# UMA VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA E HOMOGENEIDADE DO CONCRETO EM EDIFICAÇÃO ANTIGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE/RS

SILVA, C. V. (1º Autor)[1], STOLZ, C. M.[2], LANSINI, B.[3], FINGER, D.[4], MASUERO, A. B.[5]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, doutoranda, MSc., e-mail: cristina_vitorino@yahoo.com.br
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, doutoranda, MSc., e-mail: carimstolz@yahoo.com.br
[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, graduando, bolsista IC, e-mail: brunolansini@gmail.com
[4] Finger & Sommer Engenharia e Consultoria, Eng. Civil, e-mail: finger@fingersommer.com
[5] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professora, Dra., e-mail: angela.masuero@ufrgs.br

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à compressão e a homogeneidade do concreto na estrutura de um edifício comercial de um órgão público com dois pavimentos mais subsolo, o qual foi construído na década de 70 na região metropolitana de Porto Alegre/RS, mediante o ensaio de esclerometria. Devido a grande incidência de manifestações patológicas, esta edificação foi desativada visando o seu restauro. As análises de esclerometria foram complementadas através da verificação da presença de carbonatação e da reconstituição de traço. Foram analisados onze pontos da estrutura, incluindo pilares internos e um externo, duas marquises, duas lajes do primeiro e segundo pavimentos, uma viga e a laje de cobertura. Os resultados demonstraram variações de resistência desde 12,70 MPa até 82,34 MPa nos pontos analisados, o que representa grande variabilidade. As reconstituições de traço de alguns desses pontos mostraram semelhança nos resultados obtidos. Como as análises realizadas são apenas estimativas da resistência dos elementos estruturais e também devido à presença de carbonatação constatada em alguns destes elementos, seria necessário fazer a extração de testemunhos para uma análise mais aprofundada dos mesmos.
**Palavras chave:** concreto, esclerometria, resistência à compressão.

## ABSTRACT

Our purpose in the present study was to evaluate the compressive strength and homogeneity of concrete on a commercial building structure of a public agency with two floors and underground, which was built in the seventies in the Porto Alegre/RS metropolitan area, by testing the rebound hammer assay. Due to the high incidence of pathological manifestations, this building has been turned off for restoration. The rebound hammer analyses were complemented by verifying the presence of carbonation and mix reconstitution. It was analyzed eleven locals in the structure, including internal and external pillars, two marquees, two slabs from first and second floors, a beam and the topping slab. The results demonstrated resistance variations from 12.70 MPa up to 82.34 MPa in the evaluated locals, representing high variability. The mix reconstitutions of some of these locals showed similarity in the obtained results. Considering that the performing analyses are estimates only of the resistance of structure elements and also due to the presence of carbonation found in some of these elements, it would be required to make extraction of specimens for further evaluation.
**Keywords:** concrete, rebound hammer, compressive strength

# 1. INTRODUÇÃO

Avaliar estruturas de concreto armado em edificações já executadas é, muitas vezes, necessário, tanto para verificar a ocorrência de alguma manifestação patológica, quanto para estimar a resistência do concreto. Nesse contexto, é interessante a utilização de ensaios não-destrutivos, uma vez que avaliações invasivas podem comprometer a estabilidade da estrutura (FRÉZ, 2013).

Dentre os ensaios não destrutivos o ensaio de esclerometria é um dos mais empregados e se destaca pela facilidade de execução e por mostrar uma boa relação com ensaios de resistência à compressão obtidos através do rompimento de corpos de prova padronizados, como destacam Evangelista (2002), Souza et. al (2009) e Bottega (2010). Tal ensaio, conforme a própria classificação define, não necessita de destruição do elemento ou corpo de prova, desta forma pode ser usado para avaliar estruturas já em uso e que precisem verificar a qualidade do concreto utilizado.

