



ABECE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE ENGENHARIA E
CONSULTORIA ESTRUTURAL

TÍTULO: Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

AUTOR: Egydio Hervé Neto

ANO: 2006

PATROCINADOR:

PALAVRAS CHAVES: Concreto – Qualidade

e-Artigo: 012 - 2006



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

Egydio Hervé Neto¹

Introdução

A evolução da tecnologia do concreto a nível mundial é acompanhada de perto pelo Brasil, que nada fica a dever com seus conhecimentos, muitos deles pioneiros e indutores das inovações internacionais sobre este assunto.

Com uma indústria de cimento forte, situada entre as maiores do mundo, e um acervo de profissionais invejável, além de centros tecnológicos modernos, este quadro positivo e favorável se completa com as novas gerações profissionais que surgem todos os anos de nossas escolas, contribuindo para a aplicação das novas técnicas na prática das obras em execução.

A manutenção desse avanço constante exige um trabalho permanente de divulgação, proporcionando a todos a oportunidade de conhecer os novos conceitos e processos em disponibilidade, sob pena de haver evoluções não aplicadas – ou mal aplicadas – que poderiam resultar em problemas de qualidade e segurança para algumas obras.

A novidade mais recente é a Nova NB1 – ou NBR 6118:2003, como é registrada no INMETRO, Norma de Projeto das Estruturas de Concreto, única válida para uso em Projetos Estruturais no Brasil, desde Abril de 2004. Focada nos aspectos ligados à durabilidade das estruturas, seguindo tendência mundial, consequência de uma história recente de crescimento das patologias em estruturas, a nova norma traz muitas novidades que foram objeto de divulgação em todo o Brasil, num esforço pessoal dos integrantes da Comissão de Estudos que a escreveu, todos profissionais reconhecidos no Brasil e no exterior por sua sabedoria e permanente atualização.

Neste artigo procuraremos mostrar alguns recursos que a Norma pratica em benefício dessa evolução e que, por representarem uma nova ordem de coisas, precisam ser bem compreendidos, e então transformados em ações práticas efetivas.

Procuramos abordar os assuntos em tópicos que caracterizam a causa de novas atitudes tecnológicas e os efeitos que se pretende com elas, sempre em benefício da qualidade, segurança e economia, o tripé que resume todos os objetivos da Engenharia de Estruturas.

Os Cimentos Brasileiros

A publicação “*Guia Básico de Utilização do Cimento Portland*” (ABCP), versão atualizada em agosto/2002, é de leitura obrigatória para todos os que utilizam o cimento portland, especialmente os responsáveis pela *compra* desse material importantíssimo na confecção do concreto. Algumas modificações introduzidas nos cimentos brasileiros em 1991, com o surgimento dos *cimentos compostos*, não estão ainda suficientemente conhecidas pelos compradores e usuários, acarretando alguns erros e perdas que podem representar sérios problemas para as obras.

Reproduzimos a seguir o QUADRO 5, da publicação citada, que mostra as modificações introduzidas e em vigor, nos diversos tipos de cimento brasileiros.



