

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

GABRIEL MOREIRA GALVÃO

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO ENSAIO ESCLEROMÉTRICO  
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Paracatu

2019

GABRIEL MOREIRA GALVÃO

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO ENSAIO ESCLEROMÉTRICO EM ESTRUTURAS  
DE CONCRETO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Matheus Dias Ruas.

Paracatu

2019

G182e Galvão, Gabriel Moreira.

**Estudo da aplicação do ensaio esclerométrico em estruturas de concreto.** / Gabriel Moreira Galvão. –

Paracatu: [s.n.], 2019.

30 f. il.

Orientador: Prof. Msc. Matheus Dias Ruas.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) Uni Atenas.

1. Ensaaios não destrutivos. 2. Esclerometria. 3. Resistência à compressão. I. Galvão, Gabriel Moreira. II. UniAtenas. III. Título.

CDU: 62

GABRIEL MOREIRA GALVÃO

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO ENSAIO ESCLEROMÉTRICO EM ESTRUTURAS  
DE CONCRETO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Matheus Dias Ruas.

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

Prof. Matheus Dias Ruas  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Carlos Eduardo Ribeiro Chula  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo  
Centro Universitário Atenas

Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar.

(WILLIAM SHAKESPEARE)

## RESUMO

Técnicas não destrutivas de ensaio estão sendo cada vez mais utilizadas na estimativa da resistência à compressão do concreto, principalmente pelo motivo de que essas modalidades de ensaio não ocasionam danos significativos aos elementos ensaiados. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo abordar utilização do método esclerométrico de ensaio, técnica que pode estimar a resistência à compressão do concreto através da sua dureza superficial, utilizando-se de correlações específicas. Esse trabalho se baseia em literaturas que discorrem sobre o assunto, comparando dados das mesmas para estimar a confiabilidade do método esclerométrico. Por fim, chega-se à conclusão do estudo, onde nota-se que para o uso do ensaio esclerométrico como método avaliativo da resistência à compressão do concreto, é necessária uma especial atenção a todos os fatores que podem influenciar os resultados do ensaio, caso contrário, a esclerometria não pode ser considerada como um método confiável, devendo-se recorrer a outras metodologias de ensaio.

**Palavras-chave:** Ensaio não destrutivo. Esclerometria. Resistência à compressão.

## **ABSTRACT**

*Nondestructive testing techniques are increasingly being used to estimate the compressive strength of concrete, mainly because these testing modalities don't cause significant damage to the tested elements. Therefore, the present work aims to approach the use of the sclerometric test method, a technique that can estimate the compressive strength of concrete through its surface hardness, using specific correlations. This work is based on literature that discusses the subject, comparing data to estimate the reliability of the sclerometric method. Finally, we conclude that, for the use of the sclerometric test as an evaluation method of concrete compressive strength, special attention is required to all factors that may influence the test results, otherwise, sclerometry cannot be considered as a reliable method and other test methodologies should be used.*

**Keywords:** *Nondestructive testing. Sclerometry. Compressive strength.*

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - Esquema de funcionamento do esclerômetro.	18
<b>FIGURA 2</b> - Bigorna de aço.	21
<b>FIGURA 3</b> - Representação de uma área de ensaio.	23
<b>FIGURA 4</b> - Recomendação de locais de aplicação do esclerômetro.	24



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ACI	<i>American concrete institution</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BSI	<i>British Standards Institution</i>
END	Ensaio não destrutivo
NBR	Norma Brasileira

## LISTA DE SÍMBOLOS

$K$	Coeficiente de correção do índice esclerométrico
$n$	Quantidade de impactos na bigorna
$I_{Enom}$	Índice esclerométrico nominal do esclerômetro na bigorna
$I_{Ei}$	Índice esclerométrico auferido em cada impacto do aparelho na bigorna
$I_{\epsilon\alpha}$	Índice esclerométrico médio efetivo
$I_{\epsilon}$	Índice esclerométrico médio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	10
<b>1.1 PROBLEMA DE PESQUISA</b>	10
<b>1.2 HIPÓTESES</b>	11
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	11
<b>1.3.1 OBJETIVO GERAL</b>	11
<b>1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	11
<b>1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO</b>	11
<b>1.5 METODOLOGIA</b>	12
<b>1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO</b>	12
<b>2 ESTRUTURAS DE CONCRETO E OS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS</b>	14
<b>2.1 O CONCRETO E SUA RESISTÊNCIA</b>	14
<b>2.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SUAS GENERALIDADES</b>	14
<b>3 ESCLEROMETRIA COMO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO</b>	17
<b>3.1 DUREZA SUPERFICIAL E O ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO</b>	17
<b>3.2 VANTAGENS E LIMITAÇÕES</b>	18
<b>3.3 FATORES QUE INFLUENCIAM OS RESULTADOS</b>	19
<b>3.4 PRESCRIÇÕES DO ENSAIO</b>	20
<b>3.4.1 AFERIÇÃO DO ESCLERÔMETRO</b>	20
<b>3.4.2 ÁREA DE ENSAIO</b>	22
<b>3.4.3 IMPACTOS</b>	23
<b>3.4.4 ESBELTEZ DOS COMPONENTES DE CONCRETO</b>	23
<b>3.4.5 OBTENÇÃO DOS RESULTADOS</b>	24
<b>4 COMPARAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS</b>	26
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	28
<b>REFERÊNCIAS</b>	29

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais amplamente utilizado na construção civil (CÂMARA, 2006), e por essa razão, percebe-se a importância do avanço tecnológico em métodos que avaliem a qualidade e resistência das estruturas feitas com este material.

