

RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, contém instruções para aplicação de métodos de ensaio na avaliação da resistência do concreto em estruturas, para interpretação dos resultados destes ensaios e para tomada de decisões conseqüente à avaliação referida.

ABSTRACT

This document presents instructions for test methods (non-destructive and partially non-destructive) for the assessing of concrete strength in concrete structures, and for interpretation of results and consequent decisions.

SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Definições
- 4 Plano de inspeção
- 5 Métodos de ensaio
- 6 Execução da inspeção

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-PRO 179/87 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

Macrodescriptores MT: concreto, ensaio, norma

Microdescriptores DNER: concreto, ensaio, estrutura de concreto

Palavras-chave IRRD/IPR: normalização (9075), resistência (5544), concreto (4755), ensaio (6255), não destrutivo (ensaio) (6216)

Descritores SINORTEC: normalização, ensaio não destrutivo, concretos

Aprovada pelo Conselho de Administração em 09/01/87

Resolução nº 20/87 Sessão nº CA/ 1/87

Processo nº 20100025821/86-9

Autor : DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-PRO 179/87 à DNER-PRO 101/93, aprovada pela DrDTc em 13/04/94.

1 OBJETIVO

Esta Norma fornece instruções para a avaliação da resistência do concreto em estruturas, mediante realização de ensaios especiais no concreto e define as precauções cabíveis na interpretação dos resultados obtidos com estes ensaios.

As disposições desta Norma podem ser utilizadas em complementação à ABNT NB-1 (ver item 2.1.a) como medidas a serem adotadas quando $f_{ck,est}$ não satisfizer ao f_{ck} de projeto, isto é, quando não couber a aceitação automática da estrutura.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Normas complementares

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- a) ABNT NB-1, de 1978, registrada no SINMETRO como NBR-6118, designada Projeto e execução de obra de concreto armado;
- b) ABNT MB-2, de 1983, registrada no SINMETRO como NBR-5738, designada Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos;
- c) ABNT MB-3, de 1974, registrada no SINMETRO como NBR-5739,, designada Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto;
- d) ABNT MB-2039, de 1984, registrada no SINMETRO como NBR-8802, designada Concreto endurecido - determinação da velocidade de propagação de onda ultrasônica;
- e) ANBT NB-695, de 1981, registrada no SINMETRO como NBR-7680, designada Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

2.2 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-PRO 179/87, designada Guia para avaliação da resistência do concreto em estruturas;
- b) An expandable sleeve test for assessing concrete strength, Protásio F. e Castro, 1985 UC London;
- c) Malhotra V.M. - Testing hardened concrete non-destructive methods - ACI, monograph nº 9 - Detroit, Michigan, 1976;
- d) Malhotra V.M. - "In situ non-destructive testing of concrete/A global review" - ACI-SP. 82-1984;
- e) Lewandowski R. - "Vergleich von Bauwerkfestigkeiten und Guterprüfungen" - Betonstein Zeitung, nº 8, 1971.

3 DEFINIÇÕES

Para os fins desta Norma são adotadas as seguintes definições:

3.1 Resistência do corpo-de-prova

Medida da resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, moldados, curados e ensaiados de acordo com as normas ABNT MB-2 e ABNT MB-3 (ver itens 2.1.b e 2.1.c).

3.2 Resistência de testemunho

Resistência do concreto axial de testemunhos extraídos, preparados e ensaiados (rompidos) de acordo com a ABNT NB-695 (ver item 2.1.e).

3.3 Resistência "in-situ" estimada

Resistência do concreto, em determinada localização no elemento estrutural, estimada por meio indireto e expressa em termos de corpos-de-prova cilíndricos, como especificada em 3.1.

3.4 Localização

Região do concreto que, para propósitos práticos, é admitida como sendo de qualidade uniforme.

3.5 Resistência característica de projeto

Resistência do concreto como definida na ABNT NB-1 (ver item 2.1.a).

3.6 Resistência característica estimada

Valor de resistência do concreto estimada de acordo com a ABNT NB-1 (ver item 2.1.a).

3.7 Capacidade de carga de projeto de elemento estrutural

Nível de carregamento para qual o elemento estrutural é projetado e capaz de suportar, dentro dos fatores de segurança, deflexão, deformação ou dano, sem que haja colapso.