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

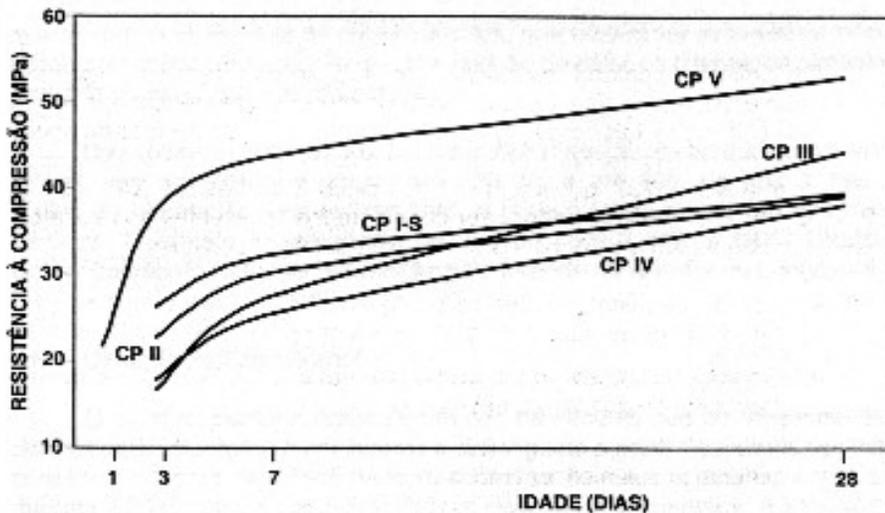
Egydio Hervé Neto¹

Cimento Portland	Antes de 1980	1980	1988	A partir de 1981
Comum	CP-250 CP-320 CP-400	CP-25 CP-32 CP-40	CPS-25, CPS-32, CPS-40 CPE-25, CPE-32, CPE-40 CPZ-25, CPZ-32, CPZ-40	CP I - 25, CP I - 32, CP I - 40 CP I-S-25, CP I-S-32, CP I-S-40
Composto	-	-	-	CP II-E-25, CP II-E-32, CP II-E-40 CP II-Z-25, CP II-Z-32, CP II-Z-40 CP II-F-25, CP II-F-32, CP II-F-40
Alto-forno	AF-250 AF-320	AF-25 AF-32	AF-25 AF-32 AF-40	CP III-25 CP III-32 CP III-40
Pozolânico	POZ-250 POZ-320	POZ-25 POZ-32	POZ-25 POZ-32	CP IV-25 CP IV-32
de Alta resistência inicial	ARI	ARI	ARI	CP V-ARI

O quadro acima dá bem a idéia do crescimento do número de tipos de cimentos disponíveis no país após a década de 80, uma prova da maturidade e avanço tecnológico de nossa indústria, proporcionando opção de soluções para diversas situações contemplando aspectos técnicos e econômicos que proporcionam durabilidade a menores custos, com relação benefício/custo favorável.

Embora todas as características do cimento devam ser conhecidas pelos projetistas, algumas aplicações não são afetadas por essas características, o que faz com que acabem sendo relegadas e até mesmo esquecidas, por falta de uso ou importância nos projetos. Entretanto algumas há que são evidentes em sua necessidade em todas as situações, como a *resistência à compressão*, que governa a resistência dos concretos em diversas idades.

A figura a seguir, da mesma publicação, mostra, de forma qualitativa, as diferenças de resistências entre os cimentos brasileiros, em diversas idades.



Como se pode observar, os diversos valores de resistências, bastante diferentes entre um cimento e outro, tornam indispensável a utilização de um mesmo tipo de cimento ao longo de toda uma obra, como forma de garantia de resultados constantes. Isto se torna ainda mais fundamental em se tratando de obras que sofrem *ações críticas* (desforma, protensão, etc.) em idades iniciais, muitas vezes inferiores a 7 dias, idade em que as diferenças são ainda maiores.

Como alternativa para a impossibilidade de manter o mesmo cimento na obra, este problema pode ser resolvido mediante o uso de dosagens diferenciadas para cada cimento utilizado, um procedimento simples e obrigatório, mas que normalmente vem sendo relegado pelo mercado.

Como veremos a seguir, pelos novos enfoques dados às estruturas, cresce também a importância do *módulo de deformação*, o qual é muito afetado pelo cimento, o que faz da necessidade de conhecê-lo um dado fundamental para o projeto e para os usuários, especialmente compradores.

O Controle Tecnológico

A NBR 12655 "Preparo, controle e recebimento do concreto", em vigor desde junho de 1992, surgiu naquele ano com o objetivo de introduzir novos conceitos de controle tecnológico que na NB1 (NBR 6118) versão de 1978 já estavam obsoletos. A idéia era separar os aspectos de execução e controle levando-os para outras normas, reservando para a NB1 apenas os aspectos de projeto, como estão agora contemplados na NBR 6118:2003.

À NBR 12655 coube então, desde aquela época, substituir os itens da NBR6118:1978 que tratavam de execução e controle, pelo seu próprio conteúdo, adequado às reais necessidades tecnológicas das obras. Esta Norma introduziu conceitos de modernidade que em grande parte não foram aplicados de forma corrente, tendo contribuído para isso a convivência com a versão NBR6118:1978, a qual, por falta de um esclarecimento objetivo que deveria ter sido apresentado aos usuários na época, continuou sendo utilizada, considerada erradamente, em vigor.