De acordo com Samaniego (2014), a falta de controle na execução de obras, aliada a técnicas de construção que estão ficando gradativamente mais aceleradas, ressalta a indispensabilidade de melhorias e adoção de métodos para a determinação da resistência do concreto *in loco*. Conseguir estimar este parâmetro sem a exigência de retirar testemunhos dos elementos estruturais é muito importante, pois, dependendo do diâmetro do testemunho extraído, danos consideráveis podem ser causados à estrutura (PALACIOS, 2012).

Nessa perspectiva, os Ensaio Não Destrutivos (END's) se apresentam como uma boa opção na verificação de qualidade de estruturas. No caso deste trabalho, em especial, foi escolhido como objeto de estudo o método de ensaio esclerométrico, técnica que verifica a dureza superficial do concreto mediante o esclerômetro de reflexão de Schmidt, inventado em 1948 pelo engenheiro suíço Ernest Schmidt (MACHADO, 2005).

O método esclerométrico juntamente com outros modelos de END's, todavia, ainda são questionados sobre sua confiabilidade, em razão da variabilidade dos dados encontrados. Essa variabilidade é proveniente da considerável quantidade de aspectos que podem influenciar no resultado final do ensaio (FIGUEIREDO, 2018). Isto posto, a esclerometria expõe-se como um recurso confiável na obtenção de informações sobre o concreto?

Este trabalho objetiva analisar a técnica de ensaio por esclerometria como método estimativo da resistência do concreto, através da verificação de informações em bibliografias já publicadas, por alguns dos principais autores envolvidos no assunto.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O ensaio esclerométrico, método de ensaio não destrutivo que pode qualificar a dureza superficial do concreto para futura correlação com sua resistência

à compressão, caracteriza-se como uma técnica realmente confiável para tal finalidade?

## **1.2 HIPÓTESES**

Parte-se da hipótese de que a técnica esclerométrica de ensaio não seja um recurso de alta confiabilidade na estimativa de resistência do concreto, pois há uma considerável quantidade de fatores que podem influenciar no resultado final do mesmo.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo desse trabalho é identificar a utilização do ensaio não destrutivo de esclerometria como método avaliativo da resistência do concreto armado.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Abordar sobre os ensaios não destrutivos e suas generalidades;
- b) Abordar sobre as vantagens e limitações do método esclerométrico de ensaio, e fatores que podem influenciar nos resultados dos ensaios;
- c) Comparar as resistências obtidas em rupturas de corpos de prova de concreto e as obtidas em ensaios esclerométricos, utilizando dados das bibliografias encontradas.

## **1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO**

Atualmente, a verificação da resistência à compressão do concreto em estruturas finalizadas é motivo de interesse de muitos estudiosos, pois há a necessidade de se avaliar as estruturas e também, fazer uma previsão de suas vidas úteis (CASTRO, 2009). Sendo assim, é necessária a realização de ensaios para esse tipo de investigação. Entre as modalidades de ensaio, destacam-se as destrutivas e não destrutivas.

Tradicionalmente, para averiguação da qualidade de construções de concreto, são realizadas inspeções visuais e também, através de ensaios destrutivos por amostragem do concreto, para a realização testes padrões em amostras frescas e endurecidas. Entretanto, esse tipo de análise não oferece dados sobre as propriedades do concreto *in loco* (ACI 228.2R, 1998).

Diante disso, de acordo com Câmara (2006), os ensaios não destrutivos são vantajosos no que se refere a custos, velocidade de execução e ao fato de que não ocorrem danos à estrutura, em comparação com os ensaios em que necessitam da retirada de testemunhos com destino a posterior análise.

Neste trabalho, será estudado o método de ensaio não destrutivo por esclerometria, através do esclerômetro Schmidt, aparelho que apresenta rapidez e um custo comparativamente mais barato na estimativa da resistência do concreto e na análise da uniformidade do mesmo (CÂMARA, 2006). Esse método de ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7584:2012 e ASTM C805:2018, no Brasil e nos EUA, respectivamente.

## **1.5 METODOLOGIA**

O método de pesquisa utilizado na presente monografia foi o método indutivo (GIL, 2010), onde a mesma irá ser baseada em pesquisas em artigos científicos, dissertações e teses de livre acesso disponíveis em plataformas como a Scielo e Google Acadêmico, que tratam da situação dos ensaios não destrutivos, de modo mais particular sobre o método esclerométrico.