Em estudo realizado Pereira (1999) encontrou alto coeficiente de correlação entre o índice esclerométrico e a resistência mecânica do concreto, porém ressalta que tal fato deve ser analisado com cuidados, uma vez que existem diversos fatores que podem influenciar o ensaio. Dentre os fatores que afetam o ensaio, destacam-se as alterações na superfície do concreto (ocasionadas pela ocorrência de carbonatação, falhas no concreto, umidade, falta de lixamento), condições intrínsecas ao ensaio (temperatura, direção de aplicação do equipamento) e características do concreto (traço, teor de agregados, presença de armadura, tipo de cimento, idade, cura, agregados, entre outros).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise da estimativa de resistência à compressão e homogeneidade do concreto de uma edificação construída na década de 70 na região metropolitana de Porto Alegre/RS, através da avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.

# 2. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO E PONTOS DE MEDIÇÃO

A obra constitui-se em uma edificação construída na década de 70, com estrutura em concreto armado, com andar térreo mais um pavimento e subsolo. A figura 1 apresenta a fachada da edificação em questão.



Figura 1: fachada da edificação

Foram escolhidos para análise cinco pilares e uma viga do térreo, além de lajes e marquises. Neste trabalho não foram feitas verificações em blocos de fundação ou outros pontos que não os mencionados. A seguir estão descritos os pontos avaliados e na figura 2 está apresentada a disposição dos pilares 1 a 5:

- Ponto 1: Pilar 1 – térreo;
- Ponto 2: Pilar 2 – térreo;
- Ponto 3: Pilar 3 – térreo;
- Ponto 4: Pilar 4 - térreo
- Ponto 5: Pilar 5 - térreo (área externa);
- Ponto 6: Viga - 1° pavimento;
- Ponto 7: Laje 1 - 1° pavimento;
- Ponto 8: Laje 2 - 1° pavimento;
- Ponto 9: Laje 3 de cobertura - 1° pavimento;
- Ponto 10: Marquise 1 - fachada norte;
- Ponto 11: Marquise 2 - fachada sul.

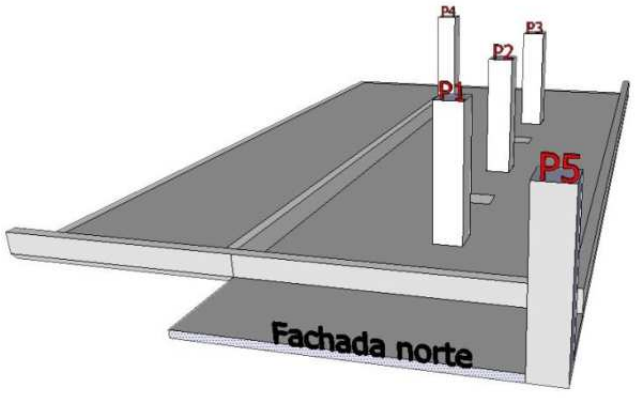



Figura 2: disposição dos pilares do térreo

# 3. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

## 3.1 Dureza Superficial por Esclerometria

O procedimento utilizado para análise da resistência e verificação da homogeneidade do concreto da estrutura da edificação seguiu as recomendações da NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Foram realizados 16 pontos de impacto por ponto de amostragem, em um total de 11 amostras.

Para realização do teste foi utilizado esclerômetro de reflexão marca SILVER SCHMIDT, modelo N-SH010020852, adequado para avaliação de concretos com resistência à compressão entre 10,0 a 100,0 MPa. Antes do ensaio foi verificada a calibração do aparelho utilizando bigorna especial de aço compatível com equipamento. Este procedimento permite encontrar o coeficiente de correção dos resultados (k) conforme descrito abaixo:

Tabela 1: índice esclerométrico (IE) na bigorna de aço

| Impacto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | **IEm** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IE | 92,0 | 91,5 | 91,0 | 90,0 | 91,0 | 91,5 | 90,5 | 90,0 | 89,5 | 91,0 | 90,80 |

De acordo com os resultados da tabela 1 o aparelho está perfeitamente calibrado e adequado ao uso, uma vez que todos os IE individuais não diferem do IEm em ± 3 unidades. Sendo assim, o valor de coeficiente de correção (k) pode ser obtido em (1).

$$k = \frac{n.Enom}{\sum_{i=1}^{n} IEi} \qquad (1)$$

Onde:

k = coeficiente de correção do IE;

n = número de impactos na bigorna de aço;

IEnom = Índice Esclerométrico Nominal do aparelho na bigorna de aço, fornecido pelo fabricante (90%);

IEi = Índice esclerométrico obtido dos dez impactos do esclerômetro na bigorna de aço.