3.8 Resistência máxima do elemento estrutural

Carga máxima que o elemento estrutural é capaz de suportar dentro da situação de serviço.

3.9 Ensaio não-destrutivo

Ensaio que não causa qualquer dano ao material concreto.

3.10 Ensaio parcialmente não-destrutivo

Ensaio que causa dano limitado ao concreto sem comprometer o funcionamento do elemento estrutural.

4 PLANO DE INSPEÇÃO

4.1 Informações necessárias para ensaios

O conhecimento da resistência "in-situ" do concreto de um elemento estrutural pode ser necessário por uma ou mais das seguintes razões:

- a) dúvida sobre a resistência do concreto na estrutura como resultado da resistência estimada em corpos-de-prova ($f_{ck, est}$);

- b) dúvida durante a execução quanto à dosagem da mistura, processo de mistura, lançamento, compactação, transporte ou cura do concreto;
- c) deterioração do concreto devido a:
- sobrecarga
 - fadiga
 - ação química;
 - fogo;
 - infiltração e percolação de água;
 - explosão;
 - e outros agentes externos;
- d) confirmação da resistência "in-situ" para:
- antigo sistema de projeto de carga;
 - † sistema atual de carga;
 - sistema de projeto de carga para um novo uso da estrutura.

Qualquer inspeção estrutural deve ser cuidadosamente planejada e executada para que possa ser obtida uma avaliação confiável da resistência do concreto na estrutura. O programa de ensaios dependerá das razões da inspeção e se:

- houver necessidade de uma avaliação da resistência do concreto de um elemento estrutural;
- houver necessidade de comparação de um concreto suspeito com o concreto satisfatório de outras partes da estrutura;
- houver necessidade de inspeção da superfície do concreto ou deste em profundidade;
- houver necessidade de informação complementar, por exemplo, densidade do concreto, qualidade dos materiais utilizados etc.

4.2 Aceitação de resultados de ensaio

Antes do início de qualquer programa de ensaio, é interessante haver um acordo entre as partes interessadas sobre a validade dos procedimentos de ensaios que forem propostos, critério de aceitação e indicação de pessoas e/ou laboratório responsável pelos ensaios.

4.3 Seleção do programa de ensaios

O programa de ensaio será determinado em função dos objetivos da inspeção, das condições de campo e de fatores econômicos.

4.3.1 A escolha do método de ensaio dependerá:

- a) da localização, para o que deverá ser considerado:

- posicionamento do concreto sob suspeição no elemento estrutural;
 - posicionamento das seções sob tensões elevadas;
 - variação da resistência nas camadas de concretagem;
 - posicionamento das armaduras identificadas pelas plantas de armação ou por método de ensaio adequado;
 - necessidade de evitar danos à armadura;
 - presença de defeitos locais que possam influenciar os resultados;
- b) do dano causado pelo ensaio, para o que deverá ser considerado:
- aparência da superfície do concreto do elemento estrutural;
 - corte de parte da armadura ou barra de armadura;
- c) necessidade de precisão do resultado de ensaio que dependerá da natureza da inspeção e da magnitude da resistência a ser medida. O nível de precisão a ser assegurado pode depender:
- do método de ensaio;
 - do número de medidas;
 - da exatidão e confiabilidade das correlações utilizadas.

4.3.2 Precisão da resistência "in-situ" estimada

A confiança com a qual é possível avaliar a resistência "in-situ" do concreto aumentará com o número de avaliações realizadas. Pode-se obter benefícios pela utilização de combinação de ensaios para o aumento da precisão e consideração dos fatores econômicos na avaliação. A combinação de métodos de ensaios pode ser realizada pelas seguintes razões:

- a) uso de método como preliminar a outro. Por exemplo, uso do ultra-som para selecionar áreas de retirada de testemunhos;
- b) uso de ensaio não-destrutivo juntamente com um ensaio parcialmente não-destrutivo para estabelecer uma correlação mais confiável e precisa. Por exemplo, para ser utilizada durante a execução da estrutura;
- c) uso da combinação de dois métodos de ensaios para aumentar a precisão da avaliação da resistência "in-situ" estimada. Por exemplo, em estrutura existente e sem informações sobre correlações durante a execução.