Este trabalho caracteriza-se como descritivo explicativo, em virtude de fazer um levantamento de referências já publicadas seguindo a mesma temática, explicando seus termos e etapas conforme o desenvolvimento do assunto.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No primeiro capítulo encontra-se a introdução do tema, em conjunto com o problema de pesquisa, a hipótese do estudo, objetivo geral e objetivos específicos, a justificativa, a metodologia utilizada e a organização da estrutura da monografia.

No segundo capítulo foram apresentadas características gerais dos ensaios não destrutivos.

No terceiro capítulo foi evidenciada a técnica de esclerometria, abordando sua metodologia e aspectos específicos do método.

No quarto capítulo, foram feitas comparações de resistências à compressão encontradas em ensaios esclerométricos e em ensaios de compressão axial, através de dados coletados nas bibliografias estudadas, para análise de suas variações.

No quinto capítulo foram feitas as considerações finais envolvendo o tema estudado, apresentando os resultados obtidos.

## **2 ESTRUTURAS DE CONCRETO E OS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**

### **2.1 O CONCRETO E SUA RESISTÊNCIA**

O concreto é um material formado essencialmente pela mistura de água, agregado miúdo, agregado graúdo, aglomerante (usualmente cimento Portland) e eventual aplicação de aditivos (SAMANIEGO, 2014). De acordo com Palacios (2012), esse elemento é extremamente utilizado no âmbito da construção civil devido a diversos fatores, entre eles, sua boa durabilidade, custo-benefício e resistência.

Entre os itens citados anteriormente, a resistência pode ser considerada uma das propriedades mais importantes do concreto. Filho e Helene (2011), ressaltam que é comum que os projetistas, no desenvolvimento de projetos estruturais de construções civis, utilizem essa característica do concreto para estimar outras importantes propriedades do mesmo, como a resistência ao cisalhamento, resistência à tração e o módulo de elasticidade.

De acordo com Samaniego (2014), a resistência à compressão do concreto pode ser definida como a tensão necessária para que ocorra uma fratura considerável, causando assim, a desagregação do concreto. Logo, pode-se dizer que é a carga máxima que pode ser empregada, o estado limite último de resistência do concreto.

Conforme cita Badimuená (2017), a resistência do concreto é influenciada principalmente por aspectos como a composição da mistura, das condições ambientais e de cura, durante seu endurecimento. Sendo assim, todo o processo, desde a seleção dos materiais, do traço a ser utilizado, e as condições a que o material será submetido até sua cura, serão determinantes na resistência final do concreto.

### **2.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SUAS GENERALIDADES**

Ensaio não destrutivo são, como o próprio nome sugere, as modalidades de ensaio em que ocorrem pouco ou nenhum dano ao elemento ensaiado. Esses métodos, usualmente aplicados *in loco*, são usados para determinar propriedades do concreto no estado endurecido e avaliar suas condições em fundações profundas, pontes, edifícios, pavimentos, barragens e outras construções de concreto (ACI 228.2R, 1998).



Algumas propriedades do concreto, como a resistência, módulo de elasticidade e massa específica, podem ser investigadas mediante modalidades de ensaios não destrutivos. Também podem ser avaliadas a permeabilidade, absorção, condições de umidade e dureza superficial (EVANGELISTA, 2002).

O estudo dos métodos não destrutivos evoluiu consideravelmente nas décadas de 70 e 80, quando variadas técnicas de ensaios foram desenvolvidas com o intuito de melhor descrever, *in loco*, as características do concreto. Esse fato decorreu diante da necessidade de uma melhoria no processo de caracterização do concreto, dado que os ensaios em corpos de prova refletem somente sua resistência potencial, em condições divergentes do concreto já situado na estrutura (CASTRO, 2009).

Segundo a BS1881: Part201(1986), os END's são úteis em diversas finalidades, entre elas podem ser citadas:

- Controlar a qualidade de peças pré-moldadas ou construções *in loco*;
- Localizar e determinar extensão de fissuras, vazios e outros problemas provenientes da concretagem;
- Determinar a uniformidade do concreto;
- Aumentar a confiabilidade de alguns ensaios destrutivos, quando usados em conjunto com os mesmos;
- Verificar o estado em que se encontram as armaduras, assim como sua posição ou diâmetro;
- Investigar suspeitas de deterioração do concreto, resultante de fatores como sobrecarga, fogo, fadiga e efeitos ambientais;
- Avaliar a durabilidade potencial do concreto;
- Proporcionar informações para verificação da possibilidade de mudar o tipo de utilização de uma estrutura;
- Monitorar mudanças nas propriedades de concreto no decorrer do tempo;
- Verificar a qualidade de materiais fornecidos, visando a aceitação ou recusa dos mesmos.

