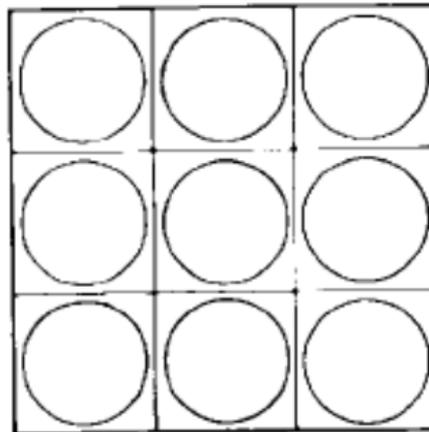


Figura 3. Posição dos pontos avaliados conforme NBR 7584 [6].



Figura 4. Esclerômetro utilizado na análise.

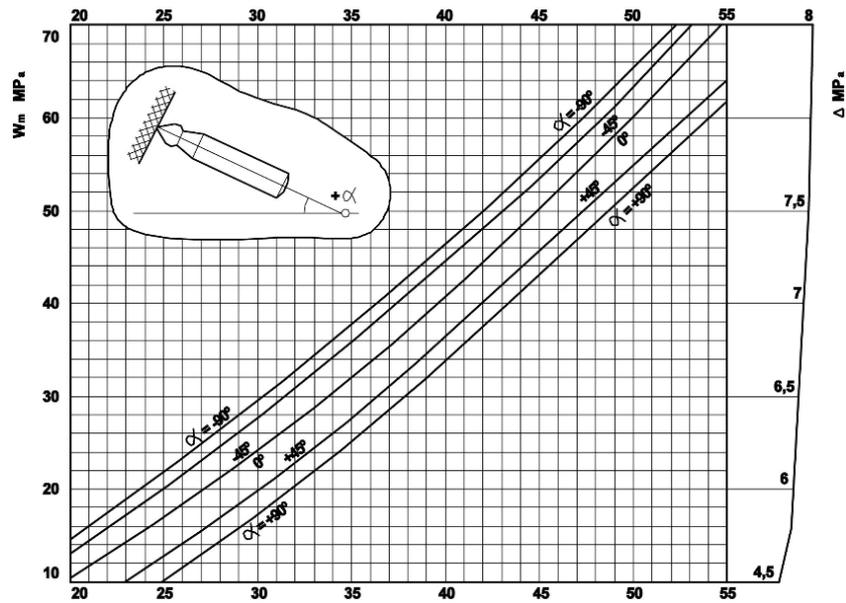


Figura 5. Curva de calibração do esclerômetro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores obtidos pelo ensaio de esclerometria para as lajes da fábrica de ração e da sala, respectivamente. Conforme recomendações da NBR 7584 [6], após realizar o impacto nos 9 pontos avaliados, calcula-se a média e elimina-se os dados que apresentam dispersão maior do que 10% em torno da média. Com esses dados desprezados, a média é novamente calculada. Essa nova média é então tomada como índice esclerômetro e esse valor é utilizado para obter a resistência à compressão através da Figura 5, considerando que a inclinação do aparelho está a  $-90^\circ$ . Assim, obteve-se os valores de 16 MPa para as lajes da fábrica de ração e da sala.

Tabela 1. Valores obtidos para a laje da fábrica de ração.

Elemento	P1	P2	P3	P4	P5
1	22	22	22	26	22
2	22	20	18	26	24
3	22	20	18	24	24
4	22	20	22	28	22
5	20	22	22	24	24
6	20	18	18	28	22
7	18	18	18	26	24
8	18	18	22	26	22
9	18	18	20	26	24
Média	20,22	19,56	20,00	26,22	23,11
Desvio Padrão	1,86	1,67	2,00	1,56	1,05
Lim_Inf	18,20	17,60	18,00	23,60	20,80
Lim_Sup	22,24	21,51	22,00	28,84	25,42
Nova Média	21,33	18,86	20,00	26,22	23,11

Tabela 2. Valores obtidos para a laje da sala.