4.3.3 Condições do campo

Devem ser consideradas as seguintes condições de campo na seleção do programa de ensaio:

- a) localização da estrutura e transporte do equipamento de ensaio;
- b) acesso à região suspeita da estrutura;
- c) segurança do pessoal técnico e do usuário.

5 MÉTODOS DE ENSAIO

Apesar de ensaio parcialmente não-destrutivo, a extração de testemunhos do elemento estrutural é a única forma de obter-se medida direta da resistência "in-situ" do concreto.

5.1 Extração de testemunhos

A extração de testemunhos deve seguir a ABNT NB-695 (ver item 2.1.e), atendendo aos requisitos nela especificados.

5.1.1 Seleção de pontos de extração

Cada ponto para extração de testemunhos deve ser selecionado de tal forma que não contenha barra metálica no sentido da altura e tanto menos quanto possível barras no sentido perpendicular à altura.

5.1.2 Número de testemunhos

A quantidade de testemunhos necessários para avaliação dependerá da informação que se quer obter, da precisão com que se quer avaliar a resistência "in situ" e dos custos de extração, preparação e ensaio dos testemunhos.

5.1.3 Dimensões dos testemunhos

As dimensões dos testemunhos devem ser tais que:

- a) o comprimento (altura) seja no mínimo 95% do diâmetro;
- b) o diâmetro do testemunho seja maior ou igual a 3 (três) vezes o diâmetro máximo do agregado utilizado no concreto.

5.1.4 Extração de testemunho

Os testemunhos devem ser extraídos por operador experiente e equipamento em bom estado de manutenção, de acordo com a ABNT NB-695 (ver item 2.1.e).

Deve ser anotada qualquer observação relevante para análise dos resultados dos testemunhos quando ocorrer anormalidade no procedimento de extração.

5.1.5 Preparação e ensaio dos testemunhos

Os testemunhos devem ser preparados e ensaiados segunda a ABNT NB-695 (ver item 2.1.e).

5.1.6 Resistência "in-situ" estimada ($f_{c \text{ est}}$)

- a) testemunhos sem barra de aço - a resistência pode ser obtida pela seguinte equação:

$$f_{c \text{ est}} = \frac{D}{1,5 + 1/r} \times \text{resultado do testemunho}$$

onde:

D - 2,5 para testemunhos extraídos horizontalmente;

D - 2,3 para testemunhos extraídos verticalmente;

r - relação altura/diâmetro do testemunho.

- b) testemunhos com barra de aço - uma correção para a equação acima apresentada deve ser aplicada nos casos em que o testemunho contenha barras de aço perpendiculares ao eixo da altura do testemunho. O fator de correção que multiplicará o valor de $f_{c.est}$ será obtido por:

$$1,0 + 1,5 \left(\frac{\varnothing_1 d}{\varnothing_t h} \right)$$

onde:

\varnothing_1 - diâmetro da barra de aço;

\varnothing_t - diâmetro do testemunho;

d - distância da barra ao mais próximo topo do testemunho;

h - altura do testemunho.

Se o testemunho contiver mais de uma barra, o fator de correção será:

$$1,0 + 1,5 \times \frac{\sum_i^n \varnothing_i d}{\varnothing_t h}$$

onde:

\varnothing_i - diâmetro da barra de aço.

5.2 Ensaio de medida indireta da resistência "in-situ" do concreto

A resistência "in-situ" estimada por ensaios indiretos será determinada através de curva de correlação estabelecida sobre a mistura em amostras onde foram realizados ensaios de compressão em cilíndricos e pelo ensaio para estimar a resistência.

A curva de correlação só será utilizada para determinação da resistência "in-situ" estimada quando:

$$E \leq 4 \text{ N/mm}^2$$

onde:

$$E = t S_d$$

sendo:

t - o valor de Student para o número de ensaios realizados, o nível de 5% de erro e o grau de liberdade;

S_d - é o desvio padrão dos resíduos para a curva de correlação quando na dimensão de N/mm^2 .

