

# ENSAIO DE ESCLEROMETRIA PARA ESTIMATIVA DA RESISTENCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO EM OBRAS DA CIDADE DE MARINGÁ

## ESCLEROMETRY TEST FOR THE ESTIMATION OF RESISTANCE TO CONCRETE COMPRESSION IN WORKS OF THE CITY OF MARINGÁ

BEATRIZ ANDRADE NASCIMENTO<sup>1</sup>, ARTHUR ROSINSKI DO NASCIMENTO<sup>2\*</sup>, ANTONIO APARECIDO LOPES<sup>3\*\*</sup>

1. Acadêmico do curso de graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Ingá - Uningá; 2. Prof. Me. formado pela Universidade Estadual de Maringá. 3. Prof. formado pela Universidade Estadual de Maringá.

\* Rua Rui Barbosa, 207, Zona 7, Maringá, Paraná, Brasil. [prof.arthurnascimento@uninga.edu.br](mailto:prof.arthurnascimento@uninga.edu.br)

\*\* Av. Gastão Vidigal, 1708, Zona 8, Maringá, Paraná, Brasil. [prof.antoniolopes@uninga.edu.br](mailto:prof.antoniolopes@uninga.edu.br)

Recebido em 21/08/2018. Aceito para publicação em 06/09/2018

### RESUMO

Este estudo tem como objetivo estimar a resistência à compressão do concreto por meio do ensaio de esclerometria em obras que fizeram o uso do concreto misturado manualmente na região de Maringá e avaliá-la, correlacionando-a aos dados coletados em visitas. Foram selecionadas dez obras em execução que utilizaram concretos moldados no canteiro de obra, nas idades entre 45 e 150 dias de cura. Em cada obra foi realizado um ensaio de esclerometria em pilar para a estimativa da resistência à compressão do concreto. Da análise dos dados coletados em obra, nota-se a importância da presença de um profissional qualificado para a execução da edificação. Tal fato pode ser percebido pelas resistências à compressão estimadas em obras sem a presença responsável técnico no acompanhamento dos processos executivos terem dado abaixo do que foi estimado em projeto. O ensaio de esclerometria apresenta-se como uma excelente alternativa para estimativa da resistência à compressão do concreto, por se tratar de um ensaio simples e com equipamento de fácil acesso no mercado. Entretanto, tal estimativa nem sempre corresponde ao real valor encontrado, haja vista que diversas variáveis interferem no mesmo: tipos de materiais utilizados no concreto, presença de vazios e armaduras, uso de desmoldantes, carbonatação, preparação da superfície, entre outros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esclerômetro de reflexão, ensaio não destrutivo, resistência à compressão.

### ABSTRACT

This study aims to estimate the compressive strength of the concrete by means of the sclerometry test in works that made the use of manually mixed concrete in the Maringá region and to evaluate it, correlating it to the data collected during visits. Ten works in execution were selected that used molded concretes in the construction site, in the ages between 45 and 150 days of cure. In each work, a column sclerometry test was performed to estimate the compressive strength of the concrete.

From the analysis of the data collected in the work, it is noted the importance of the presence of a qualified professional for the execution of the building. This fact can be perceived by the estimated compressive strengths in works without the responsible technical presence in the monitoring of the executive processes to have given below that which was estimated in the project. The sclerometry test is an excellent alternative for estimating the compressive strength of the concrete, since it is a simple test with equipment easily accessible on the market. However, this estimate does not always correspond to the real value found, given that several variables interfere in the same: types of materials used in the concrete, presence of voids and reinforcement, use of release agents, carbonation, surface preparation, among others.

**KEYWORDS:** Reflection sclerometer, non-destructive testing, compressive strength.

### 1. INTRODUÇÃO

Uma estrutura de concreto deve atender alguns requisitos básicos de qualidade como cura do concreto, trabalhabilidade, cobrimento e resistência. Esta pode se referir à capacidade resistente à compressão, à tração e ao cisalhamento.

Para Battagin (2009)<sup>1</sup>, concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

Adão e Hemerly (2010)<sup>2</sup>, descrevem que a principal propriedade do concreto é a sua resistência à compressão, que é medida pela tensão, expressa em MegaPascal (MPa). A resistência à compressão é determinada na fase de projeto pelo engenheiro estrutural, e o engenheiro de execução, por sua vez, deve efetuar o estudo do traço, controle tecnológico e seguir boas técnicas.

cas construtivas para que a mesma seja atingida.

De acordo com Krug, Habitzreitter e Bueno (2016)<sup>3</sup>, existem dois tipos de fabricação de concreto, o concreto fabricado manualmente em canteiro de obras, e o concreto de mistura mecânica fabricado por meio de equipamentos específicos em centrais de concretagem seguindo a NBR 7212:2012 – norma que estabelece os procedimentos e parâmetros de qualidade do concreto.

