

**Título do Trabalho:** Perícia em Viaduto Rodoviário – Verificação quanto à necessidade de reforço estrutural em função da não-conformidade do concreto.

**Autor:** Eng. Civil Luís Henrique Poy, *Esp.*

Especialista em *PATOLOGIA NAS OBRAS CIVIS*

[luis.poy@terra.com.br](mailto:luis.poy@terra.com.br)

## RESUMO

Há algum tempo o meio técnico vive divergências entre concreteiras e empresas de controle tecnológico, no que diz respeito à resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ). Trata este trabalho da síntese de perícia judicial realizada em viaduto rodoviário que teria necessitado a execução de reforço estrutural em pilares e vigas, em decorrência de suposta baixa resistência do concreto empregado. Passados mais de 4 anos do ocorrido, dadas dificuldades de acesso e o tipo de reforço empregado – por “encamisamento” –, a realização de ensaios *in loco* mostrou-se inviável e a metodologia de análise foi baseada em extensa pesquisa documental e bibliográfica, checando as condições de conformidade e consistência das informações disponibilizadas e obtidas. Ao final restou evidenciada falha no processo de controle tecnológico. Mesmo o concreto apresentando não-conformidade – com resistência cerca de 10% abaixo da exigida em projeto –, poderia ser aceito, dispensando a realização do reforço estrutural então executado.

**PALAVRAS-CHAVE:**  $f_{ck}$ , *Reforço Estrutural, Não Conformidade, Controle Tecnológico.*

**XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE  
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013**

## **1 EXPOSIÇÃO**

Em síntese, trata este trabalho pericial da **apuração das causas, origens e responsabilidades em face de alegados problemas de resistência do concreto ( $f_{ck}$  abaixo de especificado)**, ocorridos durante a construção do chamado “VIADUTO X”, em Blumenau-SC.

Viaduto Rodoviário em concreto armado (Classe 45), erigido pela CONSTRUTORA X para efetuar a transposição de Rua Municipal sobre uma Rodovia Nacional (BR), no município de Blumenau-SC. Seu sistema construtivo consistiu em fundações por estacas pré-moldadas em concreto, blocos – pilares – vigas em concreto armado moldado *in loco* e lajes e demais elementos em concreto pré-moldado.

Durante a prova pericial, foram retiradas as fotografias apresentadas na seqüência, evidenciando a situação encontrada atualmente, com destaque para os elementos que receberam reforço estrutural (alguns pilares e vigas).



**Figura 01** – Fotografia dos seis pilares centrais (pilares do 04 ao 09), que receberam reforço estrutural.



**Figura 02** – Fotografia da viga-travessa no apoio 04. As Vigas-travessas 01 e 04 receberam reforço.

**XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE  
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013**

**1.1 VISITA TÉCNICA À CENTRAL DE CONCRETO DA CONCRETEIRA X**

No dia 19 de fevereiro de 2012 foi realizada visita técnica agendada com intuito de retirar documentação técnica complementar e também para conhecimento das instalações, do processo produtivo e do controle de qualidade empregados na central que produziu o concreto objeto da lide.

As fotografias apresentadas na sequência ilustram os aspectos mais relevantes observados.



**Figura 03** – Balança manual para carga (cimento, agregados e água).



**Figura 04** – Equipamento para retificação dos corpos de prova.



**Figura 05** - Vista geral do laboratório, com tanques para cura dos corpos de prova (sem controle de temperatura da água).



**Figura 06** – Tanque com corpos de prova em cura. Observar identificação numérica, realizada manualmente.

**XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE  
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013**



**Figura 07** – Prensa hidráulica por acionamento manual, para a ruptura dos corpos de prova.

Identificação	Data da Prova	Resultado	Observações
601	18/08/2013	1310	
602	17/08/2013	2232	
603	20/08/2013	1252	
604	21/08/2013	2137	
605	21/08/2013	2232	
606	22/08/2013	1820	
607	22/08/2013	2232	
608	22/08/2013	2232	
609	22/08/2013	2232	
610	22/08/2013	2232	
611	22/08/2013	2232	
612	22/08/2013	2232	
613	22/08/2013	2232	
614	22/08/2013	2232	
615	22/08/2013	2232	
616	22/08/2013	2232	
617	22/08/2013	2232	
618	22/08/2013	2232	
619	22/08/2013	2232	
620	22/08/2013	2232	
621	22/08/2013	2232	
622	22/08/2013	2232	
623	22/08/2013	2232	
624	22/08/2013	2232	
625	22/08/2013	2232	
626	22/08/2013	2232	
627	22/08/2013	2232	
628	22/08/2013	2232	
629	22/08/2013	2232	
630	22/08/2013	2232	
631	22/08/2013	2232	
632	22/08/2013	2232	
633	22/08/2013	2232	
634	22/08/2013	2232	
635	22/08/2013	2232	
636	22/08/2013	2232	
637	22/08/2013	2232	
638	22/08/2013	2232	
639	22/08/2013	2232	
640	22/08/2013	2232	

**Figura 08** – “Formulário” com anotação dos resultados de ruptura, para posterior digitação.

**1.2 VISITA TÉCNICA A CENTRAIS DE CONCRETO DE EMPRESAS CONCORRENTES**

Foi realizada visita técnica a outras concreteiras concorrentes. As informações obtidas foram de grande valia para efeito de entendimento das diferenças quanto ao estágio tecnológico e a metodologia de controle empregado. As fotografias apresentadas a seguir ilustram os principais aspectos observados.

**XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE  
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013**



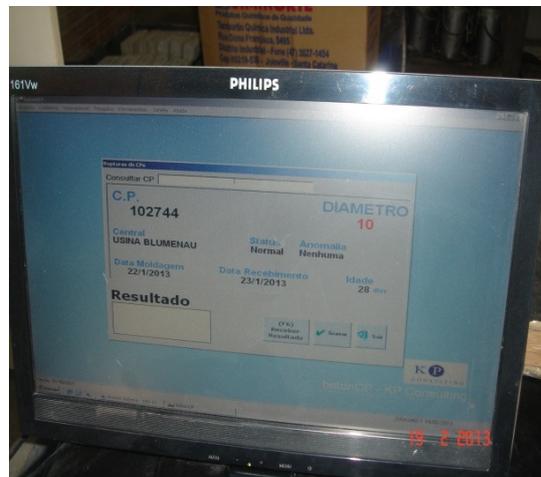
**Figura 09** – Equipamento para retificação dos corpos de prova.



**Figura 10** – Tanque com corpos de prova em cura (com controle de temperatura).



**Figura 11** – Tanque com corpos de prova em cura. Observar identificação numérica com código de barras.

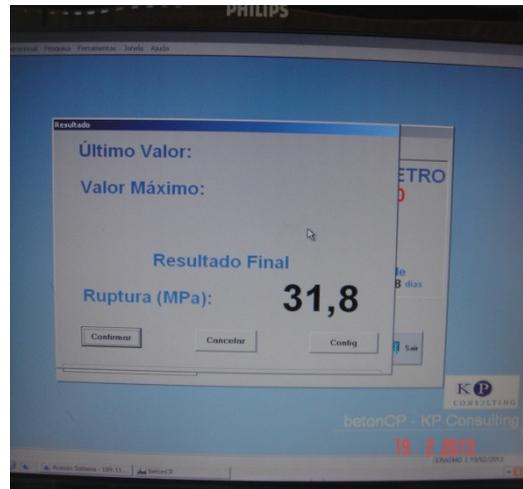


**Figura 12** – Cadastro dos dados do corpo de prova que está sendo rompido, obtidos a partir de código de barras.

**XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE  
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013**



**Figura 13** – Prensa hidráulica automatizada, com leitor de código de barras.



**Figura 14** – Resultado da resistência do corpo de prova rompido (captura automática).

## **2 ANÁLISE**

### **2.1 HISTÓRICO DOS FATOS E PERSONAGENS MAIS RELEVANTES**

.1- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, neste caso tendo a função de proprietário da obra;

.2- CONSTRUTORA X – Empresa responsável pela execução da obra, em regime de empreitada global (fornecimento de projetos, materiais e mão-de-obra);

.3- SUPERVISORA – Empresa encarregada da supervisão da obra (por contratação do DNIT), respondia pelo controle de qualidade e conformidade (ensaios tecnológicos, conformidade em relação ao projeto, etc.);

.4- PROJETISTA – Empresa responsável pelo projeto estrutural e pelo posterior projeto de reforço estrutural do viaduto;

.5- CONCRETEIRA X – Empresa concreteira responsável pela produção e fornecimento de parte do concreto empregado na obra, supostamente com resistência aquém do especificado;

.6- CONCRETEIRA Y – Empresa concreteira responsável pela produção e fornecimento da parcela complementar do concreto empregado na obra, sucedendo a CONCRETEIRA X ;

.7- CONTROLE TECNOLÓGICO – Empresa de controle tecnológico contratada pela CONSTRUTORA X para realizar ensaios paralelos de ruptura de corpos-de-prova e testemunhos para verificação da resistência do concreto;

.8- LABORATÓRIO – Entidade responsável pela realização de contraprova para verificação da resistência do concreto, através de ensaio de ruptura de testemunhos, tendo sido contratada pela CONCRETEIRA X.