Alguns conceitos da NBR 12655 merecem destaque por sua validade desde 1992, quando apresentados. Em 1996 e 2005 houve revisões nesta Norma e esta última e recente prevalece agora, publicada em 2006. A seguir destacamos alguns tópicos dessa Norma:

- **Item 4 Atribuições de responsabilidades:** *“O concreto para fins estruturais deve ter definidas todas as características e propriedades de maneira explícita, antes do início das operações de concretagem. O proprietário da obra e o responsável técnico por ele designado devem garantir o cumprimento desta Norma e manter documentação que comprove a qualidade do concreto conforme descrito em 4.4.”*

O que se observa é que esta Norma avançou com o conceito de responsabilidade além da simples *Responsabilidade Técnica*, atribuída obrigatoriamente a um profissional habilitado, mas também atribui uma responsabilidade paralela e mais abrangente, ao *proprietário* o que já é fruto da aplicação dos conceitos do Código de Defesa do Consumidor, que atribui àquele que dá causa à existência da edificação, total responsabilidade sobre o empreendimento e suas conseqüências sociais, aí incluídas as questões técnicas, ambientais, comerciais, etc.

Quanto às questões puramente técnicas relativas à *qualidade do concreto*, foco da Norma, cabe destacar alguns itens específicos.

- **4.2 Profissional responsável pelo projeto estrutural:** *“Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades:*
 - a) *registro da resistência característica à compressão do concreto, f_{ck} , obrigatória em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;*
 - b) *especificação de f_{cj} para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;*
 - c) *especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive da classe de agressividade adotada em projeto (tabelas 1 e 2);*
 - d) *especificação dos requisitos correspondentes às propriedades especiais do concreto, durante a fase construtiva e vida útil da estrutura, tais como:*
 - *módulo de deformação mínimo na idade de desforma, movimentação de elementos pré-moldados ou aplicação de protensão;*
 - *outras propriedades necessárias à estabilidade e à durabilidade da estrutura.”*

O projeto estrutural passa a ter então, desde o advento desta Norma em 1992, atribuições executivas e para tanto torna-se patente a importância dos estudos de dosagem e o escopo da Tecnologia do Concreto, o que requer a integração de Engenheiro especializado nesta matéria, como integrante da Equipe de Projeto.

- **4.3 Profissional responsável pela execução da obra:** *“Ao profissional responsável pela execução da obra de concreto cabem as seguintes responsabilidades:*
 - a) *escolha da modalidade de preparo do concreto (ver 4.1);*

- b) *escolha do tipo de concreto a ser empregado e sua consistência, dimensão máxima do agregado e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação;*
- c) *atendimento a todos os requisitos de projeto, inclusive quanto à escolha dos materiais a serem empregados;*
- d) *aceitação do concreto, definida em 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3;*
- e) *cuidados requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento, levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular do cimento) e as condições de temperatura ambiente;*
- f) *verificação do atendimento a todos os requisitos desta Norma.”*

Permanece a importância do escopo da Tecnologia do Concreto para confirmação, na obra, das condições para atendimento às especificações do Projeto, ou seja, confirmação da dosagem do concreto e experimentos, visando a garantia inicial do atendimento aos resultados exigidos, antes de iniciar as concretagens.

- **4.4 Responsável pelo recebimento do concreto:** *“Os responsáveis pelo recebimento do concreto (3.2.4) são o proprietário da obra e o responsável técnico pela obra, designado pelo proprietário. A documentação comprobatória do cumprimento desta Norma (relatórios de ensaios, laudos e outros) deve estar disponível no canteiro de obra, durante toda a construção, e deve ser arquivada e preservada pelo prazo previsto na legislação vigente, salvo o disposto em 4.1.2.”*

Como se vê esta Norma traz as diretrizes que são a base da independência das ações de projeto, execução e controle, inclusive designando os profissionais responsáveis por cada escopo dessas áreas, ao mesmo tempo em que deixa claras as interações dessas responsabilidades para o sucesso da obra.