Portanto: **K = 0,89207**

Buscando complementar os resultados obtidos através da esclerometria foram feitos ensaios de carbonatação e reconstituição parcial de traço de concreto endurecido.

### 3.2 Carbonatação

Para a realização deste ensaio foi utilizada a técnica de aspersão com solução à base de fenolftaleína (indicador de pH) contendo 1% do material dissolvido em 70% de álcool etílico e 30% de água. Em cada ponto selecionado para análise da resistência, após o ensaio de esclerometria, era retirado parte do concreto a fim de verificar a presença de carbonatação através da aspersão com solução de fenolftaleína.

### 3.3 Reconstituição de Traço

Devido à inexistência de uma norma específica para a realização deste ensaio, utilizou-se o método desenvolvido pela Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC[1]. A técnica do CIENTEC foi escolhida visto ser de fácil realização, não exigindo instalações de laboratório e equipamentos sofisticados. O método é largamente utilizado pelo CIENTEC, porém há carência de publicações técnicas sobre o seu emprego. Tal metodologia já foi adotada por alguns autores, tais como Possan (2004).

Para a execução do método de reconstituição de traço, primeiramente, obteve-se uma amostra do concreto, em torno de 0,20 kg. A amostra foi calcinada a uma temperatura de 700°C durante 1 hora, com incremento de temperatura de 250°C/hora. Após a calcinação e resfriamento das amostras determinou-se a massa inicial (Mi). Assim que a massa foi obtida, a amostra foi imersa em solução de ácido clorídrico, com concentração de 20%. Aguardou-se o tempo necessário para que ocorresse o término das reações ou para que o ácido dissolvesse a amostra. Assim que os materiais constituintes do concreto desagregaram, a amostra foi lavada com água corrente em peneira de abertura 0,075mm. Com a amostra lavada, o material retido na peneira foi seco em estufa com temperatura de aproximadamente 100°C. Após o material adquirir constância de massa, determinou-se a massa final (Mf). Com base na NBR 6502 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), a metodologia empregada considera como aglomerante (cimento e adições) o material passante na peneira de abertura de 0,075mm e como agregado (miúdo e graúdo) o material retido nesta peneira. Com a determinação das quantidades, em massa, de cada material componente da mistura de concreto, as proporções dos materiais (considerando que o material passante seja o aglomerante) foram obtidas através da expressão (2).

$$1 : \frac{mf}{mi - mf} \cdot 100 \qquad (2)$$

[1] FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – CIENTEC. Metodologia de reconstituição de traço de concreto endurecido. Procedimento de laboratório (metodologia não publicada).

Onde:

mi = massa inicial;

mf = massa final.

## 4. RESULTADOS

Neste item estão apresentados os resultados para as análises dos ensaios realizados. A tabela 2 mostra os valores individuais do Índice Esclerométrico (IE), obtidos em cada ponto analisado. A tabela 3, apresenta o Índice Esclerométrico Médio (IEm), para cada área de ensaio, já excluindo os valores acima e abaixo de 10% em relação a primeira média, conforme recomendações da NBR 7584. O Índice Esclerométrico Efetivo (IEe) encontra-se na tabela 4, o qual foi obtido através da multiplicação do IEm pelo coeficiente de correção (k).

Ao final da tabela 4 são apresentados os valores da resistência à compressão estimada para o concreto, obtida através da curva de correlação, fornecida pelo fabricante do aparelho, entre o índice Esclerométrico Efetivo (IEe) e a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Cabe salientar que os valores das tabelas 2, 3 e 4 são referentes aos pontos analisados.