Recomenda-se que as curvas de correlações sejam obtidas em 30 valores de resultados e por variação na mistura do fator água/cimento e da idade de ensaio.

5.2.1 Ensaio de dureza superficial (esclerometria)

Os ensaios de dureza superficial têm limitada sua aplicação a idades entre 3 (três) e 3 (três) meses. Concretos com idades menores que 3 (três) dias estão sujeitos a danos e grande variação no resultado do ensaio. Nos concretos com idades superiores a 3 (três) meses, que sofreram carbonatação na superfície, os resultados do ensaio estimam favoravelmente a resistência "in-situ", sujeita portanto a um erro de avaliação.

Apesar do resultado do ensaio sofrer influência de diversos fatores, como por exemplo tipo do agregado, a determinação da variação da qualidade do concreto por localização, por elemento estrutural, por uma série de elementos estruturais onde uma mesma mistura tenha sido empregada, é vantajosa.

5.2.2 Ensaio por pulso ultrassônico

Ensaio por pulso ultrassônico não mede diretamente a resistência do concreto. Entretanto, o resultado do ensaio relaciona-se com a qualidade do concreto. As correlações com a resistência variam com a proporção da mistura e em particular com as propriedades do agregado.

A maior vantagem do ensaio está na determinação da variação da qualidade do concreto por localização, por elemento estrutural, por uma série de elementos estruturais, onde uma mesma mistura tenha sido empregada.

Quando a resistência do concreto houver sido determinada e forem obtidos os resultados do pulso ultrassônico sobre a mesma amostra, a curva de correlação para aquela mistura pode ser obtida e nessas circunstâncias o ensaio por pulso ultrassônico pode ser utilizado para estimar a resistência do concreto.

5.2.3 Ensaios de arrancamento

São ensaios baseados na força necessária para retirar um parafuso ou peça metálica do concreto.

Os ensaios de arrancamento podem ser realizados por fixação do parafuso antes da concretagem ou por colocação da parte metálica através de broqueamento.

Os ensaios de arrancamento caracterizam-se por serem realizados com equipamento que utiliza anel de reação.

Apesar de medirem uma propriedade diretamente ligada à resistência do concreto os resultados são influenciados por: diâmetro do anel de reação, dimensões do parafuso e dimensão do agregado gráudo.

As variações nas curvas de correlações dos ensaios de arrancamento são menores por medirem uma propriedade diretamente relacionada com a resistência do concreto, entretanto as curvas devem ser estabelecidas previamente.

5.2.4 Ensaios de fratura do concreto

Estes ensaios caracterizam-se por provocarem uma fratura no concreto por expansão de uma luva. A propriedade do concreto medida por este tipo de ensaio está diretamente relacionada à resistência. As correlações com a resistência e o resultado do ensaio variam com o tipo do agregado.

Apesar de pequenas, as variações das curvas de correlação com o tipo do agregado demonstram que há necessidade de serem previamente estabelecidas as correlações para as misturas a serem utilizadas.

5.2.5 Ensaios de descolagem

Estes ensaios caracterizam-se por colagem de uma placa metálica na superfície do concreto com resina epoxi e pela força necessária à retirada dessa placa.

No concreto com idade superior a 3 (três) meses, que sofreu carbonatação na superfície, o resultado do ensaio estima favoravelmente a resistência "in-situ", portanto com erro superestimando a resistência.

Apesar do resultado do ensaio sofrer influência de diversos fatores, como por exemplo tipo do agregado e tipo da epoxi utilizada, a determinação da variação da qualidade do concreto por localização, por elemento estrutural, para uma série de elementos estruturais, onde uma mesma mistura tenha sido empregada, é vantajosa.

5.2.6 Ensaio por penetração de pinos

Baseado na medida de resistência do concreto à penetração de pinos disparados contra a superfície, o resultado deste ensaio é influenciado por fatores como o tipo do agregado e composição da pólvora. Entretanto, a determinação da variação da qualidade do concreto por localização, por elemento estrutural, para uma série de elementos estruturais, onde uma mesma mistura tenha sido empregada, é vantajosa.