Estes conceitos estão fortalecidos e evidenciados nas recomendações da Comissão de Estudos da NBR 6118:2003, através dos anexos, e das apresentações que alguns de seus membros fizeram pelo Brasil, no esforço de fazer a Norma mais presente no mercado. Isto foi e continua sendo necessário pois os conteúdos que dizem respeito a execução e controle já não fazem mais parte desta norma mas estão contemplados em suas normas específicas, como é o caso da NBR 12655, cujos itens importantes apresentamos acima.

A própria NBR 12655:2006 teve o processo recente de revisão devido à sua idade anterior (9 anos) que a tornava, em relação à evolução atual, uma norma obsoleta em muitos de seus itens e agora o mais importante é que ela cumpre o papel de fornecer diretrizes para o controle tecnológico do concreto algumas com validade desde 1992.

Fechando a visão das Normas atuais em relação ao Controle Tecnológico, vale citar artigos da NBR 6118 – Projeto - e da NBR 14931 – Execução – que mostram coerência sistêmica em relação a uma nova Engenharia do Concreto.

NBR 6118:2003:



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

Egydio Hervé Neto¹

5.2.3 Documentação da solução adotada, sub item **5.2.3.3** "O projeto estrutural deve proporcionar as informações necessárias para a **execução** da estrutura".

NBR 14931:2003:

10.2.2 Tempo de permanência de escoramentos e fôrmas: "...A retirada das fôrmas e do escoramento só pode ser feita **quando o concreto estiver suficientemente endurecido** para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto (E_{ci}) e a maior probabilidade de grande deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade. Para o atendimento dessas condições, **o responsável pelo projeto da estrutura deve informar ao responsável pela execução da obra os valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade que devem ser obedecidos concomitantemente para a retirada das fôrmas e do escoramento, bem como a necessidade de um plano particular (seqüência de operações) de retirada do escoramento.**"

Dessas afirmações deduz-se que cabe ao Projetista Estrutural não apenas projetar a estrutura mas também, *fazer acontecer seu projeto na obra*. Isto exige redefinir esta expressão "Projetista Estrutural" não mais como sendo um único profissional - como se atribui hoje ao Calculista - mas a uma Equipe Multidisciplinar, formada minimamente pelo Arquiteto, O Calculista e o Tecnologista do Concreto, sem o que não se abrange todo o escopo exigido nas Normas.

A dosagem do concreto

Uma das preocupações do tecnologista de concreto, *profissional responsável pelo controle*, segundo a NBR 12655, é a necessidade de existência de um tempo antes de começar a obra, para fazer-se a dosagem do concreto que será utilizado na estrutura.

Por ter consciência da existência de variações significativas nas características dos componentes do concreto, com reflexos no seu comportamento, o tecnologista de concreto sabe, mais do que ninguém, a importância de um criterioso estudo prévio de dosagem.

Até a década de 60 e 70, não se iniciava uma obra sem a realização de uma dosagem num laboratório de confiança, como o IPT, o INT, a CIENTEC, etc. E havia sempre o trabalho do engenheiro tecnologista de concreto, o contraponto do engenheiro calculista de estruturas, a quem servia, "projetando" a mistura ideal, com propriedades adequadas ao trabalho quando fresca e propriedades estruturais e de durabilidade, quando endurecida.

Muitas tentativas de se fornecer "receitas de bolo", como eram chamados os traços *prontos* foram feitas, algumas com certo sucesso no mercado mas de resultado nem tanto, pois sempre há diferenças entre regiões e situações que se traduzem em comportamentos mais ou menos adequados, o que não prescinde de estudos específicos, feitos por quem entende.

Pelo fato de terem surgido empresas de serviços de concretagem, elas próprias grandemente especializadas em tecnologia de concreto e dosagem, qualidade que apregoam e as valoriza especialmente porque são responsáveis pelo concreto que produzem, fez com que as obras deixassem de se preocupar com este assunto, afinal comprar “concreto pronto” passou a ser uma facilidade em termos operacionais e técnicos muito bem recebida pelos engenheiros responsáveis pela execução.

Entretanto essas empresas não fazem, evidentemente, o papel do laboratório de tecnologia de concreto, não por falta de interesse pelos clientes mas por não terem este foco e sim, a necessidade de “padronizar” a produção de concreto, proporcionando certas “facilidades” para a venda, como o uso de tabelas com alguns tipos de concreto que atendam de forma ampla a vários tipos de obras.