### **2.2 BREVE REVISÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS APLICÁVEIS**

Ainda que as partes contam com assistentes técnicos, dada aridez e natureza eminentemente técnica do tema, entende-se recomendável ao bom entendimento de todos os interessados que sejam estabelecidos e lembrados os principais conceitos aplicáveis e abordados neste Laudo Pericial, como apresentado na sequência:

#### **.a) Concreto:**

Numa abordagem bastante singela chama-se de concreto à mistura corretamente proporcionada de cimento, agregados (areia e britas), água e aditivos, recebendo este proporcionamento o nome de **traço**.

Dentre suas principais características convém destacar a elevada resistência mecânica aos esforços de compressão e também sua baixa resistência aos esforços de tração (correspondendo a cerca de apenas 10% de sua capacidade resistente à compressão).

Para compensar esta sabida deficiência aos esforços de tração utiliza-se conjuntamente barras de aço, de sorte que este material apresenta bom desempenho tanto a tração quanto à compressão. Desta união de qualidades surge então o “concreto armado”.

Do bom desempenho que o concreto possui quando solicitado à compressão vem sua relevância quando aplicado em elementos estruturais submetidos predominantemente a este tipo de esforço, como os pilares. Nestes, a parcela de carga absorvida pelo concreto é substancial.

Quando da elaboração do projeto estrutural – o qual vai determinar as dimensões e posicionamento dos diversos elementos que comporão o “esqueleto” da edificação –, caberá ao engenheiro calculista definir qual a resistência à compressão que será requerida ao concreto (o chamado  $f_{ck}$ ).

**Esta resistência ( $f_{ck}$ ) será utilizada para dimensionar todos os elementos estruturais – dos blocos de fundação, aos pilares, vigas e lajes –, vindo por isso a ser a característica mais importante do concreto.**

É consenso no meio técnico que a relação entre a quantidade de água e a quantidade de cimento é o fator que melhor explica a resistência à compressão dos concretos, a chamada **relação água/ cimento** (ou **fator a/c**).

Sendo assim, conclui-se que para obtenção de concretos de maior resistência não basta aumentar simplesmente o consumo de cimento, posto que se houver incremento de água em proporção superior, o **fator a/c** aumentará e, portanto, a resistência à compressão será diminuída, ainda que com emprego de uma maior quantidade de cimento.

Atualmente, nas obras de maior porte predomina o uso do chamado “concreto usinado”, ou seja, preparado em centrais de concreto, às quais cabe produzir o concreto dentro dos parâmetros necessários e exigíveis.

Para o controle de resistência do concreto produzido elaboram-se corpos-de-prova padronizados (**CPs**) que são coletados por amostragem. Deverão ser coletados no mínimo dois CPs para cada idade de controle – chamados “irmãos” – e sendo fundamental o controle na idade de 28 dias. No processo de ruptura dos CPs em prensas apropriadas será considerado o maior dos valores obtidos ( $f_c$ ) entre os dois “irmãos” rompidos, sendo esta a chamada resistência do **EXEMPLAR**.

**.b)  $f_{ck}$  – resistência característica do concreto à compressão:**

Resistência à compressão adotada quando da elaboração do projeto estrutural da edificação. Convencionou-se que o  $f_{ck}$  **corresponderá à resistência do concreto à compressão atingida aos 28 dias**, embora seja sabido que a resistência dos concretos sofra incrementos importantes ao longo do tempo, sendo que esta parcela de incremento varia bastante em função principalmente do tipo de cimento empregado.

Também se estabeleceu a obrigatoriedade do controle estatístico afim de assegurar a obtenção desta resistência aos 28 dias.

Desta maneira restou definido que o  $f_{ck}$  **é a resistência do concreto à compressão aos 28 dias, a qual deverá ser superada por pelo menos 95% dos resultados obtidos**, ou seja, de cada 100 elementos testados pelo menos 95 deles deverão apresentar resistência igual ou superior ao chamado  $f_{ck}$ .

Tendo em vista a importância em se garantir que o concreto produzido atinja o  $f_{ck}$  desejado e dada grande quantidade de variáveis que incidem na sua produção – p.ex., variações climáticas, alterações dos materiais constituintes (cimento e agregados), possibilidade de erros de mistura, etc. – torna-se necessário que se estabeleça controle rigoroso que reduza a possibilidade de falha.

A seguir encontram-se reproduzidos os desvios máximos ocasionados pelos vários fatores que incidem no processo de produção do concreto.

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

**Tabela 1** – Principais Fatores que Influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto medido no ensaio de controle (adaptado de HELENE, 1981).

<b>Causa da Variação x Efeito Máximo no Resultado</b>	
<b>A - Materiais</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Variabilidade da Resistência do Cimento (+/- 12%)</li><li>- Variabilidade da Quantidade Total de Água (+/- 15%)</li><li>- Variabilidade dos Agregados (principalmente miúdos) (+/- 8%)</li></ul>
<b>B - Mão de Obra</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Variabilidade do Tempo e Procedimento de Mistura (+/- 30%)</li></ul>
<b>C - Equipamento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ausência de Aferição de Balanças (+/- 15%)</li><li>- Mistura Inicial, Sobre e Subcarregamento, Correias e etc. (+/-10%)</li></ul>
<b>D- Procedimentos de Ensaio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coleta Imprecisa (+/- 10%)</li><li>- Adensamento Inadequado (+/- 50%)</li><li>- Cura (efeito considerado aos 28 dias ou mais) (+/- 10%)</li><li>- Remate Inadequado nos Topos (+/- 30%) para concavidade) (+/- 50%) para convexidade)</li><li>- Ruptura (velocidade de carregamento) (+/- 5%)</li></ul>

Assim, mesmo que adotado todo o rigor possível nas várias etapas do processo, é fato indiscutível que há sempre possibilidade de ocorrência de erros no transcorrer das operações, o que exige a adoção de medidas compensatórias para garantia do nível de segurança pretendido.

São as seguintes as variantes do  $f_{ck}$  que serão abordadas neste trabalho pericial:

.b.1)  $f_{ck}$  **potencial** ( $f_{ck\ pot}$ ) – aquele obtido pela empresa concreteira, a partir da ruptura de corpos-de-prova e mediante o emprego das melhores práticas preconizadas pelas normas técnicas, em particular a cura por imersão por período

de 28 dias em solução saturada de hidróxido de cálcio, a temperatura controlada (23 +/- 2)°C;

.b.2)  $f_{ck}$  **estimado** ( $f_{ck\ est}$ ) – aquele obtido a partir do controle tecnológico realizado em obra, através da moldagem e ruptura de corpos-de-prova. Contempla, pois, alguns desvios provenientes das operação de ensaio (p.ex., falhas na moldagem, etc.);

.b.3)  $f_{ck}$  **extração** ( $f_{ck\ ext}$ ) – aquele proveniente da extração de testemunhos diretamente da estrutura executada, razão pela qual já traz incorporado alguns desvios decorrentes da execução (p.ex., cura deficiente, problemas de adensamento, etc.). Logo, tem-se que:

$$f_{ck\ ext} < f_{ck\ est} < f_{ck\ pot}$$

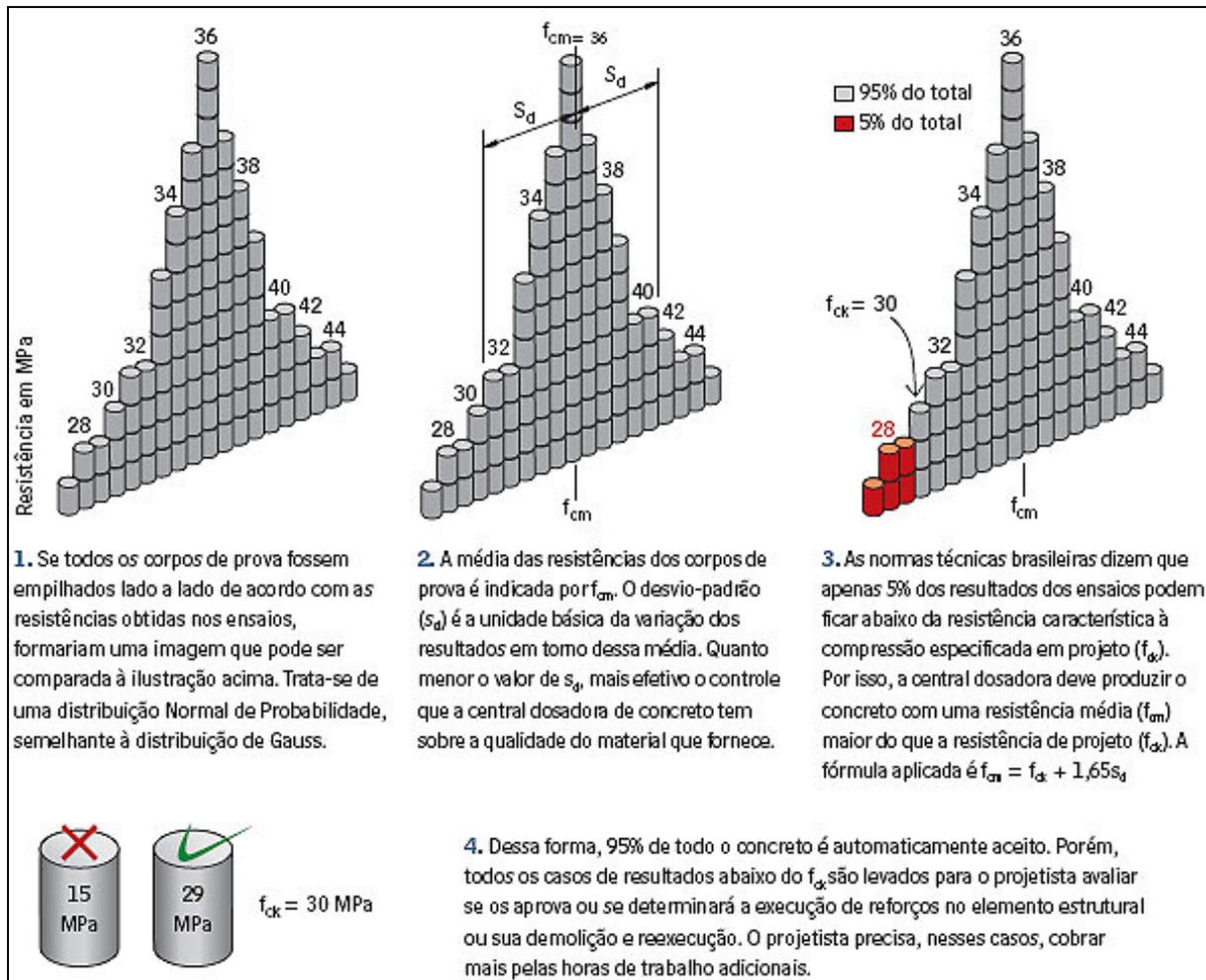
**.c)  $f_{cmj}$  - resistência de dosagem do concreto.**

Dadas as características inerentes à produção do concreto – variações das propriedades dos materiais constituintes, possibilidade de erros de operação durante mistura, transporte, etc... -, para que se consiga assegurar a obtenção do  $f_{ck}$  torna-se necessária a inclusão de uma ‘folga’ que compense os efeitos negativos acima listados (chamados genericamente de desvios de produção).

Na prática é como se tivéssemos:  $f_{cmj} = f_{ck} + \text{MARGEM DE SEGURANÇA}$

Esta margem de segurança poderá ser tanto menor quanto mais rigorosos forem os procedimentos de controle de qualidade empregados na produção do concreto (estatisticamente estes desvios de produção constituem o chamado **desvio-padrão – Sd**).

Para melhor entendimento e visualização apresenta-se a figura a seguir.



Fonte: Revista TÉCNICA – edição 152 (nov09).

**.d) Conformidade:**

Diz-se que o concreto está conforme sempre que atender a requisitos pré-estabelecidos em uma especificação técnica ou contrato de fornecimento, sendo os mais usuais e principais:

- A resistência à compressão aos 28 dias ( $f_{ck}$ );
- A consistência (*Slump*);
- O tamanho máximo do agregado graúdo (britas 0, 1, 2, etc.).

Também há que se respeitar sempre as recomendações das Normas Técnicas aplicáveis, que têm caráter compulsório.

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

#### 2.3 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA DE MAIOR INTERESSE, PRESENTE NOS AUTOS:

**.a)** Contrato de fornecimento da CONCRETEIRA X para a CONSTRUTORA X:

Firmado em 29/03/08, estabelecia as seguintes especificações técnicas para o concreto a ser fornecido:  $f_{ck}=25\text{Mpa}$ ; *Slump* (100 +/- 20)mm; Britas 0 + 1, aplicado por bombeamento;

**.b)** Notas fiscais de fornecimento da CONCRETEIRA X;

**.c)** Reprodução de fotografia relativa à concretagem de pilares, apresentada pela CONSTRUTORA X ;

**.d)** Ofício do DNIT para a CONSTRUTORA X (contendo em anexo os relatórios de controle tecnológico emitidos pela SUPERVISORA e pelo CONTROLE TECNOLÓGICO), pedindo paralização das concretagens, em função do concreto ter apresentado  $f_{ck}$  abaixo do especificado – datado de 08/09/08;

**.e)** *Certificado de rompimento de corpos-de-prova* emitido pela CONCRETEIRA X, indicando as resistências de ruptura obtidas em seu controle tecnológico – datado de 03/09/2008;

**.f)** Ofício da CONSTRUTORA X para o DNIT, encaminhado para análise o projeto de reforço nos pilares (4, 5, 6, 7, 8 e 9) e vigas-travessas (1 e 4) – datado de 15/10/08;

**.g)** Ofício do DNIT para a CONSTRUTORA X, autorizando a execução do reforço proposto – datado de 24/10/08;

**.h)** Ofício da CONSTRUTORA X para o DNIT, informando a conclusão dos trabalhos de reforço nos pilares (4, 5, 6, 7, 8 e 9) e vigas-travessas (1 e 4) - datado de 17/12/08.

#### 2.4 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA COMPLEMENTAR E INFORMAÇÕES RELEVANTES OBTIDAS:

**.a) DNIT – Contato com o Engenheiro:**

Em contato telefônico estabelecido em 04/03/2013 foram obtidas as seguintes informações:

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

.1- O local de extração dos testemunhos ensaiados pelo CONTROLE TECNOLÓGICO fora por este engenheiro definido, sendo que acompanhou pessoalmente os procedimentos de extração e ensaio, atestando sua conformidade e adequação ao caso;

.2- Durante o intervalo de tempo transcorrido entre os ofícios determinando a paralização dos serviços de concretagem (08/09/08) e autorizando a realização do reforço estrutural proposto (24/10/08) a CONSTRUTORA X permaneceu com seu efetivo em obra, executando outros serviços previstos em contrato;

#### **.b) SUPERVISORA – Contato com o laboratorista da obra:**

Em contatos telefônicos estabelecidos foram obtidas as seguintes informações:

.1- Coube a este profissional o processo de conferência de *Slump*, moldagem e cura inicial dos corpos-de-prova (CPs), tendo sido adotado controle tecnológico por **amostragem total**;

.2- Semanalmente os CPs eram por ele transportados até o laboratório da SUPERVISORA – devidamente protegidos e acondicionados em caixa contendo serragem ou areia molhada- , onde dava-se sequência ao procedimento de cura por imersão sem controle de temperatura, até a data prevista para ruptura. Procedia-se, então, a regularização dos CPs por retificação e imediata ruptura em prensa (Classe 2). Os dados de ruptura eram registrados em formulário próprio e enviados para o Eng. Residente da obra (SUPERVISORA), a quem caberia o lançamento/ análise dos resultados obtidos e a elaboração de relatório;

.3- Não houve acompanhamento pela SUPERVISORA quanto ao processo de extração e ruptura de testemunhos;

.4- Pelo Engenheiro-residente da SUPERVISORA na obra, foram disponibilizados documentos diversos: Certificado de Calibração de prensa (classe 2), Relatórios de Controle Tecnológico, Relatórios Mensais de Acompanhamento dos Serviços, ARTs – Anotações de Responsabilidade Técnica junto ao CREA-SC, etc.;

#### **.c) CONCRETEIRA X: Contato com o auxiliar de laboratório:**

.1- A balança que controla a carga de cimento, agregados e água possui acionamento manual, sendo as quantidades definidas em tabela elaborada em função de cada tipo de concreto pretendido. Sofre aferições/ calibrações periódicas;