Os END's não se limitam a analisar estruturas de idades predeterminadas. Segundo Câmara (2006), esses tipos de ensaios podem ser aplicados tanto em estruturas novas, na verificação da qualidade do concreto ou monitoramento do

aumento de resistência do mesmo, quanto nas antigas, permitindo avaliar a integridade e capacidade de resistência aos esforços.

A resistência à compressão, no caso dos ensaios não destrutivos, não é estimada de forma direta. De acordo com Badimuena (2017), primeiramente são calculadas outras propriedades do concreto, para que posteriormente sejam relacionadas com a resistência à compressão, através de correlações específicas.

### 3 ESCLEROMETRIA COMO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

#### 3.1 DUREZA SUPERFICIAL E O ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO

A dureza superficial, característica de um material que o permite resistir a deformações permanentes locais, é uma importante propriedade mecânica a ser observada (PALACIOS, 2012). Segundo Badimuená (2017), entre as técnicas de avaliação dessa propriedade, a mais aceita e utilizada mundialmente é o princípio do ricochete, ou esclerometria, tendo como principal aparelho que utiliza essa técnica, o esclerômetro de reflexão de Schmidt.

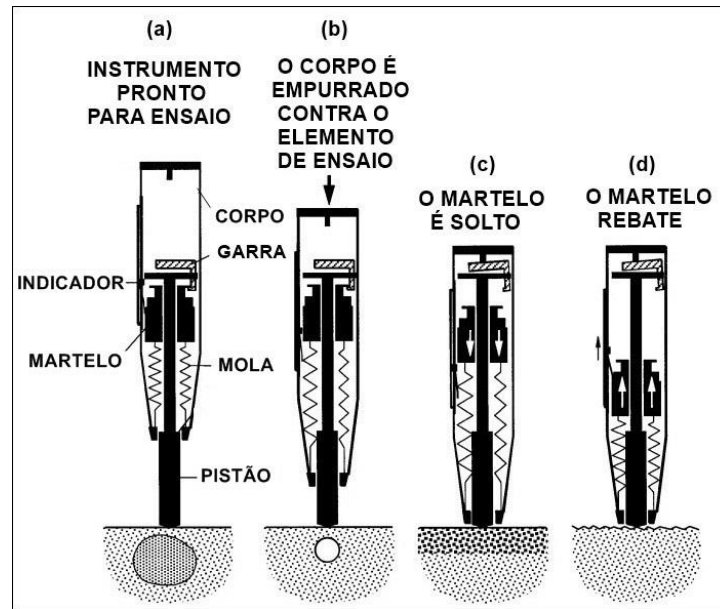
No ano de 1948, o engenheiro suíço Ernest Schmidt, desenvolveu um aparelho para medir a dureza superficial do concreto, chamado esclerômetro de reflexão (MACHADO, 2005). De acordo com a ABNT NBR 7584 (2012), o aparelho deve ser escolhido, de acordo com as características do elemento estrutural ou nível de precisão pretendida, entre 4 tipos de esclerômetros com energias de percussão diferentes, que são os de 30 N·m (mais indicados para obras com amplos volumes de concreto), de 2,25 N·m (indicado para casos comuns de construção de elementos estruturais e edifícios), de 0,90 N·m (recomendados para concretos com baixa resistência) e de 0,75 N·m (mais adequados para elementos de concreto com pequenas dimensões e vulneráveis aos golpes).

A técnica de avaliação da dureza superficial através do esclerômetro de reflexão resume-se em submeter a superfície do concreto a impactos, utilizando uma massa com uma determinada energia, medindo assim o valor do ricochete, ou seja, o índice esclerométrico (EVANGELISTA, 2002). O índice esclerométrico pode ser usado para estimar a resistência a compressão.

O equipamento, conforme mostrado na Figura 1, é formado pelos seguintes componentes principais: um corpo principal, uma mola, um pistão e um martelo. Para a realização do ensaio, o pistão é movimentado na direção superfície do concreto. Nessa situação, um dispositivo trava o martelo na parte superior do pistão até que, devido a movimentação do corpo do aparelho na direção da superfície do concreto, chega-se ao ponto limite onde ocorre o destravamento e a mola puxa o martelo na direção da superfície de ensaio, gerando uma energia utilizada, parte na deformação permanente local, sofrida pela superfície do concreto e outra parte, na reflexão

elástica, ocasionando o ricochete do martelo. A distância do ricochete (índice esclerométrico) é registrada pelo indicador. (ACI 228.1R, 2003).

**FIGURA 1** - Esquema de funcionamento do esclerômetro.



**Fonte:** Adaptado de ACI 228.1R (2003).

A distância do ricochete vincula-se a energia cinética presente no martelo antes do impacto com o pistão, e da parcela de energia absorvida pelo concreto no impacto. Essa energia absorvida deriva da relação tensão-deformação do concreto ensaiado, ou seja, tem relação direta com a rigidez do mesmo (ACI 228.1R, 2003). Desta forma, um concreto de menor resistência apresentará um ricochete menor.