Assim foi criado o conceito de “família” de concretos: aqueles que possuem a mesma trabalhabilidade, mesmo teor de argamassa, variando a relação água/cimento. Isto proporciona ordenar os concretos dentro de certos limites e apresentar uma “tabela de preços” aos compradores que aparentemente satisfaz as necessidades principais, como no exemplo a seguir:

Tipo	Bombeável		Convencional	
Abatimento	100+/-10mm		60+/-10mm	
Agregado máximo	Brita 1	Brita 1 e 2	Brita 1	Brita 1 e 2
f_{ck} (MPa)	10 a 25		10 a 25	

Este tipo de tabela facilitou a comercialização dos serviços de concretagem e o diálogo sobre o concreto necessário às obras passou a ser feito entre os compradores das construtoras e os vendedores das “concreteiras” que é como são mais conhecidas as empresas do ramo.

Este modelo de comercialização porém, do ponto de vista da tecnologia do concreto, é muito limitado e pode proporcionar enganos perigosos, como os que exemplificamos a seguir.

Poucas empresas se preocupam com a definição do cimento na compra/venda, e na importância de sua manutenção na execução durante toda a concretagem de uma obra. Isto traz, como vimos, a possibilidade de modificações significativas no comportamento do concreto. Outra limitação é que, ao garantir o f_{ck} a 28 dias, nada garante o comportamento *antes* dessa idade, que é feito de uma forma empírica, não comprometida. Também há limitação quanto à relação água/cimento, que varia com o tipo de cimento, gerando concretos com diferentes porosidades em função de um maior ou menor teor de água, embora de mesma resistência.

Exemplo típico dessa última situação é que levou a comunidade tecnológica mundial a se preocupar com a questão da durabilidade das estruturas, limitando a porosidade dos concretos, por sua vez causada pela evaporação do excesso de água por metro cúbico. Este fenômeno se agravou no Brasil nos últimos anos – e o mesmo ocorreu no exterior, também em países desenvolvidos – graças à melhoria das



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

Egydio Hervé Neto¹

resistências dos cimentos. Como a preocupação era só com o f_{ck} , cimentos de maiores resistências puderam ter seu consumo grandemente reduzido em um metro cúbico de concreto, proporcionando redução significativa de custos diretos, bem aproveitada pelos construtores, e que hoje mostram seus resultados negativos apresentando o quadro de patologias que todos conhecemos.

As empresas de serviços de concretagem têm o compromisso de realizar dosagens criteriosas e algumas têm seus próprios laboratórios e profissionais especializados, estando aptas a suprir as necessidades do projeto e da execução. Entretanto é preciso aperfeiçoar a especificação que vem da obra, que se origina, por sua vez, das exigências do projeto.

Com uma definição melhor das especificações do concreto pelas construtoras, o que deveria ser assunto de reuniões para análise conjunta das situações envolvendo os responsáveis pelo projeto, pela execução e pelo controle, as compras de concreto serão mais bem feitas, permitindo às obras exigir mais e ser mais bem atendidas pelas concreteiras, as quais, conhecendo estas necessidades, poderão preparar concretos específicos a cada caso.

As necessidades de dosagem apontadas acima, à luz da situação anterior à NBR 6118:2003, agora têm sua razão de ser ainda mais fortalecida. Na Nova NB1 o foco principal é a durabilidade, justamente reconhecido pelas ocorrências patológicas constatadas recentemente nas estruturas de concreto, onde se verifica que obras com 30 anos ou mais se apresentam em boas condições enquanto obras de dez ou quinze anos para cá apresentam deficiências visíveis, e necessidades de recuperação e manutenção dispendiosas.

O combate à deterioração precoce das estruturas começa no projeto, nas especificações do concreto que devem fazer parte do memorial de cálculo. O estudo das condições ambientais de contorno e de uso da estrutura exige uma análise especializada com a participação do engenheiro tecnólogo de concreto na elaboração de especificações que envolvem tipo de cimento, relações água/cimento máximas, consumos mínimos de cimento e outras necessidades contempladas na NBR 6118:2003 e agora na NBR 12655, como a tabela apresentada a seguir.