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

- .2- A amostra obtida para efeito de controle tecnológico obedeceu a divisão em lotes formados a partir da NBR 12655/2006 (amostragem parcial – a cada 50m<sup>3</sup>);
- .3- Até a época dos fatos o processo de moldagem dos CPs era realizado pelos próprios motoristas dos caminhões-betoneira. Atualmente adota-se o processo de 'moldagem remota', ou seja, o concreto é coletado pelos motoristas *a granel* e os CPs moldados pelo laboratorista da concreteira, quando do retorno do caminhão à central;
- .4- Após a desforma (24h) os CPs são identificados e submetidos a cura por imersão sem controle de temperatura, onde permanecem até a data de ruptura;
- .5- Na época dos fatos o processo de regularização dos CPs se dava por aplicação de argamassas à base de enxofre. Atualmente é realizado processo de retificação;
- .6- A prensa utilizado para ruptura dos CPs tem acionamento manual (ano de fabricação 1988) e a velocidade de aplicação de carga é controlada pelo próprio operador. Sofre verificações semanais de alinhamento dos pratos (por teste com papel carbono) e aferições/ calibrações periódicas;
- .7- A carga de ruptura é registrada manualmente em formulário pelo próprio operador da prensa (Classe 2) e encaminhado para o Líder da Central, para posterior análise e lançamento (digitação) em planilha própria;
- .8- A central tem produção média mensal de cerca de 3.000m<sup>3</sup> e conta atualmente com a seguinte estrutura de trabalho: 1 líder da central; 1 operador de balança, 1 administrativo, 1 laboratorista, 1 ajudante de laboratório, 9 motoristas e 1 operador de pá-carregadeira;
- .9- A CONCRETEIRA X não tem vendedores externos, sendo que o processo de visita e negociações junto a clientes fica a cargo do Líder da Central, a quem cabe também todo o gerenciamento da central;
- .10- O Engenheiro (Assistente Técnico da CONCRETEIRA X, disponibilizou uma série de documentos técnicos: traços do concreto, planilhas de apuração do desvio-padrão da central, certificado de calibração de prensa; ARTs – Anotações de Responsabilidade Técnica junto ao CREA-SC, etc.;
- .11- Foi disponibilizado pelo representante da CONCRETEIRA X, *Relatório de Ensaio de testemunhos (nº. 68688)*, contra-prova elaborada a pedido da CONCRETEIRA X pelo LABORATÓRIO, emitido em 24/10/08.

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

### **.d) CONCRETEIRA Y - Engenheiro (Coordenador de Tecnologia) e representante (Supervisão Comercial):**

- .1- A balança já à época dos fatos era automatizada;
- .2- Adota amostragem parcial, com lotes não superiores a 20m<sup>3</sup>;
- .3- A moldagem dos CPs à época dos fatos era realizada pelos motoristas. Atualmente efetua-se 'moldagem remota', ou seja, os motoristas coletam o concreto a *granel* na obra e trazem até a central, onde o laboratorista realiza a moldagem;
- .4- A cura já à época dos fatos ocorria por imersão, com controle de temperatura;
- .5- A regularização dos CPs já à época dos fatos utilizava retífica e neoprene;
- .6- A prensa já à época dos fatos era automatizada;
- .7- O registro e captura dos valores obtidos na ruptura dos CPs já era automatizado, à época dos fatos;
- .8- Cópia do contrato de fornecimento firmado com a CONSTRUTORA X e espelho das notas fiscais de fornecimento (indicando um volume total fornecido de 1.064m<sup>3</sup>), entre 23/10/08 e 31/03/10;
- .9- Os traços de concreto, os desvios-padrão da central e os **f<sub>ck</sub> médios** de produção.

### **.e) CONSTRUTORA X – Engenheiro (Assistente Técnico):**

- .1- Projetos estrutural e de reforço, executados pelo PROJETISTA;
- .2- Cópia de notas fiscais relativas ao fornecimento da CONCRETEIRA X;
- .3- Cópia de documentos contratuais: extrato de contrato, cronograma, ARTs – Anotações de Responsabilidade Técnica junto ao CREA-SC, etc.... .

## 2.5 PRINCIPAIS NÃO CONFORMIDADES E INCONSISTÊNCIAS OBSERVADAS:

### **.a) Laudos de controle tecnológico emitidos pela SUPERVISORA:**

Tendo sido adotado o processo de controle tecnológico por amostragem total (ou seja, coleta de CPs relativos a todos os caminhões-betoneira utilizados),

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

observa-se grave erro conceitual quanto ao processo de análise e cálculo do  $f_{ck\ est}$ , contido nas planilhas apresentadas pela SUPERVISORA.

Ocorre que estas planilhas não respeitaram a divisão das etapas de concretagem em lotes (conforme exige NBR 12655/2006 – Tab.7) e muito menos utilizaram a metodologia correta de cálculo para obtenção do  $f_{ck\ est}$  (conforme exige NBR 12655/2006 - 6.2.3.2), que consistiria em ordenar de maneira crescente os valores de ruptura obtidos, sendo o  $f_{ck\ est}$  simplesmente o menor destes valores ( $f_1$ ), sem necessidade de quaisquer outros cálculos (tais como: valores médios e desvio-padrão).

Outrossim, o referido laudo de controle tecnológico omite informações relevantes e obrigatórias de acordo com prescrições normativas (NBR 5739/2007 – 6.2), tais como:

- Tipo de regularização empregado nos CPs;
- Classe da máquina de ensaio utilizada (prensa);
- Resultados individuais de ruptura dos CPs e do Exemplar.

#### **.b) Ruptura de CPs e extração/ ruptura de testemunhos pelo CONTROLE TECNOLÓGICO:**

Inicialmente convém que se observe que o CONTROLE TECNOLÓGICO ressalva em seus relatórios que recebeu os CPs e os testemunhos a serem rompidos de terceiros, não tendo realizado sua moldagem ou extração e muito menos sabendo com que procedimentos e equipamentos foram obtidos. Tal situação foi ratificada em contato direto realizado por este Perito.

Contudo, da análise dos Autos, constam documentos e notas fiscais relativos à cobrança pelo CONTROLE TECNOLÓGICO por serviços de moldagem de CPs, extração e ruptura de testemunhos, fato que representa contradição importante e impõe, no mínimo, sérias dúvidas quanto ao rigor das medidas empregadas. Deste *Relatório de Ruptura dos Testemunhos* também consta que foi observada quantidade excessiva de argamassa nos testemunhos e que os ensaios foram acompanhados pelo engenheiro representante do DNIT e por dois engenheiros representantes da CONSTRUTORA X.

Há que se registrar também, que embora a extração tenha se dado em 05/09/08 a ruptura dos testemunhos se deu somente em 19/09/08 - após transcurso de 14 dias -, o que não encontra justificativa técnica e nem condiz com a celeridade necessária à tomada de decisão exigida pelo caso.

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

Já o *Relatório de Ruptura de Corpos de Prova*, à exceção dos CPs 28 e 29, apresenta-se em desacordo com as prescrições normativas (NBR 5739 - 5.3 – Tabela 1), já que a idade dos CPs ultrapassou a tolerância permitida.

Do ponto de vista de exigências normativas (NBR 7680/2007 e NBR 5739/2007), os relatórios de ruptura deixaram de apresentar informações obrigatórias e importantes, tais como:

- Tipo de regularização empregado nos CPs;
- Classe da máquina de ensaio utilizada (prensa);
- Resultado individual de cada ruptura e do exemplar;
- Condição de umidade do testemunho, por ocasião do ensaio;
- Consideração a respeito da majoração de 10% nas resistências obtidas, como admitido pela NBR 6118/ 2007.

Finalizando, visto que a resistência determinada pelos testemunhos é que fora utilizada para recálculo e elaboração do projeto de reforço estrutural entendido necessário, cabe que se registre a **completa inadequação do ponto de extração destes testemunhos, junto ao topo dos pilares em análise**, conforme determinado pelo DNIT e ilustrado nos Autos.

Em se tratando de conhecimento consolidado o fato de que o topo dos pilares apresentará deficiências importantes advindas principalmente da exsudação<sup>1</sup> do concreto, as principais disposições normativas internacionais estabelecem restrições quanto à extração de testemunhos nestes locais. Neste particular, a Norma Brasileira que rege o assunto (NBR 7680/ 2007 – item 5) recomenda que a extração de testemunhos se dê pelo menos 30cm abaixo do topo do pilar.

Também, dado fato da concretagem de pelo menos alguns pilares ter-se dado em dias de tempo instável e se não tomadas medidas preventivas adequadas, pode ter havido **aumento da relação água/ cimento e a conseqüente redução de resistência, no topo destes pilares** (vide Autos, fl. 144).

---

<sup>1</sup> Exsudação – migração com concentração de água na superfície do concreto, ocasionando elevação da relação água/ cimento e redução da resistência.

CÁNOVAS<sup>2</sup> considera ser esperada uma redução de até 25% na resistência obtida a partir de testemunhos extraídos, se comparados os resultados do topo e da base, em pilares com altura igual ou superior a 2 metros.