6 EXECUÇÃO DE INSPEÇÃO

Considerados os fatores relacionados no Capítulo 4 para a determinação e execução de um programa de ensaios, a interpretação dos resultados e decisões a serem tomadas para ações futuras dependerão de:

- a) variação da resistência "in-situ";
- b) localização e número de ensaios;
- c) interpretação dos resultados;
- d) ações potenciais a serem tomadas.

6.1 Variação da resistência "in-situ"

Deve ser considerado que:

- a) resistência "in-situ" pode variar aleatoriamente dentro do elemento estrutural;
- b) a magnitude da variação da resistência "in-situ" dentro de um elemento estrutural varia de um elemento a outro;
- c) partes superiores e inferiores de elementos estruturais estão sujeitas à variação da resistência por fatores inerentes à concretagem.

Devem ser consideradas estas variações e caso elas sejam excessivas, novos ensaios devem ser realizados.

6.2 Localização dos ensaios

A resistência "in-situ" estimada deve ser obtida por uma média de resultados de ensaios em uma única localização. Qualquer variação entre resultados individuais será assumida como erro de ensaio ao invés de variação da qualidade do concreto sob inspeção. Se esta hipótese não for confiável, novos ensaios devem ser realizados.

O número de medidas da resistência "in-situ" estimada deve ser suficiente para permitir variações na qualidade do concreto a ser identificada e definida. Maior número de ensaios deve ser realizado em áreas localizadas como de baixa resistência do concreto e consideradas como de pior resultado.

O objetivo da maioria das inspeções será estabelecer, para um elemento estrutural particular, a resistência "in-situ" em:

- a) uma seção crítica de projeto;
- b) uma região de resistência mais baixa;
- c) qualquer outra área por motivo de interesse;

O objetivo pode ser alcançado por:

- a) inspeção visual;
- b) mapeamento do elemento estrutural por ensaio;
- c) detalhamento da observação mapeada através de ensaio em região pré-estabelecidas.

6.3 Interpretação dos resultados

Admitindo-se que existem muitas razões para a realização de uma avaliação da resistência do concreto, é recomendável fixar apenas uma orientação geral para a interpretação dos resultados.

O projeto estrutural é baseado em princípios que consideram a resistência do concreto como uma variável aleatória devido às características do material e da produção, e também que os resultados de ensaio de resistência seguem uma distribuição normal. Inevitavelmente existem diferenças entre a resistência "in-situ" e aquela obtida em corpos-de-prova moldados. No projeto essa diferença é considerada através do fator de segurança σ m. Portanto, as curvas de correlações a serem obtidas devem ser baseadas em ensaios realizados em corpos-de-prova sob mesma condição de mistura, compactação e cura, de acordo com as ABNT MB-2 e MB-3 (ver itens 2.1.b e 2.1.c).

O nível de magnitude da resistência "in-situ", que deve ser considerado com aceitável, é de julgamento do engenheiro. Entretanto, recomenda-se que não deve ser inferior a 1,2 vezes a resistência característica de projeto.

O nível da resistência "in-situ" do concreto deve considerar o desenvolvimento de anomalias ou deterioração futura, que poderá ser causada por diversos fatores, tais como ataque químico, vibração, impacto ou outras circunstâncias. Portanto, cabe ao engenheiro considerar estes fatores e analisar os resultados obtidas.

6.4 Decisões potenciais a serem tomadas

A decisão a ser tomada em relação a um elemento estrutural deve ser determinada pelo engenheiro, comportando desde a aceitação da peça estrutural, apesar de existirem anomalias, até a restauração ou demolição da peça analisada. Deve o engenheiro considerar a realização de prova de carga na peça ou estrutura, antes de tomar decisões baseadas apenas nos resultados de avaliação da resistência "in-situ" de concreto.

Na definição da decisão a ser tomada, o engenheiro deve considerar os aspectos técnicos e econômicos e também as consequências que possam ocorrer devido à decisão adotada, como por exemplo, segurança e alteração nas finalidades da estrutura, cabendo a consideração dos seguintes fatores:

- a) carga atual no elemento estrutural e a carga de projeto comparadas com o fator de segurança apropriado;
- b) possível efeito de qualquer redução na qualidade da resistência e durabilidade de elemento estrutural;
- c) a influência da idade na resistência "in-situ" do concreto.