INSPEÇÃO DE OBRAS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

A. LORENZI, L. A. REGINATTO, L. F. CAETANO, D. L. KLEIN, L. C. P SILVA FILHO

Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O concreto é o elemento estrutural mais utilizado no mundo. Esse fato conduz à necessidade de ferramentas de controle e análise de seu estado de conservação. O monitoramento constante das estruturas é um procedimento necessário, uma vez que a detecção preventiva dos problemas permite a utilização de métodos mais simples e econômicos para avaliação e reparo. Para tais fins, os métodos de Ensaios Não Destrutivos (END) tornam-se uma estratégia de investigação bastante atraente e viável. O presente artigo evidencia como podem ser empregados os END para inspeção de estruturas de concreto e mostra estudos de casos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa LEME-UFRGS e demonstra experiências desenvolvidas tanto em inspeções de estruturas in loco quanto em pesquisas desenvolvidas em laboratório. Conclui-se que, por meio da aplicação de END, se pode contribuir com sucesso no controle da deterioração e qualidade.

Palavras chave: Concreto; Ensaios Não Destrutivos; Inspeção.

ABSTRACT

Concrete is the most widely used structural element in the world. This fact leads to the need for tools to control and analyze its conservation status. Constant monitoring of the structures is a necessary procedure, since the preventive detection of the problems allows the use of simpler and more economical methods for evaluation and repair. For these purposes, Non-Destructive Testing (NDT) methods become a very attractive and feasible research strategy. The present article shows how NDT can be used for inspection of concrete structures and shows case studies developed by the LEME-UFRGS Research Group and demonstrates experiments developed both in on-site inspections and laboratory research. It is concluded that, through the application of NDT, one can successfully contribute to the control of deterioration and quality of concrete structures.

Keywords: Concrete, Nondestructive Testing, Inspection.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo e é parte fundamental dos mais variados projetos de engenharia. Em grande parte isto é decorrente da excelente durabilidade do concreto armado. De acordo com o CEB-FIP Model Code (1993), uma estrutura de concreto deve ser projetada, construída e operada de tal forma que, sob as condições ambientais esperadas, ela mantenha sua segurança, funcionalidade e aparência, durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem a necessidade de elevados custos de manutenção e reparo.

De acordo com Andrade (2005), infelizmente, apesar de o concreto ser muito durável em certas circunstâncias, muitas estruturas fabricadas com o mesmo estão sujeitas a ambientes ou condições deletérias, que rapidamente degradam seu desempenho ou afetam sua integridade.

A durabilidade das estruturas de concreto é uma questão fundamental na engenharia civil. As estruturas de concreto estão sujeitas a ataques agressivos que podem minimizar a sua durabilidade. Medições precisas, assim como a interpretação dos dados que afetam a durabilidade de estruturas são tarefas complexas, devido à inerente heterogeneidade do concreto, como salientam Chekroun et al. (2009).

Segundo Figueiredo (2005) fatores como a ocorrência de falhas de projeto; o uso de dosagens incorretas; o emprego de processos inadequados de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e descimbramento; além da utilização incorreta das estruturas de concreto, têm levado ao surgimento de manifestações patológicas, muitas vezes precoces e com custos elevados de reparação.

Esse fato conduz à necessidade de ferramentas de controle e análise de seu estado de conservação. Muitas das construções em concreto armado que formam a infraestrutura estão se aproximando do final de sua vida útil de projeto. Conseqüentemente existe uma preocupação crescente sobre o estado de deterioração e segurança das mesmas. O monitoramento e avaliação das estruturas é um procedimento necessário, uma vez que a detecção preventiva dos problemas permite a utilização de métodos mais simples e econômicos para avaliação e reparo.

No atual cenário em que as exigências de qualidade estão se firmando, é de vital importância o desenvolvimento de alternativas que permitam, de forma eficaz, avaliar a qualidade das estruturas de concreto. A aplicação de Ensaios Não Destrutivos (END) se constitui em uma estratégia interessante para monitorar o estado das mesmas.

O uso de métodos de END é uma maneira de viabilizar a inspeção e a avaliação do estado de conservação de construções civis, de forma econômica e eficiente. Dada sua natureza predominantemente não invasiva, os ensaios tipo END se constituem em uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, e já são amplamente utilizados em diversas atividades, tais como na indústria aeroespacial, no ramo automobilístico, no ramo elétrico e na construção naval, Cho (2003).

Nas últimas décadas, a aplicação de END na engenharia civil vem se tornando um tema de interesse em diversos países. No caso da indústria da construção civil, porém, que utiliza vários tipos de materiais (metais, madeira, concreto, alvenaria estrutural e outros compósitos), a utilização dos ENDs pode se tornar mais complexa, devido à necessidade de maior conhecimento acerca das propriedades e comportamento dos materiais.