### 3.2 VANTAGENS E LIMITAÇÕES

Como vantagens, podem ser citadas o baixo custo do aparelho, facilidade de operação, rapidez na obtenção dos dados e o fato de que este é um método que causa nenhum ou quase nenhum dano à superfície de ensaio. Em concretos novos ou de baixa resistência, pequenas marcas podem ocorrer na superfície ensaiada (CÂMARA, 2006).

Segundo a ABNT NBR 7584 (2012), com a aplicação desse método, pode-se avaliar a uniformidade superficial do concreto, como também, ser feita uma estimativa da resistência do concreto, quando houver uma correlação confiável,

elaborada com a utilização de materiais locais. Em se tratando de peças pré-moldadas, pode-se usar esse ensaio para controle de qualidade, onde as peças devem manter um padrão predeterminado.

Uma das desvantagens desse método, de acordo com Badimuen (2017), é a sua sensibilidade às condições da superfície onde será executado o teste. Caso o pistão se apoie em uma região próxima a um agregado rígido (FIGURA 1 (a)), o índice esclerométrico será majorado, não correspondendo com as condições reais. Da mesma maneira, caso o pistão se apoie em uma região oca (FIGURA 1 (b)), o índice esclerométrico será minorado.

### **3.3 FATORES QUE INFLUENCIAM OS RESULTADOS**

O método de ensaio por esclerometria é sensível a vários fatores que podem interferir nos seus resultados finais, e a ABNT NBR 7584 (2012) descreve esses aspectos. São eles:

- Tipo de cimento;
- Tipo de agregado, visto que distintos tipos de agregados são capazes de produzir concretos de qualidade equivalentes, mas com índices esclerométricos desiguais;
- Tipo de superfície, pois elas devem estar naturalmente secas, limpas, e de preferência, também devem estar planas, pois superfícies desniveladas, curvas e ásperas podem oferecer resultados heterogêneos, sendo assim, é preferencial que sejam evitadas;
- Umidade da superfície, dado que isso pode ocasionar uma subestimação da capacidade do concreto;
- Carbonatação do concreto, uma vez que ela pode ser significativa, provocando uma superestimação da resistência. Portanto, coeficientes corretivos precisam ser aplicados, objetivando reduzir o efeito da carbonatação;
- Idade do concreto, pois a dureza superficial do concreto pode ser adulterada, em comparação com a dureza atingida em suas circunstâncias normais (28 dias), em virtude de aspectos como a carbonatação, tempo de cura, entre outros. Dessa forma, para concretos com idades que

ultrapassem os 60 dias, ou para os que ainda não atingiram os 14 dias, as correlações não são instantaneamente adequadas. Para cada concreto analisado, devem ser ponderados fatores específicos, aplicando-se correções quando necessário;

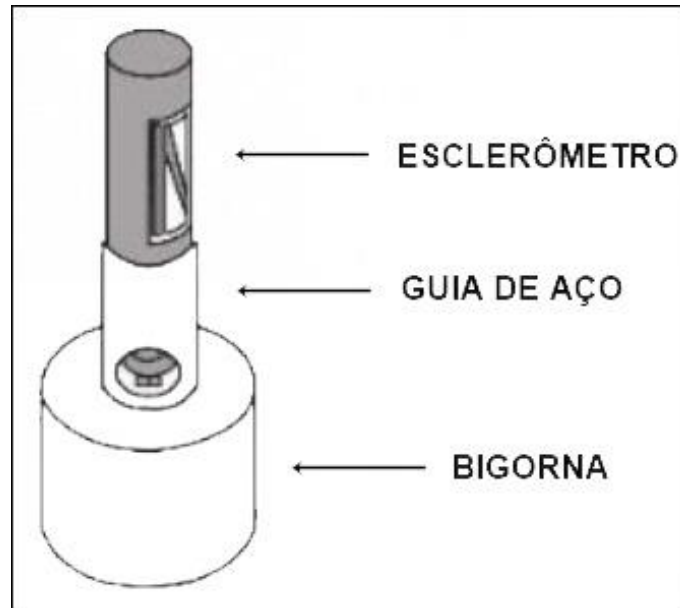
- Manuseio do aparelho, pois é necessária a qualificação o operador do esclerômetro, devendo aplicar durante o ensaio, pressões uniformes sobre a superfície do concreto;
- Outros fatores, como a dosagem, massa específica e o estado de tensão do concreto, superfícies calcinadas devido a incêndio, proximidade entre uma imperfeição no concreto e a superfície de ensaio, esbeltez da peça estrutural ensaiada, temperatura do concreto e do aparelho, entre outros.