Concreto produzido manualmente é, geralmente, fabricado com um menor controle de qualidade, acarretando em variação nas dosagens dos materiais, homogeneização da mistura e excesso de água para trabalhabilidade do mesmo. Obras de pequeno porte, devido ao baixo volume de concreto em cada fase de execução, inviabiliza a contratação de um concreto usinado, fazendo-se o uso da fabricação in loco. Outro fator que pode ser levado em consideração na escolha do método de confecção do concreto é o custo, que, segundo Krug, Habitzreitter e Bueno (2016)<sup>3</sup>, o concreto produzido em central, possui um custo elevado.

O controle do concreto quando em estado fresco é feito através de moldagem de corpos de prova seguindo as normas da ABNT NBR 5738:2003<sup>4</sup> e NBR 5739:1994<sup>5</sup>, para o ensaio de resistência à compressão em prensa mecânica. Já para o concreto endurecido, a resistência pode ser estimada por outros ensaios como a extração do corpo de prova da estrutura para análise, seguindo a NBR 7680-1:2015<sup>6</sup>, a ultrassonografia, seguindo a NBR 16196:2013<sup>7</sup>, e a esclerometria, seguindo a NBR 7584:2012<sup>8</sup>.



**Figura 1.** Demolição de pilares – (1 A) Operários demolindo pilares – (1B) Pilares a serem demolidos. **Fonte:** AUTORA, 2018.

Na cidade de Maringá (PR), um edifício de 11 pavimentos apresentou falhas em relação à resistência do concreto, visto que a qualidade do mesmo foi inferior ao que foi solicitado. Consequência disto foi à necessidade

de demolição de 24 pilares, como mostra a Figura 1.

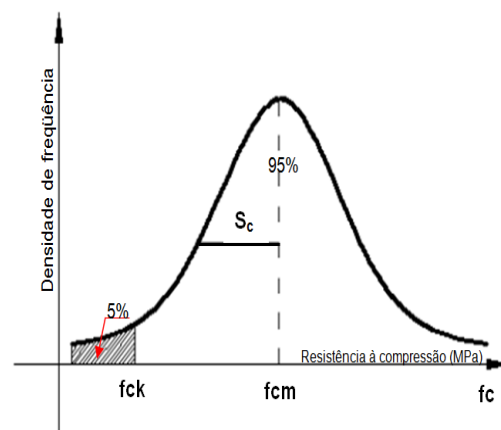
Exemplos como este podem ser vistos em diversas ocasiões gerados por falha na resistência à compressão do concreto. Diante deste cenário, este estudo tem como objetivo estimar a resistência à compressão do concreto por meio do ensaio de esclerometria em obras que fizeram o uso do concreto misturado manualmente na região de Maringá e avaliá-la, correlacionando-a aos dados coletados em visitas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Definição de $f_{ck}$

Na curva de Gauss para distribuição de frequência da resistência a compressão simples, encontram-se dois valores de fundamental importância: resistência média do concreto à compressão,  $f_{cm}$ , e resistência característica do concreto à compressão,  $f_{ck}$ , como pode ser observado no Figura 2<sup>9</sup>.

Helene e Terzian (1993)<sup>10</sup> informam que a resistência característica do concreto à compressão é o valor referência que adota o projetista como base de cálculo. Desta forma, está associada a um nível de confiança de 95%. Chama-se também resistência característica especificada ou de projeto. Não obstante a isto, esse valor é aplicado o coeficiente de minoração para a obtenção da resistência de cálculo  $f_{cd}$  do concreto à compressão.



**Figura 2.** Curva de distribuição normal, ou curva de Gauss. **Fonte:** Helene e Terzian (1993)<sup>10</sup>.

O valor de  $f_{cm}$  corresponde à média aritmética dos valores de  $f_c$  em um conjunto de corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão simples.

Tal valor é utilizado na determinação da resistência característica,  $f_{ck}$ , pela Equação 1.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (1)$$

em que,  $f_{ck}$  é a resistência característica à compressão;  
 $f_{cm}$  é a média aritmética dos valores de  $f_c$ ;  
 $s$  é o desvio padrão.

A distância entre a abscissa de  $f_{cm}$  e o ponto de inflexão da curva é o desvio-padrão,  $s$ . O valor 1,65 é corresponde a 5%, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-prova possuem  $f_c < f_{ck}$ . Portanto, podemos dizer que o  $f_{ck}$  é o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado em ensaios de corpo-de-prova<sup>9</sup>.

## 2.2 Fatores que influenciam na resistência do concreto

A NBR 12655:2006<sup>11</sup> define algumas condições de preparo e dosagem do concreto. Para a dosagem, é recomendando três métodos baseados na quantificação dos materiais em massa ou em volume, corrigindo os teores de água e utilizando curvas de inchamento da areia.

Sendo definidas as condições de preparo do concreto, é possível calcular o valor médio esperado da resistência à compressão do concreto. Quanto maior a precisão da dosagem dos componentes do concreto e no cuidado do seu preparo, menor a variação da mesma.

Estando a resistência à compressão do concreto diretamente vinculado à relação água/cimento utilizada na dosagem deste, quanto maior for esta relação, maior será a porosidade do concreto e, como consequência, menor será sua resistência em razão do enfraquecimento da matriz do concreto<sup>12</sup>.