Tabela 2: resultado do IE para os pontos analisados

| PONTO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61,50 | 55,50 | 61,00 | 61,50 | 59,00 | 48,50 | 45,50 | 35,50 | 62,50 | 48,00 | 32,00 |
| 2 | 40,00 | 60,50 | 61,50 | 65,00 | 64,50 | 57,50 | 58,50 | 32,50 | 49,00 | 53,00 | 27,50 |
| 3 | 38,00 | 54,00 | 56,00 | 62,50 | 62,50 | 59,50 | 53,50 | 36,50 | 59,50 | 34,50 | 38,00 |
| 4 | 50,00 | 54,00 | 62,50 | 62,00 | 64,50 | 58,50 | 57,00 | 34,00 | 67,00 | 46,00 | 28,50 |
| 5 | 43,50 | 47,50 | 65,00 | 56,50 | 65,00 | 60,00 | 57,50 | 32,00 | 57,00 | 38,00 | 48,50 |
| 6 | 54,00 | 48,00 | 65,50 | 62,50 | 67,00 | 61,50 | 58,50 | 33,50 | 57,50 | 51,00 | 58,50 |
| 7 | 56,50 | 47,00 | 59,00 | 65,00 | 64,00 | 59,50 | 53,50 | 31,50 | 42,50 | 40,00 | 60,80 |
| 8 | 62,00 | 48,50 | 60,50 | 61,00 | 70,50 | 65,00 | 49,00 | 32,50 | 40,50 | 38,50 | 55,50 |
| 9 | 54,50 | 56,00 | 62,00 | 64,50 | 65,50 | 56,50 | 62,50 | 31,50 | 61,00 | 38,00 | 57,50 |
| 10 | 56,50 | 53,00 | 62,50 | 60,00 | 65,00 | 52,00 | 59,50 | 32,50 | 61,00 | 39,00 | 55,50 |
| 11 | 60,50 | 50,00 | 55,50 | 53,00 | 65,50 | 54,50 | 53,50 | 34,50 | 61,00 | 47,50 | 52,50 |
| 12 | 68,50 | 47,50 | 62,50 | 51,50 | 63,00 | 64,00 | 48,00 | 37,00 | 59,50 | 47,50 | 67,50 |
| 13 | 45,00 | 49,50 | 65,00 | 59,00 | 70,00 | 47,50 | 65,50 | 30,00 | 61,00 | 51,50 | 25,50 |
| 14 | 55,50 | 57,00 | 61,00 | 65,50 | 71,00 | 62,00 | 65,00 | 36,00 | 54,00 | 52,50 | 29,50 |
| 15 | 57,00 | 49,50 | 60,00 | 57,50 | 69,00 | 60,00 | 58,50 | 30,50 | 45,50 | 48,00 | 50,50 |
| 16 | 45,00 | 53,50 | 58,50 | 58,50 | 64,00 | 61,50 | 53,00 | 33,50 | 64,50 | 52,50 | 43,00 |
| | | | | | | | | | | | |
| **Média1:** | **53,00** | **51,94** | **61,13** | **60,34** | **65,63** | **58,00** | **56,16** | **33,34** | **56,44** | **45,34** | **45,68** |