De acordo com Bungey e Millard (1996), muitos esforços e despesas podem ser desperdiçados em ensaios se não definir-se claramente, e desde a fase preliminar, quais serão os objetivos da investigação. Este fator irá afetar a escolha do método de ensaio, a extensão e a localização dos ensaios, bem como, qual será a forma com que os resultados obtidos serão manipulados e interpretados.

No atual cenário em que as exigências de qualidade estão se firmando, é de vital importância o desenvolvimento de alternativas que permitam, de forma eficaz, avaliar a qualidade das estruturas de concreto. Danos mal avaliados ou corrigidos de forma deficiente podem acarretar na redução da vida de serviço de uma estrutura. O presente artigo evidencia como podem ser empregados os ensaios de END para controle de estruturas.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios não destrutivos (END) foram desenvolvidos de maneira a auxiliar na obtenção de informações acerca das propriedades efetivas dos materiais usados numa estrutura real. A obtenção de estimativas de resistência através de técnicas de END se constitui numa possibilidade alternativa de controle bastante interessante.

Dada sua natureza predominantemente não invasiva, os END se constituem em uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, e são amplamente utilizados em diversas atividades.

Os END são ensaios realizados em materiais, acabados ou semi-acabados, com o intuito de verificar a existência de descontinuidades ou defeitos. Estes ensaios baseiam-se em diferentes princípios físicos, e não alteram significativamente as características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais do material, não interferindo em seu uso posterior.

A utilização de END para engenharia civil depende da confiabilidade da aplicação dos métodos, do conhecimento sobre a aplicação e de seu aspecto econômico. Alguns métodos de END parecem ser de aplicação bastante simplificada, mas todos estão sujeitos a determinadas influências e a utilização de operadores qualificados é essencial para o correto andamento do ensaio. Através da utilização sistemática destes ensaios é possível monitorar o estado do concreto durante toda a sua vida útil, gerando informações mais precisas e abrangentes do que aquelas obtidas em ensaios realizados apenas no momento da execução das mesmas.

A evolução da tecnologia em vários campos do conhecimento, como a física e a eletrônica, vem alimentando a geração de novas técnicas de END, ampliando o escopo das ferramentas de investigação aplicáveis a estruturas de concreto. Esta possibilidade é muito atraente por evitar que a investigação da resistência provoque danos que podem ser caros de corrigir, ou que resultem num reparo cuja interface com o material original vai se constituir numa zona mais vulnerável à deterioração. Danos mal corrigidos podem acarretar numa redução da vida de serviço da estrutura.

A grande questão consiste em obter uma forma adequada de estimar a resistência de uma estrutura de concreto existente. Como salienta Isaia (2005) *“Toda predição que se pretenda realizar para a vida útil de uma estrutura de concreto deve partir da modelagem matemática dos fenômenos e propriedades envolvidas, da maneira mais precisa possível, para que se possa chegar a um resultado confiável”*. Isto implica em refletir sobre a maneira pela qual será possível proceder a um controle efetivo da resistência nas estruturas de concreto.

Para esta finalidade, normalmente são utilizados corpos-de-prova moldados durante o processo de concretagem das estruturas. Entretanto, as condições de exposição e cura destes geralmente são bastante diferentes daquelas existentes na peça real, o que afeta diretamente a resistência. Diante deste problema, estimativas de resistência do concreto através da utilização de métodos de END, aplicados na estrutura real, passam a se constituir em uma possibilidade interessante de controle. Os END podem ser aplicados a cada fase da construção: tanto podem ser examinados os materiais como podem ser usadas as suas técnicas para então monitorar a integridade da estrutura durante a sua vida útil.

Verifica-se que a maioria das vezes as aplicações estão associadas à localização e avaliação da importância de falhas e defeitos em estruturas de concreto endurecido. Este é hoje o objetivo principal do emprego de técnicas de END na construção civil.

3. ESTUDOS DE CASO

As aplicações práticas ilustram uma série de aplicações dos ensaios de END para avaliar a qualidade das estruturas de concreto. São demonstrados estudos de caso desenvolvidos pela equipe técnica do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

3.1 Estudo de Caso 1

O objetivo principal deste estudo consistiu em verificar a homogeneidade do concreto em pilares de centrais elétricas através do mapeamento da distribuição da Velocidade de Propagação do Pulso Ultrassônico (VPU) ao longo das faces da estrutura analisada, de forma a identificar as zonas de baixa velocidade, nas quais é provável a existência de vazios e falhas de concretagem decorrentes de problemas de trabalhabilidade e/ou de adensamento do concreto.