De acordo com Valverde (2001)<sup>13</sup>, as propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais para a vida das estruturas (obras) em que são usados. São inúmeros os exemplos de falência de estruturas em que é possível chegar-se à conclusão que a causa foi a seleção e o uso inadequado dos agregados.

O concreto de cimento Portland é um dos materiais mais utilizados da indústria da construção civil, utilizando em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Como se observa, cerca de 70% do concreto é constituído de agregados. Decorre daí a importância do uso de agregados com especificações técnicas adequadas<sup>13</sup>.

Conforme Quitete (2015)<sup>14</sup>, reação álcali-agregado (RAA) é uma reação química no concreto entre alguns constituintes presentes em certos tipos de agregados e componentes alcalinos (de Na e K) que estão dissolvidos na solução dos poros (e fissuras) do concreto. Sua ocorrência está condicionada à presença simultânea de três fatores: agregado potencialmente reativo, umidade e álcalis. A RAA pode ocorrer sem necessariamente afetar a estrutura. Em geral leva anos para ser percebida. A RAA é particularmente prejudicial em estruturas massivas, como barragens e pontes.

A cura do concreto é nome dado ao processo técnico

utilizado para, dentre outros, desacelerar a evaporação (pela ação do sol e dos ventos) da água de amassamento utilizada na fabricação do concreto e permitir a completa hidratação do cimento.

Um dos fatores que pode causar a redução na resistência à compressão do concreto é a sua cura, sendo um processo fundamental para que o concreto alcance a resistência e a durabilidade necessária e requisitada<sup>15</sup>.

O processo de cura do concreto consiste na manutenção de um ambiente favorável para desenvolvimento de sua resistência, em teor de umidade e temperatura, sem que possa haver prejuízos ao produto final<sup>16</sup>. A má hidratação provocada pela ineficiência do processo de cura pode gerar danos irreversíveis<sup>17</sup>.

## 2.3 Estimativa da resistência à compressão do concreto

De acordo com Neville (1997)<sup>18</sup>, para verificar a qualidade do concreto, devem ser utilizados métodos de controle tecnológicos de acordo com as normas brasileiras regulamentadoras.

Na aprovação do concreto, é verificado, de forma sistêmica, o controle tecnológico, a fim de buscar a melhoria e garantir a rastreabilidade de cada ensaio, evitando anomalias e patologias no elemento estrutural. Os resultados de ensaios devem ser analisados para a verificação dos parâmetros estabelecidos pelas normas e, assim, desenvolver-se um plano de ação corretiva e preventiva, de modo a equacionar problemas de não conformidade com o concreto, evitando e prevenindo a ocorrência de manifestações patológicas<sup>19</sup>.

A resistência do concreto pode ser medida por vários ensaios. O método mais conhecido é o ensaio de resistência à compressão por meio de ruptura de corpos de prova. Neste, são moldados os corpos de prova durante a concretagem, separados por lotes, e levados ao laboratório de controle tecnológico onde tal ensaio deverá ser realizado, de acordo com a NBR 5738:2003<sup>4</sup>.

Contudo, pode-se efetuar ensaios para avaliação da resistência à compressão do concreto mesmo após o seu endurecimento. Tais ensaios podem ser classificados como destrutivo e não destrutivo.

A NBR 7680:2015<sup>6</sup> estabelece que no método destrutivo seja extraído um corpo de prova e avaliado a ruptura à compressão em laboratório. A extração de testemunhos de estruturas se aplica a algumas situações em casos de não conformidade da resistência à compressão do concreto com os critérios da NBR 12655:2015<sup>11</sup>.

Em todos os casos, sua realização depende da aprovação prévia de um engenheiro responsável. Segundo a norma NBR 7680: 2015<sup>6</sup>, sempre que for considerada necessária, a realização de extração de testemunhos deve ser precedida de estudos com base nos documentos disponíveis (projetos, memórias de cálculo, memoriais descritivos e outros), de forma a balizar a obtenção de in-

formações consistentes e evitar extrações desnecessárias, que podem minorar a capacidade resistente da estrutura em avaliação.

Como já citado, existem ensaios não destrutivos como esclerometria e ultrassonografia. A seguir, serão detalhadas as recomendações do ensaio de esclerometria, que corresponde à técnica utilizada nesta pesquisa.

## 2.4 Esclerometria

Segundo Lopes (2016)<sup>20</sup>, experimento que submete a estrutura de concreto a um impacto padronizado, empregando uma determinada massa a certa energia, medindo assim o valor da reflexão, índice esclerométrico. A resistência da peça é estimada mediante as curvas de calibração, correlacionando a resistência à compressão do concreto com o índice esclerométrico. As curvas de calibração variam de acordo com as especificações do fabricante.

### 2.4.1 Procedimentos gerais para a realização do ensaio de esclerometria de acordo com a NBR 7584:2012

Os procedimentos são aplicados em concreto de uso estrutural, no qual o esclerômetro deve ser aplicado na posição de maior inércia da peça, devendo ter espessura mínima de 100 mm sobre a área de impacto. A superfície tem de ser rígida e a área de ensaio deve estar entre 8.000 mm<sup>2</sup> e 40.000 mm<sup>2</sup>.