**.c) Projeto Original e Projeto de Reforço estrutural:**

O projeto original do viaduto estabelecia as seguintes recomendações que deveriam ser obedecidas quando da contratação do concreto (NBR 2655/2006 – item 4.3):

- $f_{ck} = 25\text{Mpa}$ ;
- Quantidade mínima de cimento:  $350 \text{ kg/ m}^3$ ;
- Fator A/C (água/ cimento): menor ou igual a 0,55.

Contudo, destas recomendações somente o  $f_{ck}$  figura no contrato de fornecimento firmado com a CONCRETEIRA X, não sendo as demais, assim, passíveis de exigência. Curiosamente, também não constam do contrato de fornecimento com a CONCRETEIRA Y, não tendo sido observadas ou respeitadas por aquela segunda concreteira;

Segundo consta do *Relatório Conclusivo* (datado de 14/10/2008) emitido pelo PROJETISTA, foram considerados os seguintes **novos valores de  $f_{ck}$**  para verificações e elaboração do projeto de reforço estrutural, baseados nas informações fornecidas pelo CONTROLE TECNOLÓGICO:

- Pilares dos apoios 2 e 3 (pilares 4, 5, 6, 7,8 e 9): **novo valor de  $f_{ck} = 17,4\text{Mpa}$** ;
- Viga-travessa de apoio de cabeceira: **novo valor de  $f_{ck} = 20\text{Mpa}$** .

---

<sup>2</sup> CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

Tendo em vista que foram considerados valores obtidos por processo de extração de testemunhos em desconformidade flagrante com as prescrições normativas aplicáveis, os **novos valores de  $f_{ck}$**  adotados no projeto de reforço **se mostram inadequados**, o que invalidaria as conclusões obtidas quanto à necessidade de realização de reforço.

### .d) Procedimentos de produção e parâmetros de controle informados pela CONCRETEIRA Y:

#### .1- Traços de concreto:

- À época dos fatos (2008):

<b><math>f_{ck}</math> 30 MPA BR.0/1 ABAT 10+-2</b>		
<b>TIPO MCC</b>	<b>QTD</b>	<b>UN</b>
ADITIVO POLIFUNCIONAL MIRA 34 GRACE	2,448	kg
ÁGUA	172	L
AREIA DE BRITA – TIPO II	487	kg
AREIA FINA	326	kg
BRITA 0	421	kg
BRITA 1	626	kg
CIMENTO CPIV 32	306	kg

- Atualmente:

<b><math>f_{ck}</math> 30 MPA BR.0/1 ABAT 10+-2</b>		
<b>TIPO MCC</b>	<b>QTD</b>	<b>UN</b>
ADITIVO POLIFUNCIONAL MIRA 34 GRACE	2,665	kg
ÁGUA	183	L
AREIA DE BRITA – TIPO II	260	kg
AREIA FINA	582	kg
BRITA 0	419	kg
BRITA 1	631	kg
CIMENTO CPIV 32	296	kg

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

.2- Desvio-padrão (Sd),  $f_{ck}$  médio e Coeficiente de Variação (CV) da central Blumenau:

- No ano de 2008: Sd = 3,45;
- Atualmente: Sd = 3,50 e  $f_{ck}$  médio = 27,86Mpa → **CV = 12,56%**

**.e) Procedimentos de produção e parâmetros de controle informados pela CONCRETEIRA X:**

Segundo informações fornecidas pelo Engenheiro da CONCRETEIRA X:

.1- O concreto fornecido à obra apresentou o seguinte traço:

<b>fck</b>	<b>CP IV 32 RS</b>	<b>Areia Fina</b>	<b>Areia Artificial</b>	<b>Brita 0</b>	<b>Brita 1</b>	<b>Água</b>	<b>Mastermix 397N2</b>
(MPa)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(ml/m <sup>3</sup> )
25,0	375	398	398	399	598	215	1875

.2- Desvio-padrão (Sd),  $f_{ck}$  médio e Coeficiente de Variação (CV) da central:

- No ano de 2008: Sd = 1,91 e  $f_{ck}$  médio = 28,43Mpa → **CV = 6,72%**
- No ano de 2012: Sd = 2,18 e  $f_{ck}$  médio = 29,00Mpa → **CV = 7,52%**

(\*) No mês de agosto 2008 (período da ocorrência dos fatos): Sd= 1,28.

.3- O Certificado de calibração da prensa (n<sup>o</sup>. 3891A08) indicou sua aferição à época dos fatos;

⇒ **Análise:**

- Conforme informação recebida, a **relação água/ cimento** corresponde a 0,57, o que atenderia aos requisitos normativos exigíveis no que tange à durabilidade (NBR 6118/ 2003 – 5.1.2.3);
- O consumo de cimento declarado condiz com as informações contidas nas respectivas notas fiscais de envio. Contudo e curiosamente este se mostra cerca de 23% superior ao do concreto produzido à época pela CONCRETEIRA Y, ainda que sua resistência seja 17% inferior àquela (Concreteira X = 25Mpa e Concreteira Y = 30Mpa);
- O aditivo descrito na composição de traço informada tem nomenclatura diversa daquela declarada em documentação da própria CONCRETEIRA X , acostada aos Autos (fl. 204);
- Os coeficientes de variação calculados (CV) se mostram bastante abaixo das médias de mercado e das empresas concreteiras da região (inclusive se comparados à CONCRETEIRA Y), o que exigiria um **controle rigorosíssimo do processo de produção, com adoção de procedimentos de excelência.**

**.f) Relatório de Ensaio de testemunhos (nº. 68688), contraprova elaborada pelo LABORATÓRIO, a pedido da CONCRETEIRA X:**

- Embora sendo documentação de extremo interesse da CONCRETEIRA X, não se encontrava acostada aos Autos (na peça de Contestação), tendo sido disponibilizada como documentação complementar, durante a Perícia;
- Não foram disponibilizadas evidências que comprovem cabalmente que os testemunhos ensaiados guardam relação com o ocorrido: não foi fornecido qualquer registro fotográfico ou documental que vincule a participação e o conhecimento das partes diretamente interessadas (DNIT e CONSTRUTORA

## **XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE**

### **AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013**

X) quanto à realização e as conclusões contidas neste procedimento de contraprova;

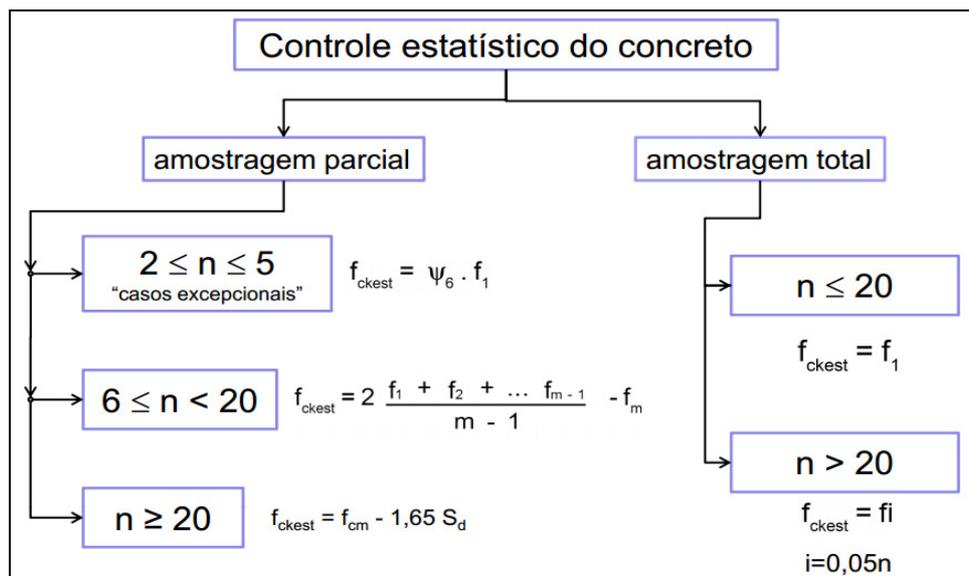
- De maneira análoga ao ocorrido com a extração realizada pelo CONTROLE TECNOLÓGICO, o local de extração informado (topo dos pilares) se mostra inadequado, gerando resultados prejudicados (vide 3.5.b), retro);
- O referido Laudo emitido pelo LABORATÓRIO padece das mesmas não-conformidades em relação às prescrições normativas daquele emitido pelo CONTROLE TECNOLÓGICO (vide 3.5.b), retro).