### **3.4 PRESCRIÇÕES DO ENSAIO**

#### **3.4.1 AFERIÇÃO DO ESCLERÔMETRO**

A ABNT NBR 7584 (2012) estabelece que o esclerômetro deve ser verificado a cada 300 impactos efetuados em uma mesma inspeção ou antes de seu uso, cumprindo os seguintes requisitos:

- Fazer uso de uma específica bigorna de aço, com massa de aproximadamente 16 kg (FIGURA 2), provida de uma guia de aço, superposta em base plana e rígida. A superfície de impacto deve oferecer dureza Brinell (método de avaliação de dureza, usado principalmente em metais) de 5000 MPa, e índices esclerométricos de grandeza 80;

**FIGURA 2** - Bigorna de aço.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7584 (2012).

- Realizar pelo menos 10 impactos na superfície da bigorna, a cada averiguação. Caso esses impactos apresentem índices esclerométricos médios abaixo de 75, o esclerômetro não está apto para uso, sendo assim, necessário a regulação do aparelho;
- Deve-se analisar os 10 impactos realizados e verificar se há algum índice esclerométrico, de forma individual, que divirja do índice esclerométrico médio em 3 unidades ou mais, para mais ou para menos. Caso isso aconteça, o esclerômetro não está apto para uso, sendo assim, necessário a regulação do aparelho;

Para cada utilização, deve ser aplicado um coeficiente de correção específico. Segundo a ABNT NBR 7584 (2012), o coeficiente de correção do índice esclerométrico é calculado pela Equação 1, logo abaixo.

$$k = \frac{n \cdot I_{Enom}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}} \quad (1)$$

Na equação acima, o (K) representa o coeficiente de correção do índice esclerométrico, (n) representa a quantidade de impactos na bigorna, (IEnom)

simboliza o índice esclerométrico nominal do esclerômetro na bigorna, disponibilizado pela fabricante, e o (IEi) é o índice esclerométrico auferido em cada impacto do aparelho na bigorna (ABNT NBR 7584, 2012).

### 3.4.2 ÁREA DE ENSAIO

A ABNT NBR 7584 (2012) define condições de preparação da área a de ensaio. A área a ser ensaiada deve:

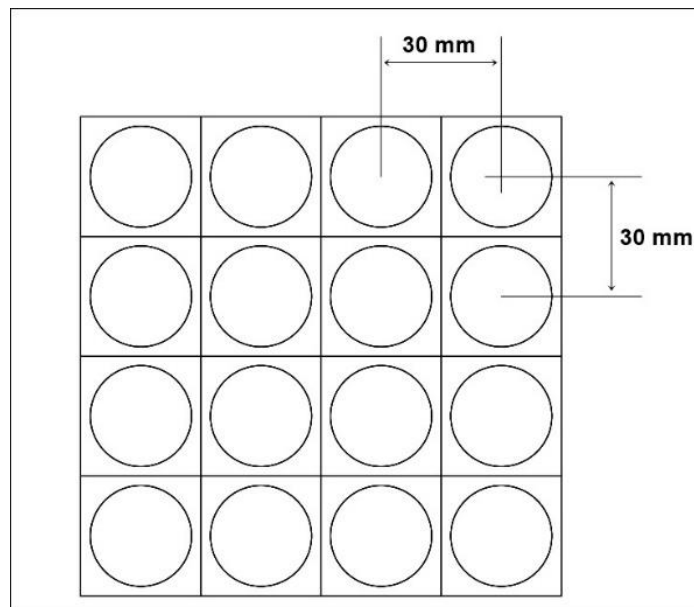
- Estar situada, de preferência, nas superfícies verticais dos elementos de concreto;
- Ser polida com disco de carborundum (composto sintético usado como abrasivo), por meio de movimentos circulares. Devem ser retirados a seco todo pó superficial e poeira presentes na área;
- Estar distante de pontos afetados por exsudação, segregação, concentração acentuada de armadura, cantos, juntas de concretagem, etc. Conseqüentemente, é aconselhável que em pilares sejam evitados bases e topos, e no caso de vigas, zonas contíguas aos apoios;
- Estar afastada em pelo menos 5 cm de distância dos cantos e arestas das peças estruturais;
- Estar contida entre áreas de 80 cm<sup>2</sup> (em torno de 9 cm · 9 cm) e 400 cm<sup>2</sup> (20 cm · 20 cm);
- Estar distribuída de maneira uniforme pela extensão da estrutura examinada. Quanto mais heterogêneo for o concreto, mais áreas de ensaio devem ser analisadas. É aconselhável a análise de no mínimo uma área de ensaio no componente de concreto incluso na zona de estudo. Elementos estruturais que apresentam amplos volumes de concreto precisam ser analisados com no mínimo duas áreas de ensaio, posicionadas, aconselhavelmente, em superfícies opostas. Caso demonstrem heterogeneidade, necessita-se a investigação de mais áreas de ensaio.



### 3.4.3 IMPACTOS

Devem ser realizados 16 impactos nas áreas de ensaio, não sendo tolerado mais de 1 impacto em um mesmo ponto, e caso isso ocorra, apenas o valor da primeira leitura deve ser considerado nos cálculos finais. Deve-se aplicar os impactos de maneira uniforme e bem distribuída na área de ensaio, portanto, é aconselhável que se faça o desenho de um reticulado e que se aplique o esclerômetro nas áreas estringidas pelo mesmo, como ilustrado na Figura 3. A distância entre dois pontos de aplicação de impacto, deve ser de no mínimo, 30 mm (ABNT NBR 7584, 2012).