A peça de ensaio deverá estar fixada e devidamente lixada e limpa a seco. A distância mínima entre a área de impacto e os cantos e arestas da peça deverá ser de 50 mm. A distância entre um impacto e outro tem de ser de pelo menos 30 mm.

Segundo a NBR 7584:2012<sup>8</sup>, cada área de ensaio deve conter dezesseis impactos com o esclerômetro, devendo-se evita-los sobre agregados ou armaduras. Não é permitido efetuar mais de um impacto sobre o mesmo ponto. Caso ocorra, o valor deverá ser desprezado dos cálculos.

O valor correspondente ao número de recuo do martelo é denominado índice esclerométrico (IE), pelo qual é calculada a média aritmética. Os valores de reflexão superiores ou inferiores à 10% do valor do IE médio deverão ser descartados. O IE médio deverá conter no mínimo cinco valores individuais, caso contrário a área de ensaio deverá ser abandonada.

### 2.4.2 Fatores que afetam a medição do esclerômetro

Existem fatores que podem influenciar os resultados obtidos no ensaio. Forigo (2017)<sup>21</sup> cita: tipo e quantidade de cimento, a natureza do agregado, maturidade e teor de umidade do concreto. Lopes (2016)<sup>20</sup> afirma que as dimensões do agregado, as condições que se encontra a superfície do ensaio, a carbonatação, a idade e tipo de

cura da peça, posição das armaduras e presença de vazios, podem afetar os resultados.

A NBR 7584:2012<sup>8</sup> ainda cita outros fatores como o tipo de formas, produtos desmoldantes e a influência da temperatura do equipamento e do concreto. As medições das superfícies não devem ser comparadas entre formas de madeiras e formas metálicas, ou outros tipos. Também o uso de produtos desmoldantes afeta as leituras do equipamento, sobretudo nas primeiras idades do concreto, até 28 dias.

Em relação à temperatura deverão ser consideradas as recomendações do fabricante. O equipamento, fabricado com componentes metálicos, está sujeito a variações dimensionais por efeito de temperatura o que pode influenciar nas leituras. Também deverá ser levada em consideração a temperatura do concreto, pois concretos a baixo de 0°C apresentam valores elevados de reflexão.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Descrição do equipamento

O equipamento utilizado foi o esclerômetro digital da marca PROCEQ, modelo Silver Schmidt Tipo N com energia de impacto padrão de 2.207 Nm (ver Figura 3). A faixa de resistência indicada pelo fabricante é de 10 a 100 MPa.

O Silver Schmidt adquire um valor Q medindo a velocidade de impacto e de rebote imediatamente antes e depois do impacto. O valor Q não precisa ser corrigido para impacto na direção horizontal. Representa o coeficiente de ressalto físico, sendo, portanto, o indicador de escolha usado como base para converter em resistência à compressão.

O método utilizado para a obtenção do valor médio Q pelo equipamento é Método ASTM, que requer no mínimo nove medições por série, sendo invalidada se mais de 20% dos valores diferirem da média em mais de 30%<sup>22</sup>



Figura 3. Esclerômetro de reflexão. Fonte: AUTORA, 2018

A resistência à compressão padrão, fornecido pelo equipamento, é determinada em espécimes padrão de teste que usualmente são cúbicos ou cilíndricos<sup>22</sup>.

O Silver Schmidt é configurado seguindo a EN 206-1, usando um cubo de 150 x 150 x 150 mm como referência padrão para fazer a conversão do valor Q médio em resistência à compressão. O valor Q é o registro do ponto máximo de ressalto do equipamento. Em regiões onde a

resistência aos 28 dias não é determinada em tais cubos padrão, este valor deve ser multiplicado por um fator de forma apropriado para que se obtenham resultados comparáveis<sup>22</sup>.

A implantação do fator de forma está de acordo com as recomendações dadas com os principais padrões: cilindro padrão, cubo padrão ou definido pelo usuário. Neste artigo foi usada a opção definida pelo usuário, na qual pode ser selecionada entre 0,8 e 1,2. A utilizada foi 0,8<sup>22</sup>.

Em todos os casos a Schmidt recomenda o desenvolvimento de uma curva de correção personalizada pelo usuário, que funciona como correlação de dados, devido aos fatores que podem alterar a leitura do equipamento citado no item 2.4.2 para a calibração do martelo do equipamento. Caso não seja possível a confecção desta correlação, seu próprio manual oferece uma curva de conversão<sup>22</sup>.

Outro fator que pode alterar a leitura do equipamento e supervalorizar a resistência em até 50% é a carbonatação<sup>20</sup>. Como as obras avaliadas possuíam pouca idade, supôs-se não haver carbonatação. Assim, o aparelho foi configurado com o valor 1,0 para avaliar a influência da mesma.

O manual do equipamento auxilia que caso exista a carbonatação na superfície de ensaio será necessário ou a remoção da camada antes do teste de impacto, ou o teste deve ser realizado antes e depois da remoção da camada utilizando o esmeril de 120 mm, isso permite que possa ser utilizada um fator de correção (Coeficiente de tempo)<sup>22</sup>.