Elemento	P1	P2	P3	P4	P5
1	22	24	22	22	20
2	26	22	22	20	22
3	22	22	24	22	22
4	24	20	20	20	20
5	22	22	24	22	22
6	22	24	20	18	22
7	22	18	18	20	22
8	24	22	22	18	22
9	22	24	18	20	24
Média	22,89	22,00	21,11	20,22	21,78
Desvio Padrão	1,45	2,00	2,26	1,56	1,20
Lim_Inf	20,60	19,80	19,00	18,22	19,60
Lim_Sup	25,18	24,20	23,22	22,24	23,96
Nova Média	22,50	22,50	21,20	20,86	21,50

Através do ensaio de resistência à compressão convencional e destrutivo, obteve-se  $13,32 \pm 1,21$  MPa para a laje da fábrica de ração e  $14,67 \pm 1,63$  MPa para a laje da sala. Isso indica que os valores do ensaio destrutivo foram menores e apresentaram uma dispersão percentual entre 10% e 15%, aproximadamente. Com base nesses valores é possível concluir que o concreto presente nessas estruturas apresenta valores muito abaixo do mínimo recomendando pela NBR 6118 [13] de 20 MPa, o que indica que alguma intervenção estrutural deve ser realizada nas estruturas caso a construção dela seja retomada. As imagens presentes na Figura 6 ilustram as patologias que as lajes avaliadas apresentam, como presença de fissuras e manchas de umidade e bolor, que justificam e comprovam os baixos valores de resistência obtidos para as estruturas avaliadas.



Figura 6. Patologias apresentadas pelas lajes avaliadas.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, verifica-se que o método da esclerometria é um bom indicador para avaliação de estruturas de concreto armado sem a necessidade de provocar a destruição do material avaliada.

Os resultados obtidos para as lajes da fábrica de ração e da sala foram 16 MPa pelo ensaio de esclerometria e  $13,32 \pm 1,21$  e  $14,67 \pm 1,63$  MPa, respectivamente, para o

ensaio destrutivo. A diferença percentual entre as duas análises realizadas foi de 10% a 15% aproximadamente, o que pode ser considerado como satisfatório.

Destaca-se, por fim, que caso a estrutura seja reaproveitada em empreendimentos futuros, um reforço estrutural é necessário uma vez que não foi atingida a resistência de 20 MPa, mínima para estruturas situadas em grau de agressividade I (ambiente rural), conforme orientações das normas brasileiras.

## REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.
- 2 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos, 2018.
- 3 R.R.F. Santos, D.R.C. Oliveira. Vida útil à fadiga de uma ponte ferroviária na estrada de ferro Carajás. IBRACON Structures and Materials Journal, 2012, vol. 5, nº 5, p. 627-658.
- 4 E. Pereira, M.H.F. de Medeiros. Ensaio de “Pull Off” para avaliar a resistência à compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios normalizados no Brasil. IBRACON Structures and Materials Journal, 2012, vol. 5, nº 6, p. 757-780.
- 5 T. M. Oliveira, M. C. R. Farage, L. Goliartt, T. C. Bittencourt. Análise e validação de curvas de correlação entre a esclerometria e ensaios de compressão para avaliação da resistência à compressão de concretos. IBRACON Structures and Materials Journal, 2018, vol. 11, nº 4, p. 779-809.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7584. Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio, 2012.
- 7 J. J. Lemanska, D. Walach. Impact of The Direction of Non-Destructive Test with Respect to The Annual Growth Rings of Pine Wood. Procedia Engineering 161 (2016) 925 – 930.
- 8 J. Soriano, R. Gonçalves, C. Bertoldo, A. J. Trinca. Aplicações do método de ensaio esclerométrico em peças de eucalipto saligna sm. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.3, p.322–328, 2011.
- 9 J.J.O. López, L.V. Reyes, C.O.Vera. Structural health assessment of a R/C building in the coastal area of Concepción, Chile. Procedia Engineering 199 (2017) 2214–2219.
- 10 M. D. Machado, L. C. D. Shehata, I. A. E. M. Shehata. Curvas de Correlação para Caracterizar Concretos Usados no Rio de Janeiro por Meio de Ensaios Não Destrutivos. IBRACON Structures and Materials Journal, 2009. vol. 2. nº 2, p. 100-123.
- 11 J. Brozovsky. Comparison of Compressive Strengths of Concrete testing by different of Sclerometers. Procedia Engineering 65 (2013) 254 – 259.
- 12 C.J., Escobar, D.A. Cruz, G. Fabro. Avaliação de Concrete Rebound Hammer Performance of the tests with Hardened Concrete. ANAIS DO 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2008.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, 2014.