Como se observa na tabela, uma vez definida a Classe de Agressividade do ambiente em que a estrutura se encontrará, e o tipo de cimento, a Norma estabelece um duplo compromisso que deve ser respeitado pelo concreto simultaneamente: resistência mínima e relação água/cimento máxima. Isto significa que se determinado f_{ck} , dependendo do cimento, possa ser atendido com relação água/cimento maior, prevalece a da tabela, resultando num f_{ck} maior que a necessidade estrutural, em respeito ao compromisso obrigatório com a durabilidade.

Concreto	Classe de Agressividade (Tabela 1)				
	Tipo	I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m ³ ¹	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Nota: CA componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP componentes e elementos estruturais de concreto protendido

Um exemplo numérico facilita este raciocínio. Baseado em curvas de correlação entre a resistência e a relação água/cimento dos cimentos nacionais fornecidas nos anexos da Comissão de estudos da NBR 6118:2003, podemos demonstrar que para obtermos um concreto com $f_{ck} = 25$ MPa e usando $S_d = 4$ MPa (Desvio Padrão para dosagem gravimétrica em central dosadora) com os cimentos nacionais, obtemos as seguintes relações água/cimento:

- CP II 32: $f_{cm} = 25 + 1,65 \times 4 = 31,6$ MPa $\rightarrow a/c = 0,54$
- CP II 40: $f_{cm} = 31,6$ MPa $\rightarrow a/c = 0,60$
- CP III 32: $f_{cm} = 31,6$ MPa $\rightarrow a/c = 0,54$
- CP III 40: $f_{cm} = 31,6$ MPa $\rightarrow a/c = 0,60$
- CP IV 32: $f_{cm} = 31,6$ MPa $\rightarrow a/c = 0,55$
- CP V ARI: $f_{cm} = 31,6$ MPa $\rightarrow a/c = 0,67$

Se a Classe de Agressividade no local da obra for II, que corresponde a ambientes comuns das nossas cidades distantes do mar, e que não tenham grande poluição atmosférica, o cimento CP V ARI vai apresentar relação a/c maior que a máxima estabelecida na Norma, portanto não atendendo à durabilidade.

Atendendo à relação $a/c = 0,6$ especificada esse cimento fornecerá resistência maior que o f_{ck} estrutural previsto. Para essa relação a/c com o cimento CP V-ARI, os mesmos estudos nos conduzem à seguinte resistência:

- CP V ARI: $a/c = 0,6 \rightarrow f_{cm} = 37,2$ MPa $\rightarrow f_{ck} = 30,6 \sim 30$ MPa

Embora 30 MPa possa parecer uma resistência “desnecessária” para a estrutura, e de custo direto mais elevado em relação ao f_{ck} inicial, de 25 MPa, refazer os cálculos

¹ Esta linha foi introduzida na tabela da NBR 12655:2005 e não consta da versão em vigor da NBR 6118:2003; entretanto, vale a Norma mais atual no emprego em Projeto, Execução e Controle



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

Egydio Hervé Neto¹

para 30 MPa pode introduzir vantagens para a redução de seções estruturais, afastamento e redução do número de pilares, diminuição de volume de concreto, diminuição do peso da estrutura sobre fundações, redução de área de formas, redução da taxa de aço por metro cúbico e aumento da disponibilidade de metro quadrado útil.

Resumindo, podemos dizer que: seja pela própria empresa de concreto, seja por um laboratório de controle ou até mesmo por um tecnologista independente, fazer as dosagens do concreto antes do início da obra é a maneira certa de garantir a qualidade da estrutura, atendendo às exigências do projeto em termos estruturais e às exigências de execução, em termos da trabalhabilidade do concreto.

Os novos parâmetros do concreto

Já falamos acima, da importância de definir e controlar *resistência* e *módulo de deformação* dos concretos, como sendo parâmetros fundamentais, claramente exigidos por Norma.

A importância desses parâmetros foi ainda mais ressaltada recentemente, devido à maior facilidade de obtenção das resistências usuais com baixos consumos de cimento e de como isto, num primeiro momento, conduziu a concretos de baixa durabilidade.

Sem aprofundar demais o assunto vamos avaliar alguns aspectos simples ligados às causas dessa ocorrência, e em como isto nos leva a uma maior atenção com estes parâmetros.