### 3.2 Metodologia

Foram selecionadas dez obras em execução na cidade de Maringá que utilizaram concretos moldados no canteiro de obra, nas idades entre 45 e 150 dias de cura. Em cada obra foi realizado um ensaio de esclerometria em pilar para a estimativa da resistência à compressão do concreto. Os impactos com o esclerômetro foram feitos na posição de maior inércia dos pilares.

Anteriormente ao ensaio de esclerometria, realizou-se a calibração do aparelho, de acordo com a NBR 7584:2012<sup>8</sup>, através da aplicação de 10 impactos sobre a bigorna de teste de 16 kg +1, fazendo a média dos valores Q obtidos. Considera-se que o esclerômetro está em boas condições de uso, quando esta média estiver dentro das recomendações do fabricante. A mesma norma indica que a cada 300 impactos sejam feita esta verificação.

Dos valores obtidos na calibração foi calculado o coeficiente de correção por meio da Equação 2.

$$k = n \frac{Q_{nom}}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2)$$

em que, k: coeficiente de correção do índice esclero-

métrico

n: número de impactos.

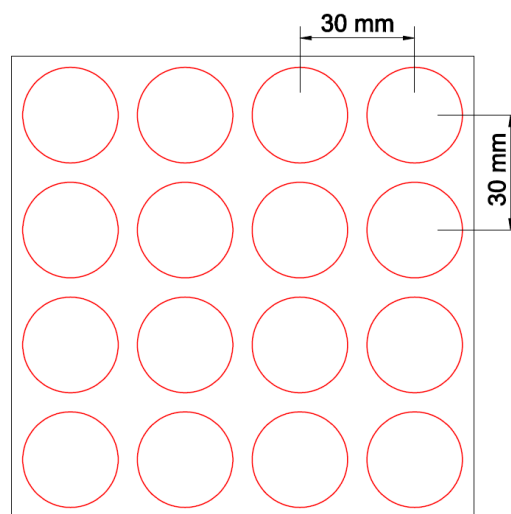
$Q_{nom}$ : índice esclerométrico nominal na bigorna de aço, fornecido pelo fabricante

$Q_i$ : índice esclerométrico obtido a cada impacto do esclerômetro na bigorna de aço

Cada leitura de ensaio foi multiplicada pelo coeficiente de correção (k). Para estes valores corrigidos, neste trabalho foi chamado de  $Q_e$  (Q efetivo).

Os procedimentos do ensaio seguiram as recomendações da norma NBR 7584:2012<sup>8</sup>, citados no item 2.4.1. De maneira simplificada, cada ensaio correspondeu em:

- Área de ensaio limpa a seco através da pedra abrasiva com textura de grão médio e dimensões suficientes para polir manualmente e remover toda poeira do local;
- O posicionamento do gabarito foi realizado com 16 pontos tendo a distância de 30 mm entre cada eixo, conforme Figura 4;
- Com o esclerômetro de reflexão na horizontal foi efetuado 16 impactos em cada área ensaiada.



**Figura 4.** Gabarito para ensaio. **Fonte:** Adaptado pelo autor com base na NBR 7584:2012<sup>8</sup>

De cada área de ensaio obtém-se um único valor (Q), correspondendo à média aritmética dos valores fornecidos pelo esclerômetro em cada impacto. Com este valor, estima-se a resistência à compressão do concreto por meio de uma curva de correlação.

Esta curva de correlação foi obtida realizando-se ensaios de esclerometria em corpos de prova cilíndricos de concreto, de dimensões 10x20 cm, com idades entre 28 e 45 dias. Após o ensaio, os corpos de prova foram rompidos a fim de obter a resistência à compressão do elemento, seguindo as prescrições da NBR 5739:2994<sup>5</sup>. Com estes dois valores, índices esclerométricos e resistência à compressão, pode-se confeccionar a curva de correlação.

Seguindo a NBR 7584:2012<sup>8</sup>, os valores de reflexão superiores ou inferiores à 10% foram descartados do cálculo de  $Q$  a fim de não comprometer estatisticamente o ensaio.

Para o estudo dos casos elaborou-se um questionário para a coleta de informações necessárias à realização do diagnóstico das resistências obtidas nos ensaios.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Na calibração do equipamento na bigorna de teste, foi obtido o valor médio ( $Q$ ) de 92, estando dentro do permitido pelo fabricante ( $91 \pm 2$ ). Desta maneira, utilizou-se o coeficiente de  $k= 1,01$  para a correção dos valores de  $Q$  nos ensaios esclerométricos.



**Figura 5.** (A) Ensaio de esclerometria em copos de prova. (B) Rompimento dos copos de prova. **Fonte:** AUTORA, 2018

Para correlacionar  $Q_e$  com a resistência à compressão do concreto, foi confeccionado uma curva obtida através de ensaios de esclerometria em corpos de prova cilíndricos, como mostra a Figura 5. Para isto, foram efetuados 14 ensaios em corpos de prova, com idade entre 28 e 45 dias. A curva com melhor correlação foi do tipo exponencial, com  $R^2=0,7551$ , como apresentado na Equação 3. Os resultados da curva de correlação foram obtidos para valores de  $Q_e$  entre 35,04 e 49,38.

$$f_{c,cor} = 0,0002.Q_e^{3,2136}$$

em que,  $f_{c,cor}$  é o valor estimado de resistência à compressão.