**FIGURA 3** - Representação de uma área de ensaio.



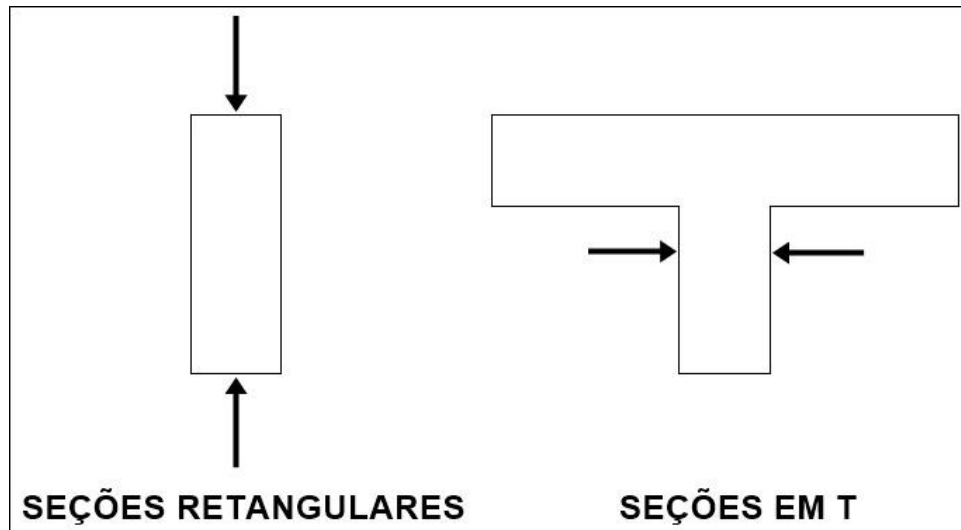
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7584 (2012).

### 3.4.4 ESBELTEZ DOS COMPONENTES DE CONCRETO

A ABNT NBR 7584 (2012) adverte que elementos de concreto que apresentem espessura menor que 100 mm na direção do choque entre o aparelho e a superfície, pelo motivo de não possuírem rigidez suficiente, devem ser evitados, excetuando as situações em que se tomem precauções, como exemplo, o posicionamento de um apoio na face oposta à superfície de ensaio, garantindo a estabilidade do elemento. É recomendável que o ensaio sempre seja executado na

posição onde o elemento estrutural apresente sua mais alta inércia, como ilustrado na Figura 4.

**FIGURA 4** - Recomendação de locais de aplicação do esclerômetro.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7584 (2012).

### 3.4.5 OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

A ABNT NBR 7584 (2012) especifica que, quando em posse dos valores dos 16 índices esclerométricos obtidos em cada impacto numa mesma área de ensaio, a média aritmética dos mesmos deve ser calculada. Feito isso, deve-se observar se há valores, entre os 16 índices esclerométricos, que diferem em mais de 10% do resultado da média calculada, para mais ou para menos, e caso isso ocorra, esses devem ser retirados e uma nova média aritmética deve ser calculada com os valores restantes.

Segundo a ABNT NBR 7584 (2012), o índice esclerométrico médio, em seu resultado final, deve ser calculado com pelo menos cinco valores, e caso isso não aconteça, o ensaio realizado na área em questão deve ser desprezado. O índice esclerométrico médio efetivo correspondente a uma área de ensaio, deve ser obtido pela equação representada na Equação 2.

$$I_{E\alpha} = k \cdot I_E \quad (2)$$

Na equação anterior, o  $(I\epsilon\alpha)$  representa o índice esclerométrico médio efetivo, o  $(K)$  representa o coeficiente de correção do índice esclerométrico, e o  $(I\epsilon)$ , o índice esclerométrico médio (ABNT NBR 7584, 2012).

#### 4 COMPARAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para comparação entre resistências obtidas em ensaios de compressão axial e resistências estimadas por ensaios esclerométricos, por meio de correlações obtidas através de regressão (técnica que resulta em uma equação que descreve a relação entre duas variáveis), foram utilizados dados de ensaios de três autores: Machado (2005), Câmara (2006) e Castro (2009). Foram usadas 3 séries de amostras de cada autor. Na Tabela 1 logo abaixo, as letras A, B e C, que representam os corpos de prova da autora Castro (2009), são amostras de concreto com resistências características de 25,30 MPa, de 22,05 MPa e 19 MPa, respectivamente. As letras D, E e F representam corpos de prova do autor Machado (2005), e são amostras com resistências características de 30 MPa. As letras G, H e I representam corpos de prova do autor Câmara (2006), com resistências características entre 20 MPa e 30 MPa.