### 3 CONCLUSÕES

Após detida análise de toda documentação técnica juntada aos Autos e baseando-se em extensa pesquisa pode concluir o que segue:

#### 3.1- Controle tecnológico juntado aos Autos, elaborado pela SUPERVISORA:

.a) Utiliza metodologia incorreta para cálculo do  $f_{ck\ est}$ , já que não divide o concreto aplicado em lotes e nem aplica corretamente o critério definido na norma técnica aplicável ao caso (NBR 12655/2006 – Amostragem total). O Esquema apresentado na sequência ilustra esta questão:



onde:

$m = n/2$  (desprezar valor mais alto de  $n$  se for ímpar);

$f_1, f_2, \dots, f_n$  são as resistências dos exemplares, em ordem crescente;

$S_d$  é o desvio-padrão para  $(n-1)$  resultados e  $f_{cm}$  a resistência média dos exemplares;

$i = 0,05n$  (se  $i$  for fracionário, adotar o número inteiro imediatamente superior).

Na sequência apresenta-se a tabela indicativa da formação de lotes.

**Tabela 2 – Valores para a formação de lotes de concreto.**

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem <sup>1)</sup>	

<sup>1)</sup> Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

Fonte: NBR 12655/2006 – Tabela 7.

**.b)** Omite informações obrigatórias e prescritas nas Normas aplicáveis (NBR 5739/2007): tipo de regularização aplicado aos CPs, classe da prensa e resultado de resistência individual dos CPs e do EXEMPLAR;

**.c)** A prensa utilizada, embora devidamente calibrada, possui Classe 2, o que contraria disposição normativa para prensas de laboratório (NBR 5739/2007 – 3.1.1.2);

**.d)** O transporte dos CP's há mais de 100km de distância da obra para efetuar sua ruptura – ainda que alegada observância às recomendações aplicáveis - e a ausência de controle de temperatura da água durante a cura podem influir negativamente, reduzindo a resistência de ruptura dos CPs. Tal situação é especialmente relevante se considerado que à época dos fatos vigia o auge do inverno, com ocorrência de temperaturas predominantemente baixas, fato que retarda o ganho de resistência dos concretos.

### **3.2- Ruptura dos CPs, extração e ruptura de testemunhos pelo CONTROLE TECNOLÓGICO:**

**.a)** O local definido pelo DNIT para extração dos testemunhos contraria disposição normativa (NBR7680/2007), já que o topo dos pilares chega a apresentar resistência até 25% inferior à região próxima à base. Outrossim, não foram observadas as boas práticas de engenharia, as quais recomendam que a extração de testemunhos seja apoiada por ESCLEROMETRIA<sup>3</sup>, de modo a melhor embasar a análise, sem necessidade de efetuar grande número de extrações para tanto;

<sup>3</sup> ESCLEROMETRIA – procedimento não destrutivo de simples e rápida realização, amplamente aceito e difundido no meio técnico internacional e nacional (NBR 7584.1995), possibilita avaliar a qualidade do concreto (homogeneidade e resistência) por meio de sua dureza superficial.

.b) Os relatórios mostram-se em discordância com diversas prescrições normativas aplicáveis (NBR 7680/2007 e NBR 5739/2007), omitindo informações importantes;

.c) Existem contradições importantes no que diz respeito à quem coube coletar os CPs e testemunhos ensaiados. Embora o CONTROLE TECNOLÓGICO alegue que desconhece a forma e empresa responsável pela coleta da amostra, encontra-se acostada aos Autos nota fiscal e outros documentos onde os serviços de moldagem de CPs e extração dos testemunhos são por ela cobrados, junto à CONSTRUTORA X (fls.58-64);

### **3.3- Informações e documentos produzidos e apresentados pela CONCRETEIRA X:**

.1- *Certificado de rompimento de corpos-de-prova*, emitido pela CONCRETEIRA X em 03/09/08 (fls. 204 – frente e verso): apenas informa os valores de ruptura obtidos para os CPs do concreto fornecido à CONSTRUTORA X, sem demonstrar o valor do  $f_{ck}$  do lote ao qual pertencem;

.2- *Relatório de Ensaio de testemunhos* (nº. 68688), contra-prova elaborada pelo LABORATÓRIO, a pedido da CONCRETEIRA X (datado de 24/10/08):

.a) Não foi oportunamente acostado aos Autos (na fase de Contestação);

.b) Alega que a extração de testemunhos se deu também junto ao topo dos pilares, o que contraria recomendações normativas (NBR 7680/ 2007) já que esta região chega a apresentar valores de resistência até cerca de 25% inferiores aos da base do pilar;

.c) Não evidenciou a participação das partes interessadas (CONSTRUTORA X e CONCRETEIRA X), durante a realização dos procedimentos de extração e ruptura;

.d) A ruptura dos testemunhos deu-se cerca de 15 dias após a extração, situação sem justificativa técnica, dada celeridade que o caso exigia;

.e) A data de emissão deste *Relatório* coincide com a data de emissão do Ofício DNIT para CONSTRUTORA X, aprovando a implementação das medidas de reforço propostas (24/10/08).

.3- Produção e controle do concreto na central:

.a) O *Certificado de rompimentos de corpos-de-prova* apresentado pela CONCRETEIRA X (fls. 204 – frente e verso) encontra-se em consonância com os dados de ruptura contidos nas respectivas planilhas de controle dos desvios-padrão da central também por ela apresentadas (correspondentes aos meses de julho e agosto 2008 – vide ANEXOS);

.b) Apresenta coeficientes de variação (CV) muito inferiores às empresas concreteiras concorrentes e com atuação na mesma região geográfica, sendo que seus desvios-padrão da central mostram-se baixíssimos, o que pressupõe rigorosíssimo controle do processo de produção;

.c) Em um modelo capitalista e competitivo, tem-se que a busca pela excelência se traduz em fator de sobrevivência, sendo o fator preponderante para que as empresas garantam lugar no mercado e obtenham rentabilidade adequada à remuneração e aprimoramento do seu negócio. No caso específico das empresas concreteiras, tem-se o cimento como insumo preponderante na formação dos custos, razão pela qual os laboratórios estão sempre em busca de alternativas de otimização de traço que possibilitem reduzir seu consumo.

A partir desta assertiva, percebe-se como inconsistente o consumo de cimento informado para o concreto fornecido pela CONCRETEIRA X à época ( $f_{ck} = 25\text{Mpa}$  com consumo de cimento de  $375\text{kg/m}^3$ ), visto que este consumo se mostra muito superior à média verificada no mercado (que por  $\text{m}^3$  produzido, gira em torno de 10 a 11kg de cimento para 1 Mpa de resistência – estabelecendo que um concreto com  $f_{ck} = 25\text{Mpa}$  tenha, portanto consumo de cimento da ordem de 250 a  $275\text{kg/m}^3$ ). Tal valor é, inclusive, muito superior àquele informado pela CONCRETEIRA Y para um concreto com resistência 20% maior ( $f_{ck}=30\text{Mpa}$  com consumo de cimento de  $306\text{kg/m}^3$ ).

**Resta, portanto, óbvio que uma empresa concreteira que apresenta coeficientes de variação (CV) muito abaixo do mercado não pode apresentar consumo de cimento tão acima das suas concorrentes;**

.d) Os procedimentos empregados pela CONCRETEIRA X levantados quando de nossa Visita à Central indicam um estágio tecnológico bastante inferior ao percebido

nas empresas concorrentes, sendo, portanto, incompatível com o rigor requerido para obtenção do desvio-padrão alegadamente atingido, senão vejamos: **balanças acionadas manualmente, cura por imersão sem controle de temperatura da água, prensa com acionamento manual (fabricada no ano de 1988) e registro manual dos resultados de ruptura com posterior digitação pelo Líder da Central.**

É fato consolidado que a padronização de procedimentos/ processos com sua mecanização reduz significativamente a **variabilidade** (possibilidade de variação nos resultados), dado que o fator humano é sempre, por sua natureza, indutor de desvios no processo de produção (p.ex., advindos de desatenção, cansaço, variações de humor, deficiências de treinamento, etc.).

Convém salientar que, dada equipe reduzida e ausência de vendedores externos, cabe também ao Líder da Central o atendimento comercial dos clientes, a supervisão das rotinas administrativas e demais procedimentos, além de todo o trabalho de digitação dos resultados de ruptura dos CPs, obtidos no Laboratório.

### **3.4- Re-cálculo e Projeto de Reforço Estrutural:**

Tendo em vista todas as inconsistências relacionadas à extração de testemunhos e também no tocante à metodologia equivocada utilizada pela SUPERVISORA em seu controle tecnológico, resta evidente que caberia re-avaliação quanto à efetiva necessidade de adoção de reforço estrutural.