A Tabela 1 apresenta o valor  $Q$  de cada área ensaiada, calculado, desprezando os valores que divergiram da média em mais ou menos 10%. Os valores  $Q_e$  foram obtidos multiplicando  $Q$  por 1,01 (coeficiente de correção  $k$ ). Na mesma tabela, encontram-se os valores de

$f_{c,esc}$  (sendo a resistência à compressão fornecida pelo próprio equipamento) e  $f_{c,cor}$  (sendo a resistência à compressão obtida por meio da curva de correlação apresentada na Equação 3).

**Tabela 1.** Resistência à compressão estimada

| Local   | $Q$  | $Q_e$ | $f_{c,esc}$ (MPa) | $f_{c,cor}$ (MPa) |
|---------|------|-------|-------------------|-------------------|
| Obra 1  | 42,9 | 43,3  | 17,5              | 36,31             |
| Obra 2  | 48,9 | 50,1  | 23                | 58,02             |
| Obra 3  | 36,5 | 36,8  | 12,5              | 21,52             |
| Obra 4  | 51,1 | 51,6  | 26                | 63,79             |
| Obra 5  | 33,3 | 33,6  | 11                | 16,07             |
| Obra 6  | 24,5 | 24,7  | 7                 | 5,82              |
| Obra 7  | 33,8 | 34,1  | 11                | 16,85             |
| Obra 8  | 29,9 | 30,2  | 9,5               | 11,4              |
| Obra 9  | 35,7 | 36,1  | 12                | 20,24             |
| Obra 10 | 45,4 | 45,9  | 19,5              | 43,79             |

$Q$ : Índice esclerométrico.

$Q_e$ :  $Q$  efetivo.

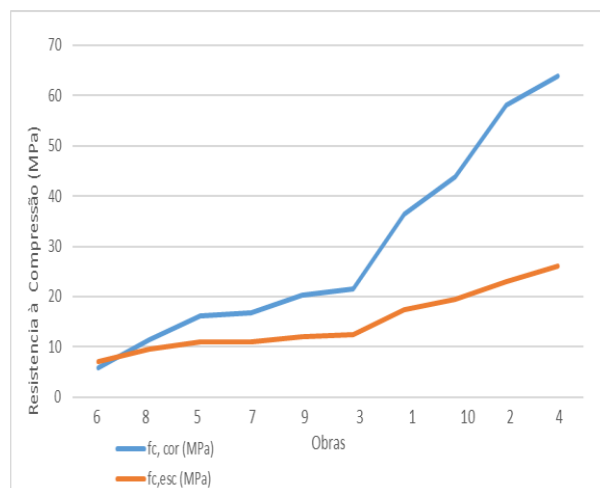
$f_{c,esc}$ : Resistência à compressão pelo esclerômetro.

$f_{c,cor}$ : Resistência à compressão estimada pela correlação.

**Fonte:** AUTORA, 2018

A curva de correlação foi elaborada com valores de  $Q_e$  entre 35,04 e 49,38, com apenas 14 amostras. Assim, os valores de  $f_{c,cor}$  apresentados na Tabela 1, cujo valor de  $Q_e$  esteja fora deste intervalo, podem não ser representativos.

Após a correção da resistência foi possível elaborar a Figura 6, para melhor compreensão dos resultados adquiridos.



**Figura 6.** Comparação entre os valores de resistência. **Fonte:** AUTORA, 2018

Tanto a NBR 7584:2012<sup>8</sup> quanto o fabricante do equipamento recomendam a elaboração da curva de cor-

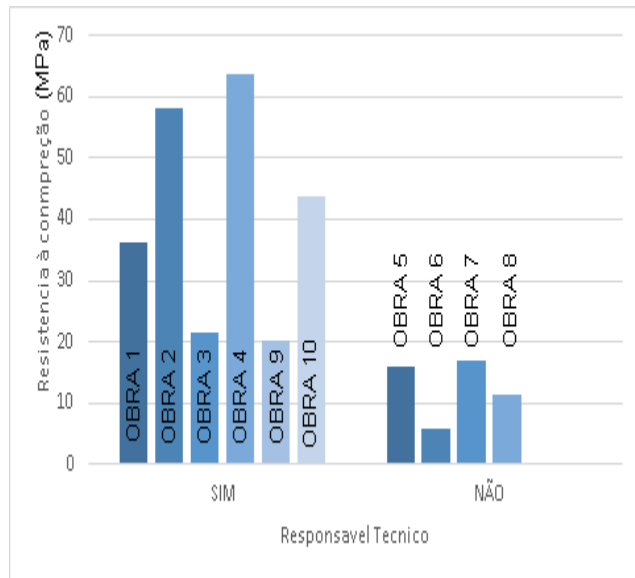
relação com agregados locais, pois a curva que está configurada no aparelho refere-se ao concreto do país de origem do esclerômetro, Suíça. Portanto, percebe-se, por análise da Figura 6, a importância de ser elaborada a curva de correlação, uma vez que as duas curvas apresentam resultados muito diferentes.