Tabela 3: índice Esclerométrico Médio (IEmédio) para os pontos analisados

| PONTO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 55,50 | 61,00 | 61,50 | | | | 35,50 | | 48,00 | |
| 2 | | | 61,50 | 65,00 | 64,50 | 57,50 | 58,50 | 32,50 | | | |
| 3 | | 54,00 | 56,00 | 62,50 | 62,50 | 59,50 | 53,50 | 36,50 | 59,50 | | |
| 4 | 50,00 | 54,00 | 62,50 | 62,00 | 64,50 | 58,50 | 57,00 | 34,00 | | 46,00 | |
| 5 | | 47,50 | 65,00 | 56,50 | 65,00 | 60,00 | 57,50 | 32,00 | 57,00 | | 48,50 |
| 6 | 54,00 | 48,00 | 65,50 | 62,50 | 67,00 | 61,50 | 58,50 | 33,50 | 57,50 | | |
| 7 | 56,50 | 47,00 | 59,00 | 65,00 | 64,00 | 59,50 | 53,50 | 31,50 | | | |
| 8 | | 48,50 | 60,50 | 61,00 | 70,50 | | | 32,50 | | | |
| 9 | 54,50 | 56,00 | 62,00 | 64,50 | 65,50 | 56,50 | | 31,50 | 61,00 | | |
| 10 | 56,50 | 53,00 | 62,50 | 60,00 | 65,00 | | 59,50 | 32,50 | 61,00 | | |
| 11 | | 50,00 | 55,50 | | 65,50 | 54,50 | 53,50 | 34,50 | 61,00 | 47,50 | |
| 12 | | 47,50 | 62,50 | | 63,00 | | | | 59,50 | 47,50 | |
| 13 | | 49,50 | 65,00 | 59,00 | 70,00 | | | | 61,00 | | |
| 14 | 55,50 | 57,00 | 61,00 | 65,50 | 71,00 | 62,00 | | 36,00 | 54,00 | | |
| 15 | 57,00 | 49,50 | 60,00 | 57,50 | 69,00 | 60,00 | 58,50 | 30,50 | | 48,00 | |
| 16 | | 53,50 | 58,50 | 58,50 | 64,00 | 61,50 | 53,00 | 33,50 | | | 43,00 |
| | | | | | | | | | | | |
| IEmédio | 54,86 | 51,37 | 61,13 | 61,50 | 66,07 | 59,18 | 56,30 | 33,32 | 59,06 | 47,40 | 45,75 |
| IEe: | 48,94 | 45,82 | 54,53 | 54,86 | 58,94 | 52,80 | 50,23 | 29,73 | 52,68 | 42,29 | 40,81 |

O ponto 11 foi descartado por não apresentar dados suficientes para as análises, conforme a tabela 3.

Tabela 4: resistência característica estimada ($f_{ckest.}$) em função do IE efetivo

| PONTO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IEe: | 48,94 | 45,82 | 54,53 | 54,86 | 58,94 | 52,80 | 50,23 | 29,73 | 52,68 | 42,29 |
| fck est. (Mpa) | 43,42 | 35,57 | 62,10 | 63,44 | 82,34 | 55,58 | 47,15 | 12,70 | 55,18 | 28,36 |

Com relação aos concretos analisados, os pontos apresentaram variações desde 12,70 MPa até 82,34 MPa, o que representa grande variabilidade. Cabe salientar que os resultados encontrados para os pontos 3, 4, 5 e 6, considerados elevados, podem ter sofrido influência de outros fatores (descritos na norma no apêndice informativo C), tais como carbonatação, umidade e idade do concreto. Sabe-se que a reação de carbonatação promove o endurecimento da camada superficial dos elementos através da formação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). As figuras 2, 3, e 4 exemplificam a reação de carbonatação do concreto em alguns destes pontos estudados.




Figura 2: carbonatação ponto 3 - Pilar 3 no térreo




Figura 3: carbonatação ponto 4 - pilar 4 no térreo




Figura 4: carbonatação ponto 5 – pilar 5 na área externa

Nos pilares 3, 4 e 5, onde se verificou a presença de carbonatação, também foi possível observar indícios de corrosão da armadura. Não foram identificadas, no dia de realização dos ensaios, fissuras visíveis nos pilares internos, lajes e viga analisados. No entanto, na fachada norte, onde está localizado o pilar externo do térreo, identificado como ponto 5, foi possível verificar uma fissura a 45°, a qual pode ter ocorrido em função de recalque de fundações (vide figura 5). Em virtude disso, salienta-se a importância de se fazer um estudo geotécnico no local, para verificar as possíveis causas da manifestação patológica observada. Além do exposto, cabe ressaltar que as marquises analisadas mostraram algumas fissuras, bem como corrosão das armaduras.