Analizando-se graficamente os resultados obtidos a partir das leituras de VPU pode-se observar o mapeamento das velocidades obtidas, nas duas faces do pilar, localizadas a um terço da altura do mesmo. Através da análise dos resultados obtidos, constatou-se que a condição geral da estrutura é boa, sendo registradas poucas regiões com valores de VPU menores que 2500 m/s.

Todavia observam-se na estrutura valores muito baixos de VPU, que indicam regiões que necessitam ser reparadas na estrutura. A Figura 1 mostra a distribuição de velocidades nas duas faces do pilar.

Figura 1. Mapeamento da VPU no segmento do pilar com 12 metros de largura por 9 metros de altura.

A Figura 2 apresenta os resultados do exame visual efetuado em testemunhos extraídos de regiões marcadas por diferentes valores de VPU. Através da análise dos mesmos pode-se aperfeiçoar o diagnóstico, permitindo definir qual a faixa de resultados que corresponderia à presença de vazios ou defeitos inaceitáveis na estrutura.

Figura 2. Exame visual de testemunho extraído do pilar.

3.2 Estudo de Caso 2

O presente estudo de caso apresenta os resultados dos ensaios de VPU realizados em uma série de elementos de concreto. As estruturas examinadas fazem parte de um conjunto de elementos estruturais nos quais o controle tecnológico, realizado através de corpos de prova moldados de concreto in loco, indicou que não foi atingida a resistência de projeto especificada. Este indicativo levantou dúvidas sobre a efetiva condição, em termos de resistência, dos referidos elementos, o que conduziu à realização do

presente estudo.

O objetivo principal foi mapear a homogeneidade do concreto dos elementos de interesse, coletando dados que permitissem avaliar comparativamente as características dos mesmos com a de outros elementos onde os corpos de prova de controle haviam produzido resultados satisfatórios.

As Figuras 3 e 4 apresentam as imagens geradas com as leituras de VPU em blocos de fundação. As velocidades registradas variaram entre 2400 e 2800 m/s. Em geral o concreto apresenta uma qualidade regular, com registros de zonas mais compactas na parte inferior e zonas menos compactas na parte superior dos blocos, como esperado.

Figura 3. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico em segmento de bloco de fundação com 1 metro de base e 0,5 metros de altura.

Figura 4. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico em segmento de bloco de fundação com 1,8 metros de base e 0,45 metros de altura.

3.3 Estudo de Caso 3

Este estudo de caso baseia-se na aplicação da Tomografia Ultrassônica para detectar a localização dos alvéolos de lajes pré-fabricadas utilizadas na estrutura de um edifício. A aplicação da Tomografia Ultrassônica permite efetuar um controle de qualidade das estruturas de concreto armado com a finalidade de determinar a sua integridade e a presença de defeitos na estrutura, tais como: fissuras, heterogeneidades, falhas de concretagem, entre outros.

A utilização de transdutores de ponto de contato seco permite que, mesmo com frequências de transmissão relativamente baixas, as ondas geradas pelo equipamento possam penetrar maiores profundidades, sendo possível medir a espessura do objeto com até 2 metros. Neste estudo de caso foi utilizada uma frequência de 70 kHz e velocidade de pulso de 3040 m/s.

O objetivo foi analisar os níveis de detalhes captados pela tomografia 3D através da variação do grid utilizado. Dessa forma, foi utilizado um grid de 5 x 10 cm, que permite grande sobreposição de leituras para a interpolação dos dados. A Figura 5 apresenta a vista superior da tomografia da laje obtida com o grid de 5 x 10 cm, onde se pode observar a localização dos alvéolos.

Figura 5. Resultados da tomografia ultrassônica em uma laje com grid de 5x10 cm.

3.4 Estudo de Caso 4

O presente estudo de caso apresenta os resultados dos ensaios de VPU realizados em uma série de pilares de concreto. Os pilares examinados fazem parte de um conjunto de elementos estruturais nos quais o controle tecnológico, realizado através de corpos de prova moldados de concreto in loco, indicou que não foi atingida a resistência de projeto especificada. Este indicativo levantou dúvidas sobre a efetiva condição, em termos de resistência, dos referidos elementos, o que conduziu à realização do presente estudo.

O objetivo principal foi mapear a homogeneidade do concreto dos pilares coletando dados que permitissem avaliar comparativamente as características dos mesmos com a de outros elementos onde os corpos de prova de controle haviam produzido resultados satisfatórios. Foi observado que a superfície dos pilares, na parte superior, apresentavam falhas de concretagem e textura “craquelada”, conforme mostrado na Figura 6.

Uma vez que a VPU está diretamente relacionada à compacidade do material em análise, a presença de falhas influencia negativamente o resultado final. Entretanto, o novo concreto lançado apresentava superfície mais regular, o que não elevou significativamente os resultados de velocidade, levantando assim, suspeita em relação à qualidade do concreto presente no topo dos pilares.