Por meio da visita ao local e questionário realizado com o executor da obra, podem-se obter informações importantes para a discussão dos resultados. No Quadro 1 estão relacionadas as informações coletadas in loco.

**Quadro 1.** Informações técnicas de cada obra analisada

| Local   | $f_{c,cor}$ (MPa) | Responsável Técnico | Área (m <sup>2</sup> ) | Obra nova | $f_{ck}$ (MPa) |
|---------|-------------------|---------------------|------------------------|-----------|----------------|
| Obra 1  | 36,31             | SIM                 | 185                    | SIM       | 20             |
| Obra 2  | 58,02             | SIM                 | 189                    | SIM       | 20             |
| Obra 3  | 21,52             | SIM                 | 194                    | SIM       | 20             |
| Obra 4  | 63,79             | SIM                 | 323                    | SIM       | 25             |
| Obra 5  | 16,07             | NÃO                 | 431                    | SIM       | 25             |
| Obra 6  | 5,82              | NÃO                 | 70                     | SIM       | 20             |
| Obra 7  | 16,85             | NÃO                 | 68                     | SIM       | 20             |
| Obra 8  | 11,4              | NÃO                 | 68                     | SIM       | 20             |
| Obra 9  | 20,24             | SIM                 | 430                    | SIM       | 25             |
| Obra 10 | 43,79             | SIM                 | 400                    | SIM       | 25             |

Fonte: Autora, 2018



**Figura 7.** Correlação entre resistência à Compressão e responsável técnico. Fonte: Autora, 2018

O valor de  $f_{c,cor}$  pode ser associado à existência de um responsável técnico credenciado em um conselho regulamentador de engenharia ou arquitetura conforme ilustrado na Figura 7. Percebe-se que, com a presença de um profissional técnico há uma tendência do concreto utilizado em obra possuir resistência mais elevada, podendo

também estar associada a um melhor controle dos processos executivos dos elementos estruturais.

Em nenhuma das obras sem responsáveis técnicos (obras 5 a 8), as resistências à compressão do concreto, estimadas através do ensaio de esclerometria, foram atingidas, quando comparadas ao  $f_{ck}$  de projeto. Isto demonstra a importância do acompanhamento de um profissional dentro do canteiro de obras.

Apesar do  $Q_e$  (apresentados na Tabela 1) das obras 6 e 8 estarem bem abaixo da faixa utilizada nos corpos de prova para a elaboração da curva de correlação, demonstra que o valor apresentado no Quadro 1 pode estar subestimado. Porém, sabe-se que o valor estaria abaixo do  $f_{ck}$  de projeto.

A Obra 9 merece atenção por corresponder a uma obra relativamente grande, comparada às outras edificações amostradas, com responsável técnico e que  $f_{c,cor}$  não atingiu a resistência característica à compressão de projeto. Analisando o  $Q_e$  nota-se estar dentro dos intervalos amostrados na curva de correlação. Desta maneira, a resistência estimada tem certo grau de confiança, indicando que existe a possibilidade da ocorrência de manifestações patológicas devido à resistência abaixo do previsto.

Avaliando as áreas das edificações amostradas, percebe-se uma tendência de se utilizar concreto com  $f_{ck}$  25 MPa em obras acima de 200 m<sup>2</sup> e 20 MPa abaixo desta área.

#### 4. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo estimar a resistência à compressão do concreto em obras que fizeram o uso de concreto fabricado in loco, e analisa-las de acordo com informações adquiridas na visita ao local. Após a conclusão do trabalho, atingiu-se o objetivo proposto.

O ensaio de esclerometria apresenta-se como uma excelente alternativa para estimativa da resistência à compressão do concreto, por se tratar de um ensaio simples e com equipamento de fácil acesso no mercado.

Entretanto, tal estimativa nem sempre corresponde ao real valor encontrado, haja vista que diversas variáveis interferem no mesmo: tipos de materiais utilizados no concreto, presença de vazios e armaduras, uso de desmoldantes, carbonatação, preparação da superfície, entre outros.

Perceberam-se, ao estimar a resistência à compressão do concreto, valores altos como os observados nas obras 2 e 4, que dificilmente seriam utilizados em obras convencionais. Tais valores podem ter sido superestimados, uma vez que o  $Q_e$  fornecidos pelo esclerômetro encontram-se fora da faixa de valores das analisadas para a elaboração da curva de correlação.

Uma análise semelhante pode ser feita para as obras 6 e 8, na qual a resistência pode ter sido subestimada. Tal fato demonstra que, além de tomar todo o cuidado de

preparação da superfície do ensaio e configuração do equipamento em uso, a curva de correlação deve ser elaborada com um grande número de amostras e com diversas faixas de valores dos índices esclerométricos. Pode-se até mesmo elaborar diferentes curvas para cada faixa de resistência à compressão encontrada.