Ao reduzirmos o consumo de cimento, apesar da resistência ser atendida, temos uma redução do módulo de elasticidade proporcionando à estrutura uma maior deformabilidade, com reflexos no seu comportamento (flexas, fissuras) e nas estruturas nela apoiadas (alvenarias e seus revestimentos), que passam a sofrer tensões a que não podem resistir.

A conseqüência é a ocorrência de fissuração, deslocamentos, umidade, etc., além de deficiências do próprio concreto, facilitando a corrosão de armaduras e outras patologias.

Percebendo este efeito, a engenharia do concreto se voltou para o aspecto da *durabilidade*, ou seja, o projeto do concreto na estrutura deve permitir que ele possua deformabilidade controlada, e o módulo de deformação passou então a ser especificado e controlado. Assim, as normas atuais, especialmente a NBR 6118:2003, determinam mais claramente a necessidade da especificação desse parâmetro, ao lado da resistência, para a idade necessária, como já vimos.

Entretanto outros dois fenômenos de progresso, conquistados recentemente, tornam ainda mais fundamental a precisa abordagem do *módulo* e da *resistência*:

- A aceleração dos cronogramas;
- Os concretos de resistência elevada.

O primeiro desses fenômenos ocorre por dois motivos: a aceleração natural de todas as ações em busca da produtividade, estimulada por *sistemas da qualidade*, e a própria disponibilidade de recursos tecnológicos nos *processos construtivos* e no *material concreto*, que viabilizam esta aceleração.

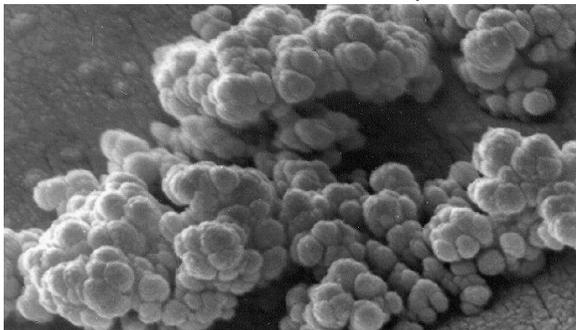
A abordagem gerencial da execução de obras, que recentemente se tornou uma realidade nos canteiros, envolve toda a cadeia produtiva da construção em ações cada vez mais integradas e otimizadas que têm o efeito de reduzir os tempos operacionais. Seria de se adotar outras metodologias e materiais para conquistar estas vantagens, não fosse o concreto um material que permite essa aceleração, que é compatível com o crescimento das suas resistências e módulo de elasticidade que vem sendo obtido recentemente.

O que ocorre é que, se precisando de um tempo de concretagem menor, limita-se o prazo entre as diversas etapas de um edifício, por exemplo, e as formas passam a ser retiradas em um prazo menor. Nesta situação, hoje bastante comum em grandes centros, o concreto deve apresentar parâmetros compatíveis com os esforços que receberá nessas *idades críticas*, tipicamente idades de desforma, protensão, carregamentos, etc., em idades precoces, abaixo de 28 dias e até mesmo de 7 dias.

A *execução*, hoje mais arrojada e veloz, passa a exigir mais do *projeto*, o qual deve se adequar no sentido de atender às condições executivas na medida em que isto seja possível, ainda mais sabendo-se *que é possível!*

O advento dos concretos de elevada resistência, relativamente recente no Brasil e no mundo, vem trazer estes recursos necessários a atender ao aumento da velocidade executiva. Já com a melhoria dos cimentos nacionais passou a ser corriqueiro atender a fck de 35 ou 40 MPa - e até maiores - com relativa facilidade, utilizando consumos de cimento que até 10 anos atrás correspondiam a fck 15 ou 18 MPa. Com a obrigatoriedade de atender a relações água/cimento mínimas para a durabilidade, as resistências resultantes passam a ser automaticamente mais elevadas e assim há que serem especificadas e bem aproveitadas pelo projeto.

Adotar a resistência correspondente à menor relação *a/c* é uma imposição do bom senso pela necessidade de controlar esta relação *a/c pela resistência obtida na dosagem*; que é a forma mais prática de controlá-la. Como consequência, um projeto que estava dimensionado para um fck menor, ao ser redimensionado, apresentará vantagens no volume, peso, etc., conforme já mencionamos anteriormente.