**TABELA 1** - Comparação de resistências e suas variações.

Resistência (MPa)	Estimada por esclerometria			À compressão axial			Variação (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
CASTRO	11,00	15,00	15,00	29,30	38,70	39,90	-62,46	-61,24	-62,41
	12,00	15,00	17,00	38,50	40,50	39,10	-68,83	-62,96	-56,52
	13,00	16,00	18,00	42,10	35,70	38,30	-69,12	-55,18	-53,00
	14,00	12,00	17,00	38,10	34,00	35,90	-63,25	-64,71	-52,65
	D	E	F	D	E	F	D	E	F
MACHADO	18,70	29,10	23,60	20,10	27,80	26,30	-6,97	4,68	-10,27
	27,20	31,00	27,20	25,40	29,20	31,20	7,09	6,16	-12,82
	31,00	33,00	35,10	28,40	31,00	32,70	9,15	6,45	7,34
	33,00	35,10	37,20	30,90	32,90	36,00	6,80	6,69	3,33
	G	H	I	G	H	I	G	H	I
CÂMARA	26,70	39,00	19,10	22,70	34,00	17,00	17,62	14,71	12,35

Fonte: (CÂMARA, 2006; CASTRO, 2009; MACHADO, 2005).

Percebe-se que há uma considerável variação na comparação dos resultados dos ensaios realizados por Castro (2009), visto que os valores de resistência encontrados nos corpos de prova através do método esclerométrico se mostraram muito inferiores aos encontrados no método de compressão axial. Segundo a própria autora, a menor resistência obtida nos ensaios esclerométricos

pode ter ocorrido devido a quantia de argamassa ao redor dos corpos de prova (CASTRO, 2009).

Os valores resultantes das comparações das resistências obtidas que mais se aproximaram foram os de Machado (2005), apresentando uma pequena variação entre os resultados. A comparação entre os resultados obtidos nos dados do autor Câmara (2006) apresentou certa proximidade, mas é importante salientar que entre os dados desse autor, todas as resistências estimadas por esclerometria se mostraram maiores do que as obtidas por ensaio de compressão axial.

Sendo assim, através da análise dos dados apresentados, é possível observar que devido à grande discrepância no valor de algumas resistências obtidas, o ensaio esclerométrico não apresenta alta confiabilidade na estimativa da resistência à compressão do concreto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da utilização de métodos de ensaio não destrutivos na avaliação de estruturas, devido a suas vantagens em relação aos métodos tradicionais, constatou-se a importância do estudo de técnicas não destrutivas, escolhida em especial nesta pesquisa, o modelo esclerométrico, a técnica mais comum nessa modalidade de ensaio.

Diante disso, essa pesquisa teve como objetivo identificar a esclerometria como técnica avaliativa da resistência do concreto, e conseguiu-se caracterizá-la, identificando suas vantagens, desvantagens e as generalidades que circundam o tema.

O método esclerométrico, assim como outras técnicas não destrutivas de ensaio, ainda é visto com olhares de incerteza por muitos. Portanto, o presente trabalho teve como problema central a investigação da confiabilidade da esclerometria.

A hipótese da pesquisa partiu do ponto de vista de que o método esclerométrico não poderia ser considerado um ensaio de alta confiabilidade para avaliação do concreto, devido aos muitos fatores que podem interferir no resultado final.

No decorrer dos capítulos, foram evidenciadas as principais características dos ensaios não destrutivos em geral, seguidamente de uma caracterização mais específica sobre a esclerometria, e logo após, a hipótese da pesquisa foi testada, através de comparação de dados coletados nas bibliografias utilizadas, onde a mesma foi confirmada, pois apesar de algumas correlações se apresentarem bem próximas, outras apresentaram uma notável variação.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI - 228 - 1R - 03, 2003. **In-place methods to estimate concrete strength**, Detroit.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI - 228 - 2R - 98, 1998. **Nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures**, Detroit.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584. Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio**. 2012.

BADIMUENA, Billy Lukusa. **Avaliação da confiabilidade de estruturas existentes: Influência da resistência à compressão do concreto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas) - Escola de engenharia, Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BS 1881: Part 201, 1986. **Guide to the use of nondestructive methods of test for hardened concrete**. London.

CÂMARA, Everlei. **Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas) - Faculdade de Engenharia civil, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CASTRO, Elisângela de. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 2009. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14137/1/Elisangela.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia civil) - Faculdade de Engenharia civil, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FIGUEIREDO, Luís Felipe da Silveira. **Controle da resistência à compressão do concreto pelo ensaio esclerométrico**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva; HELENE, Paulo. **Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração**. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. cap. 32.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MACHADO, Mauricio Dornellas. **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia civil) - Faculdade de Engenharia civil, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PALACIOS, Maria del Pilar Guzman. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. 2012. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) - Faculdade de Engenharia civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SAMANIEGO, Yulena Tatiana Moreno. **Ensaaios não destrutivos para avaliação da resistência do concreto: Estudo de aplicação em obras**. 2014. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) - Faculdade de Engenharia civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.