Figura 6. Aspecto da superfície do topo dos pilares analisados.

As Figuras 7 e 8 apresentam as imagens geradas com as leituras de VPU de alguns dos pilares analisados. As velocidades registradas variaram entre 2400 e 3200 m/s. Em geral o concreto apresenta uma qualidade regular, com registros de zonas mais compactas na parte inferior e zonas menos compactas na parte superior dos pilares, como esperado. As variações de velocidade foram mapeadas graficamente através da utilização de um software de geração de curvas de nível, facilitando a visualização das variações na homogeneidade, compactidade e integridade de cada elemento.

Figura 7. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico.

Figura 8. Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico.

3.5 Estudo de Caso 5

A Termografia Infravermelha está baseada no princípio de que anomalias embaixo da superfície em um material afetam o fluxo de calor que passa por aquele material. Através dessas mudanças no fluxo de calor, localizam-se diferenças na temperatura da superfície. Medindo essa temperatura em certas condições de fluxo de calor, pode-se determinar a localização das anomalias. Sistemas termógrafos infravermelhos são usados para medir a intensidade de calor emitida por um material submetido a uma pulsação de calor. Uma área de defeito tem condutividade térmica diferente e se revela como uma área resfriada ou com manchas quentes.

O presente estudo de caso ilustra a aplicação da Termografia Infravermelha. A Figura 9 (a) apresenta o comportamento de duas paredes submetidas aos ensaios de ação de calor e choque térmico e a Figura 9 (b) o ensaio de resistência a altas temperaturas.

Figura 9. Execução do Termografia: (a) Ensaio de ação de calor e choque térmico em parede na escala real e (b) ensaio de resistência a altas temperaturas.

Neste estudo a termografia permite o acompanhamento da distribuição das temperaturas ao longo do elemento, visualizando a distribuição de calor no decorrer do ensaio. Também é possível identificar os pontos de fuga de calor durante a execução dos ensaios, corrigindo-os no decorrer do mesmo. A Figura 10 demonstra a evolução das temperaturas durante a execução do ensaio. Pode-se observar nitidamente a fuga de temperatura pela argamassa de rejuntamento e pelas laterais da mini parede (corpo de prova).

Figura 10. Evolução dos Perfis Termográficos.

4. CONCLUSÕES

Impulsionadas pela necessidade de se obter estruturas de concreto com alto padrão de qualidade e durabilidade, as pesquisas referentes aos ENDs têm buscado entender as capacidades e limitações de ensaio. O uso de END pode auxiliar na tomada de decisão e estabelecimento de estratégias de intervenção, como demonstrado nos estudos de caso descritos no presente artigo.

O desconhecimento da real situação em que se encontra uma estrutura é um fator complicador nas intervenções em estruturas deterioradas ou sob suspeita. A falta de informação, numa situação de caráter emergencial, pode fazer com que se tomem decisões conservadoras, aumentando o escopo e complexidade das intervenções previstas, aumentando custos ou gerando transtornos adicionais para seus usuários.

De forma geral, os estudos de caso reforçam a idéia de que a utilização de END são ferramentas úteis para a análise de estruturas, visto que os dados obtidos permitem verificar, por exemplo, a presença de corpos estranhos e vazios nas estruturas. Pode-se concluir que, mediante a execução de END é possível contribuir com o controle da deterioração e qualidade das estruturas de concreto.

5. REFERENCIAS

- Andrade, T. (2005), *Tópicos sobre Durabilidade do Concreto*. In: Isaia, G.C. “*Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*”, São Paulo, IBRACON, cap. 25, pp. 753-792.
- Bungey, J. H., Millard, S. G. (1996), “*Testing of Concrete in Structures*”. Chapman & Hall, Glasgow, Escócia.
- Chekroun, M., Le Marrec, L., Abraham, O., Villain, O., Durand, O. (2009). “*Analysis of coherent surface wave dispersion and damping for non destructive testing of concrete*” in: O. Abraham, X. Derobert (Eds.), *Non-Destructive Testing In Civil Engineering (NDTCE 2009)*, Confédération Française pour les Essais Non Destructifs, Paris: FR.
- Cho, Y. S. (2003), *Non-destructive Testing of High Strength Concrete using Spectral Analysis of Surface Waves*. NDT&E International. 36: 229-235.
- Comité Euro-International du Béton. (1993). *CEB-FIP Model Code 1990*. London: Thomas Telford.
- Figueiredo, E. P. (2005), *Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência*. In: Isaia, G.C.. “*Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*”, São Paulo, IBRACON, cap. 33, pp. 985-1015
- Isaia, G. C. (2005), *O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea*. In: Isaia, G.C.. “*Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*”, São Paulo, IBRACON, cap.1, p.1-44.