.a) Refeitos os cálculos e re-definidos os valores de  $f_{ck\ est}$  a partir das planilhas de controle tecnológico da SUPERVISORA (vide ANEXOS 5.2), vem que:

- LOTE 1: Volume de  $42m^3$  – concretagem do dia 28/07/2008  
Elementos concretados: Apoios 02 - 01  
CP 01 a 10 →  $f_{ck\ est} = 24,1Mpa$ ;
- LOTE 2: Volume de  $50m^3$  – concretagem do dia 04/08/2008  
Elementos concretados: Apoios 03 – 04 e Pilares 1- 2 - 3  
CP 11 a 24 →  $f_{ck\ est} = 24,0Mpa$ ;

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

- LOTE 3: Volume de  $16\text{m}^3$  – concretagens dos dias 11/08 e 13/08/2008  
Elementos concretados: Pilares 4 - 5 – 6 – 7 – 8 – 9  
CP 25 a 30 →  $f_{ck\ est} = 22,8\text{Mpa}$ ;
- LOTE 4: Volume de  $8\text{m}^3$  – concretagem do dia 15/08/2008  
Elementos concretados: Pilares 10 – 11 – 12  
CP 31 a 33 →  $f_{ck\ est} = 23,2\text{Mpa}$ ;
- LOTE 5: Volume de  $16\text{m}^3$  – concretagem do dia 22/08/2008  
Elementos concretados: Viga transversina 01  
CP 34 a 39 →  $f_{ck\ est} = 22,4\text{Mpa}$ .

Logo, concluí-se que em todos os lotes analisados:

$$f_{ck\ est} < f_{ck}$$

.b) A ocorrência de  $f_{ck\ est} < f_{ck}$  adotado no projeto estrutural pressupõe não conformidade e deve ser investigada.

Neste caso, estabelece a NBR 6118/2007 (item 25.3.1) as seguintes ações a serem implementadas:

- Revisão do projeto para determinar se a estrutura, no todo ou em parte, pode ser considerada aceita, considerando os valores de  $f_{ck\ est}$  obtidos nos ensaios;
- Em caso negativo, promover a extração e ensaios de testemunhos (conforme estabelece NBR 7680/2007), analisando os resultados (de acordo com NBR 12655/ 2006) e procedendo a nova verificação da estrutura;
- Não sendo finalmente eliminada a não conformidade, aplica-se o disposto no item 25.3.3 (NBR 6188/ 2007), ou seja:
  - .i- determinar as restrições de uso da estrutura;
  - .ii- providenciar o projeto de reforço;
  - .iii- decidir pela demolição parcial ou total.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 4.1- O problema da resistência do concreto:

As divergências verificadas entre os valores de  $f_{ck}$  aferidos pelas construtoras através da ruptura dos CPs ( $f_{ck\ est}$ ) e aqueles apurados e informados pelas empresas concreteiras ( $f_{ck\ pot}$ ) têm suscitado debates acalorados que ocupam a mídia e o meio técnico nacional a longa data, sem entretanto, chegar a termo (conforme matéria veiculada pela Revista TÉCHNE, ed. 152, citada na Bibliografia).

Ao que se pode concluir, para resolver este conflito o desafio consistiria em aproximar ao máximo estes dois valores ( $f_{ck\ est}$  e  $f_{ck\ pot}$ ), revendo e ajustando os procedimentos envolvidos e os preceitos normativos aplicáveis.

Há que se lembrar, no entanto, que a discussão real e mais importante seria aquela que busca aproximar deste  $f_{ck\ pot}$  o  $f_{ck\ real}$  da estrutura - aquele que efetivamente possui a estrutura em serviço - e que se aproxima muito mais do  $f_{ck\ ext}$  (aferido quando da extração de testemunhos) do que do  $f_{ck\ est}$  (aferido a partir dos corpos-de-prova).

Para tanto, caberia às empresas construtoras o papel de protagonistas neste processo, tendo critério mais rigorosos quando da aquisição do concreto (definindo melhor os parâmetros a serem atendidos – fator A/C, consumo mínimo de cimento, etc.) e implementando procedimentos de excelência na atividades de execução (realizando treinamento constante da equipe de obra e adotando medidas eficientes de cura, p. exemplo).

Agindo deste modo tornar-se-ia possível a obtenção de estruturas mais seguras, com durabilidade superior e conseqüentemente, com menor custo econômico e social.

### 4.2- A situação que se apresenta na lide:

.a) Ainda que o controle tecnológico realizado pela SUPERVISORA padeça de alguns equívocos metodológicos - por usar critério para amostragem parcial (e não para amostragem total, dividida em lotes, como seria o correto) e por deixar de cumprir algumas recomendações normativas aplicáveis (ausência de informação do valor de cada CP rompido, classe da prensa, falta de controle de temperatura durante a cura dos CPs, etc.) - , entende-se que estas não-conformidades não

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

### AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

invalidem seu conteúdo e este possa ser, assim, aproveitado, desde que efetuados os ajustes devidos;

.b) Ao que se pode concluir, os parâmetros que orientaram a produção do concreto fornecido pela CONCRETEIRA X se basearam em valores de desvio-padrão baixíssimos, incompatíveis com o estágio tecnológico percebido nas instalações da empresa e também quando comparados com as empresas concreteiras concorrentes (em especial, CONCRETEIRA Y), ainda somado ao fato de divergir substancialmente do contido nas publicações técnicas consultadas.

Outrossim e para o concreto fornecido ( $f_{ck} = 25\text{Mpa}$ ), tanto o consumo de cimento informado ( $375\text{kg/m}^3$ ) quanto a relação água/cimento calculada (0,57) não condizem com os valores indicados em publicações técnicas consultadas. Em particular o consumo de cimento informado se mostra, inclusive, muito superior ao praticado por empresas concreteiras concorrentes (em particular, CONCRETEIRA Y), o que tornaria o concreto fornecido extremamente oneroso e incompatível com a condição de mercado vigente, que é muito competitiva.

Se tomados como referência os valores obtidos pela SUPERVISORA em seu controle tecnológico – após devida correção para a metodologia preconizada pelas normas pertinentes (NBR 12655/2006 – Amostragem total) -, observa-se uma defasagem máxima da ordem de 10% em relação ao  $f_{ck}$  estabelecido em contrato (22,4Mpa contra  $f_{ck} = 25\text{Mpa}$ )).

Assim, embora a CONCRETEIRA X tente demonstrar o contrário, tem-se evidências suficientes para concluir que **ocorreu fornecimento de concreto não-conforme**, do ponto de vista do atendimento ao  $f_{ck}$  estabelecido em contrato (que era  $f_{ck} = 25\text{Mpa}$ ). Foram obtidos elementos probatórios suficientes para indicar que a **resistência de dosagem adotada ( $f_{cmj}$  para 28 dias) se mostrou aquém da necessária para compensar os desvios de produção presentes, com defasagem sistemática em todos os lotes analisados** (Lotes de 1 a 5);

.c) Os Relatórios de ruptura de testemunhos apresentados – tanto do CONTROLE TECNOLÓGICO quanto da contra-prova da própria CONCRETEIRA X -, **se mostram inservíveis**, posto que padecem de graves falhas em sua elaboração, sendo a principal o fato das extrações terem se dado no topo dos pilares, o que representa flagrante desrespeito às prescrições normativas (NBR 7680/2007) e expressam valores até 25% inferiores (conforme CÁNOVAS, 2008).

Outrossim, os processos de extração de testemunhos não foram acompanhados por ESCLEROMETRIA, o que permitiria estabelecer conclusões mais embasadas em

relação à qualidade do concreto em análise (quanto à homogeneidade e até mesmo à estimação de resistência), conforme recomendam as boas práticas de engenharia aplicáveis ao caso;

.d) Ainda que o concreto fornecido pela CONCRETEIRA X se mostre não-conforme do ponto de vista de resistência, em este apresentando defasagem máxima da ordem de 10% e segundo entendimento dominante na comunidade técnica, não haveria razão para maiores preocupações, já que aquela variação estaria devidamente coberta pelos coeficientes de segurança previstos na Norma Técnica aplicável (NBR 6118/2007).

Assim, e salvo alguma particularidade não informada, **tornar-se-ia dispensável a realização do processo de re-cálculo e reforço estrutural** <sup>4</sup>, podendo o concreto ser aceito com o  $f_{ck\ est}$  obtido a partir das resistências de ruptura aferidas durante controle tecnológico realizado pela SUPERVISORA (e neste Laudo Pericial devidamente ajustadas - vide 3.4.a), retro).

Fortalece ainda mais esta assertiva o fato do **cimento utilizado (CP-IV RS) apresentar grande expectativa de ganho futuro de resistência**. Neste sentido a própria NBR 6118/ 2007 (item 12.3.3) reconhece e considera que este ganho já para os primeiros 90 dias atinja cerca de 18% em relação à resistência considerada no projeto estrutural aos 28 dias ( $f_{ck}$ ), ainda que a comunidade técnica nacional entenda que este valor seja muito conservador e que o ganho real se mostre significativamente superior àquele reconhecido no documento normativo.