A elaboração de curvas com alto grau de correlação entre índices esclerométricos e resistência à compressão do concreto fornece maior confiança aos resultados dos ensaios realizados.

Diante de diversas incertezas, de modo a confirmar os resultados dos ensaios esclerométricos, é sugerido que sejam realizados outros ensaios de previsão de resistência e qualidade do concreto, como a ultrassonografia e o ensaio destrutivo, com extração de testemunhos.

Da análise dos dados coletados em obra, nota-se a importância da presença de um profissional qualificado para a execução da edificação. Tal fato pode ser percebido pelas resistências à compressão estimadas em obras sem a presença responsável técnico no acompanhamento dos processos executivos terem dado abaixo do que foi estimado em projeto.

Para finalizar, é sugerido como trabalhos futuros, a realização de mais ensaios para se obter um parâmetro generalista da qualidade das obras executadas na região de Maringá. Também é sugerido que sejam confeccionadas novas curvas de correlação para diferentes faixas de valores de resistência à compressão do concreto e índices esclerométricos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Battagin AF. Uma breve história do cimento Portland. Disponível em <[http://www.abcp.org.br/basico\\_sobre\\_cimento/historia.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml)>. Acesso em: 2 maio, 2018.
- [2] Adão, F. Xavier; Hemerly, Adriano Chequetto. Concreto Armado: novo milênio, cálculo prático e econômico. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- [3] Krug LF, Habitzreiter M, Bueno BG. Estudo comparativo entre concreto usinado e concreto produzido no canteiro de obras. 2016.
- [4] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT) - ABNT NBR 5738:2003 - Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. ABNT, Rio de Janeiro 2003.
- [5] \_\_\_\_\_. NBR 5739:1994 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. ABNT, Rio de Janeiro 1994.
- [6] NBR 7680:2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. ABNT, Rio de Janeiro 2015.
- [7] NBR 16196:2013 – Ensaios não destrutivos- Ultrassom – uso da técnica de tempo de percurso da onda difratada (ToFD) para ensaio em solda. ABNT, Rio de Janeiro 2013.
- [8] \_\_\_\_\_. NBR 7584:2012 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. ABNT, Rio de Janeiro 2012.
- [9] Pinheiro LM, Muzardo CD, Santos SP. Características do Concreto. In: PINHEIRO, Libânio M.. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007. Cap. 2.
- [10] Helene P, Terzian PR. Manual e dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI, 1993.
- [11] NBR 12655:2006 – Concreto de cimento Portland- Preparo, controle e recebimento – Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro 2006.
- [12] Mehta PK, Monteiro PJM. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- [13] Valverde FM. Agregados para construção civil. 2001.
- [14] Quitete EB. Reação álcali-agregado: Histórico e normatização. 2015.
- [15] Construfacilr: Cura do concreto: o que é e como fazer. Disponível em: <https://formatacaoabnt.blogspot.com/2011/10/referencias.html>. Acesso em: 20 Jul. 2018.
- [16] Iserhard JLR De F. Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar. 2000. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- [17] Laguna LA, Ikematsu P. A influência da temperatura na desforma do concreto. Revista Técnica. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/>>. Acesso em: 30 abril. 2018.
- [18] Neville AM. Propriedades do Concreto. Trad. Savador E. Giamusso. 1ª Ed. Pini, São Paulo, 1997.
- [19] Fortes RM. Proposta para implementação da qualidade total em laboratórios de ensaio para controle tecnológico. In: 29ª Reunião do Asfalto, 1996. Anais... Mar de Prata, Argentina, 1996.
- [20] Lopes YD. Estimativa da resistência do concreto à compressão por meio de ensaios não destrutivos: estudos de caso. 2016. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.
- [21] Forigo C. Determinação da resistência à compressão em concretos expostos a altas temperaturas por meio de ensaios não destrutivos. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.
- [22] Manual Schmidt. Instruções de operação- SilverSchmidt & Hammerlink – 2016. Suíça, 2016.
- [23] Pinheiro LM, Muzardo CD, Santos SP. Características do Concreto. In: PINHEIRO, Libânio M.. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007. Cap. 2.
- [24] Concreto Material Mais Utilizado No Mundo. Revista Concreto e Construções, São Paulo, v. 53, 2009.
- [25] Evangelista ACJ. Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: [http://wwww.coc.ufrj.br/teses/doutorado/estruturas/2002/tese\\_s\\_](http://wwww.coc.ufrj.br/teses/doutorado/estruturas/2002/tese_s_). Acesso em: 28 ago. 2016.
- [26] Ferreira RM. Avaliação de ensaios de durabilidade do betão. Dissertação apresentada, Escola de Engenharia do Minho, grau de mestre em engenharia, editora Guimarães setembro de 2000.
- [27] Zanardo MB. Desenvolvimento de curva de calibração do ensaio de esclerometria para o concreto utilizado por uma construtora de Passo Fundo - RS. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 01, n. 10, 2015. ISSN 2179-5568, texto digital. Acesso em 15/06/2018. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n-10-2015>