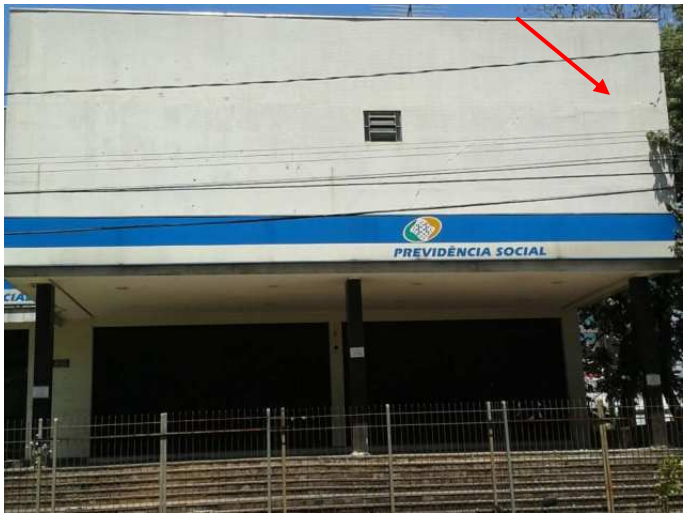



Figura 5: fissura a 45° ocasionada por recalque de fundações

Os dados dos ensaios de reconstituição de traço do concreto endurecido estão dispostos na tabela 5.

Tabela 5: reconstituição de traço do concreto endurecido

| AMOSTRA | MASSA INICIAL (mi) (g) | MASSA FINAL (mf) (g) | TRAÇO (1:m) |
|---|---|---|---|
| **PONTO 1** | 214,30 | 181,00 | 5,44 |
| **PONTO 3** | 214,90 | 181,20 | 5,38 |
| **PONTO 4** | 214,60 | 180,20 | 5,24 |
| **PONTO 10** | 214,00 | 117,80 | 1,22 |

De acordo com a tabela é possível observar que os pontos 1, 3 e 4 mostram semelhança no proporcionamento dos traços, no entanto o ponto 10 (marquise norte) mostrou diferença em relação aos demais, com menor teor de agregados. Cabe salientar que não foi possível reconstituir os traços de concreto dos demais pontos avaliados neste estudo, umas vez que as amostras coletadas foram consideradas insuficientes.

Existem poucos relatos na literatura sobre técnicas de reconstituição de traço de concreto endurecido, sendo que a maior parte das metodologias está destinada à reconstituição de traço de argamassas. Cabe destacar que o método adotado não confere a determinação precisa do traço, mostrando limitações para a identificação de traços com proporções de 1:m muito semelhantes.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em análise visual as estruturas analisadas não demonstravam alto grau de degradação até o momento da vistoria. No entanto, como as análises realizadas são apenas estimativas da resistência dos elementos estruturais e devida a presença de carbonatação constatada em alguns dos elementos, seria necessário fazer a extração de testemunhos para uma análise mais aprofundada dos mesmos. Além disso, ensaios específicos relacionados à corrosão das armaduras e possíveis perdas de seção das mesmas podem ser necessários para auxiliar nas técnicas e medidas que serão tomadas para promover o restauro da edificação.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Agregados – dimensões para uso em concreto**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

FRÉZ, J. C.; KERBER, M.; MEDEIROS, M. H. F. de. **Estimativa da Resistência à Compressão do Concreto: Ensaio de Esclerometria e de Arrancamento.** 55° Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2013.

PEREIRA, J. P. V. V. Avaliação da resistência à compressão do betão através de ensaios não-destrutivos. In: **Dissertação.** Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal, 1999.

POSSAN, E. **Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, F. J.; CAVALCANTI, R. S.; MONTEIRO, E.; HELENE, P. **Correlação de ensaios de ultra-som e escleometria em corpos de prova cilíndricos de concreto**. 51° Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

BOTTEGA, F. **Análise do ensaio esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2010.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a Capes pelas bolsas de fomento à pesquisa e ao NORIE/PPGEC/UFRGS pelo incentivo à pesquisa.