.e) Por outro prisma e mesmo que dispensável a realização de reforço estrutural, mas em havendo não-conformidade, entende-se como necessário, no mínimo, a realização de procedimento de compensação comercial, tendo em vista que a CONCRETEIRA X teria entregue um produto aquém do estabelecido em contrato.

Contudo, e para atender requisitos éticos e normativos (NBR 6118/2007), a dispensa em realizar o re-cálculo da estrutura deveria ser ratificada pelo PROJETISTA.

---

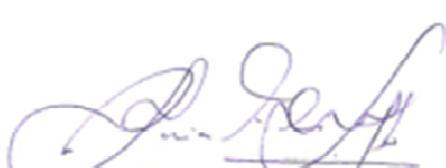
<sup>4</sup> Em particular recomenda-se a leitura das seguintes e consagradas publicações:

.a) IBRACON. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo, 2011. Capítulo 32 - **Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração** – Prof. Dr. Paulo Helene e Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho;

.b) Fernández Cánovas, Manuel. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988 - (pg. 88-89).

5 ANEXOS

5.1 Relatório de Ensaio - Ruptura de Testemunhos do concreto endurecido

<b>LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL</b>					
<b>RELATÓRIO DE ENSAIO</b>					
Relatório de Ensaio Nº 68688			Página 1 de 1		
<b>INTERESSADO:</b>					
PROCEDÊNCIA OBRA: Obra: Viaduc					
ORDEM DE SERVIÇO: 59128 – LEC			DATA DE EMISSÃO: 24/10/2008		
<b>RUPTURA DE CORPO DE PROVA</b>					
Identificação do Laboratório	Identificação do Cliente	Data de Ruptura	Concretagem	Idade (dias)	Tensão de Ruptura (MPa)
01	C.P. Extraído	24/10	Pilares Central – 1	81	24,8
02	C.P. Extraído	24/10	Pilares Central – 2	81	21,9
03	C.P. Extraído	24/10	Pilares Ponta – 1	81	25,7
04	C.P. Extraído	24/10	Pilares Ponta – 2	81	28,9
<b>Informação Complementar:</b>					
• Os resultados dos ensaios têm seu valor restrito às amostras entregues no Instituto.					
• Data de moldagem: 04/08/2008.					
					

# XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

## AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

### 5 ANEXOS

#### 5.2 Quadro de Resumo - Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto

Rodovia:							
Trecho							
Sub-Trecho		Blumenau					
Lote							
Referencia							
<b>QUADRO DE RESUMO</b>							
<b>CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO</b>							
LOCALIZAÇÃO	Slump	(MPA)	PARTE DA ESTRUTURA	IDADE	RESISTÊNCIA	DATAS	
CP N°					( Mpa )	Moldagem	Rompimento
CP 01		25	Apoio 02	7	17,7	28/7/2008	4/8/2008
CP 02		25	Apoio 02	7	16,3	28/7/2008	4/8/2008
CP 03		25	Apoio 02	14	18,3	28/7/2008	11/8/2008
CP 04		25	Apoio 02	28	24,4	28/7/2008	25/8/2008
CP 05		25	Apoio 02	28	24,9	28/7/2008	25/8/2008
CP 06		25	Apoio 01	28	24,1	28/7/2008	25/8/2008
CP 07		25	Apoio 01	14	18,8	28/7/2008	11/8/2008
CP 08		25	Apoio 01	14	18,3	28/7/2008	11/8/2008
CP 09		25	Apoio 01	28	25,6	28/7/2008	25/8/2008
CP 10		25	Apoio 01	28	24,9	28/7/2008	25/8/2008
CP 11		25	Apoio 03	7	18,5	4/8/2008	11/8/2008
CP 12		25	Apoio 03	14	18,3	4/8/2008	18/8/2008
CP 13		25	Apoio 03	28	24,7	4/8/2008	1/9/2008
CP 14		25	Apoio 03	28	26,2	4/8/2008	1/9/2008
CP 15		25	Apoio 04	7	19,5	4/8/2008	11/08/2008
CP 16		25	Apoio 04	14	17,5	4/8/2008	18/8/2008
CP 17		25	Apoio 04	28	24,0	4/8/2008	1/9/2008
CP 18		25	Apoio 04	28	24,2	4/8/2008	1/9/2008
CP 19		25	Pilar 1-2-3	28	24,8	4/8/2008	1/9/2008
CP 20		25	Pilar 1-2-3	28	25,0	4/8/2008	1/9/2008
CP 21		25	Pilar 1-2-3	28	25,6	4/8/2008	1/9/2008
CP 22		25	Pilar 1-2-3	28	25,8	4/8/2008	1/9/2008
CP 23		25	Pilar 1-2-3	28	25,3	4/8/2008	1/9/2008
CP 24		25	Pilar 1-2-3	28	25,6	4/8/2008	1/9/2008
CP 25		25	Pilar 4-5-6	28	25,3	11/8/2008	8/9/2008
CP 26		25	Pilar 4-5-6	28	24,2	11/8/2008	8/9/2008
CP 27		25	Pilar 4-5-6	28	23,9	11/8/2008	8/9/2008
CP 28		25	Pilar 7-8-9	28	23,8	13/8/2008	10/9/2008
CP 29		25	Pilar 7-8-9	28	22,8	13/8/2008	10/9/2008
CP 30		25	Pilar 7-8-9	28	---	13/8/2008	10/9/2008

XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

Rodovia:							
Trecho							
Sub-Trecho		Blumenau					
Lote							
Referencia							
<b>QUADRO DE RESUMO</b> <b>CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO</b>							
LOCALIZAÇÃO	Slump	(MPA)	PARTE DA ESTRUTURA	IDADE	RESISTÊNCIA	DATAS	
CP N°					( Mpa )	Moldagem	Rompimento
CP 31		25	Pilares 10-11-12	28	23,2	15/8/2008	12/9/2008
CP 32		25	Pilares 10-11-12	28	24,8	15/8/2008	12/9/2008
CP 33		25	Pilares 10-11-12	28	23,3	15/8/2008	12/9/2008
CP 34		25	Viga Transversina 01	14 <del>28</del>	24,1	22/8/2008	19/9/2008
CP 35		25	Viga Transversina 01	14 <del>28</del>	23,3	22/8/2008	19/9/2008
CP 36		25	Viga Transversina 01	28	22,6	22/8/2008	19/9/2008
CP 37		25	Viga Transversina 01	28	23,4	22/8/2008	19/9/2008
CP 38		25	Viga Transversina 01	28	24,1	22/8/2008	19/9/2008
CP 39		25	Viga Transversina 01	28	22,6	22/8/2008	19/9/2008
40	11		SARREDA RATIO - 18	28		08/03/08	07/05/08
41	11		" "	28		"	"
42	11		" "	28		"	"
43	11		" "	28		30/05/08	08/10/08
44	11		" "	28		"	"
45	11		" "	28		"	"

5 ANEXOS

5.3 Relatório de Ensaio - Ruptura de Testemunhos de Concreto Endurecido

**Relatório de Ensaio**

Página 01 de 01

INTERESSADO:  
PROCEDENCIA: **VIADUTO**

REGISTRO Nº: 517/08  
DATA: 19/09/08

**Ruptura de Testemunhos de Concreto Endurecido**

Identificação	Data de Extração	Data de Ruptura	Temperatura Ambiente (°C)	h (mm)	Ø (mm)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)
01	05/09/08	19/09/08	19	186	93	Pilares	20,1
02	05/09/08	19/09/08	19	186	93	Pilares	23,5

**Informações Complementares:**

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras extraídas e entregues no laboratório.
- De acordo com análise visual os testemunhos extraídos apresentam um alto teor de argamassa.
- Os ensaios foram acompanhados pelos Eno\*

*Amuril*

## 6 BIBLIOGRAFIA

O presente trabalho obedece às disposições contidas nos seguintes instrumentos aplicáveis:

ABNT NBR NM 33. **Concreto – Amostragem de Concreto Fresco**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT NBR 5738. **Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT NBR 5739. **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT NBR 6118. **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT NBR 7212. **Execução de Concreto Dosado em Central**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT NBR 7680. **Concreto – Extração, Preparo, Ensaio e Análise de Testemunhos de Concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT NBR 12655. **Concreto – Preparo, Controle e Recebimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT NBR 13752. **Perícias de Engenharia na Construção Civil**. Rio de Janeiro, 1996.

## XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE

AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC - 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

FARIA, Renato. Concreto não conforme. **Revista Técnica**. São Paulo. Ed. 152, Nov. 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/152/artigo156894-1.asp>> Acesso em: 24 jan. 2013.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: PINI, 2008.

IBRACON. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, 2011.

IBRACON. **Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações**. 2v. São Paulo, 2005.