Na revolução dos concretos de elevada resistência mais dois fenômenos são dignos de nota: a *adição de microssílica* ou *metacaulim*, e *os aditivos superplastificantes*.

A microssílica (foto) é um pó muito fino com alto teor de sílica, menor que os grãos de cimento, com características aglomerantes, que confere grande compacidade e resistência aos concretos, proporcionando estruturas mais duráveis e resistentes. De características, constituição e comportamento semelhante, o metacaulim, obtido da calcinação criteriosa de argilas caulínicas, também proporciona concretos de maior desempenho.

Por se tratarem de pós muito finos, essas adições trazem uma maior necessidade de água para a trabalhabilidade dos concretos, o que as tornava viável inicialmente apenas para obras especiais como pontes, obras de arte e grandes estruturas, de fck tradicionalmente elevado.

Com a entrada no mercado dos *super-plastificantes*, aditivos que proporcionam grande trabalhabilidade ao concreto mesmo com baixo teor de água, a tecnologia apropriada às grandes resistências se completou. Os concretos resultantes do uso de superplastificantes puderam ter suas relações água/cimento baixadas a valores de 0,3 (litros de água/kg de aglomerante) e até menos, proporcionando concretos com resistências fantásticas de 80 MPa ou mais (hoje já temos no Brasil obras com $f_{c28} = 130$ MPa) e o recorde brasileiro, em testes de protótipos é de 260 MPa obtido na Universidade Federal de Goiás (informação do Eng.º Fábio Souza, fabio@concretoarmado.com).

Os superplastificantes de última geração proporcionam concretos auto-adensáveis ($slump > 200$ mm) com elevadas resistências. A inexistência de água em excesso para evaporar – que é o que ocorre com a água de concretos de relação $a/c > 0,3$ – elimina a porosidade do concreto e os cuidados iniciais com a cura permitem eliminar a retração causadora de fissuras. O resultado é um concreto compacto e de altíssima resistência, que é denominado de CAD sigla de *concreto de alto desempenho*.



Todos estes avanços estão disponíveis agora para obras urbanas comuns – o concreto de $f_{c28} = 130$ MPa foi fornecido a um edifício, por uma concreteira, em caminhões betoneira, em meio ao trânsito de São Paulo - e suas vantagens técnicas – aceleração do cronograma e maior área útil por m^3 de concreto – compensam

largamente os custos do material e de seu controle.

A propósito disto é que se recomenda um maior aperfeiçoamento do projeto com o apoio especializado do engenheiro tecnologista de concreto, contemplando as complexas especificações do concreto que atenderá à obra em termos estruturais, executivos e operacionais, aumentando sua vida útil e reduzindo a manutenção, em benefício dos usuários.

Também durante a execução, para os desafios do atendimento de resistências e módulos de elasticidade precisos em idades precoces, torna-se essencial um programa de controle preciso, planejado e acompanhado por especialista em tecnologia de concreto, como garantia da qualidade exigida em projeto.

As modernas ferramentas de controle

Pela exposição acima vemos que há muitas novidades que aconteceram em pouquíssimo tempo e parecem ter “aparecido”, todas de uma vez, no meio técnico, representando um desafio enorme para quem projeta e para quem executa as obras



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

Egydio Hervé Neto¹

com concreto. E isto é verdade, de certo modo, pois durante muito tempo tivemos uma norma obsoleta presidindo projeto e execução de estruturas de concreto.

Certo que a NBR 12655 surgiu em 1992, há 11 anos, trazendo boa parte do avanço que parece estar surgindo apenas agora, mas, para efeitos práticos, percebe-se que esta norma, no seu tempo, “não pegou” no nosso meio técnico. Isto na época deveria ser encarado de uma forma mais rígida, pois o Código de Defesa do Consumidor já existia e já afirmava a obrigatoriedade das normas brasileiras para quem quer que venda produtos ou serviços no nosso mercado, ou seja, a partir de sua vigência (11/09/1990), citando-as como obrigatórias, lhes conferia a força de leis.

O seu aparente rigorismo contrastou com as possibilidades da nossa Engenharia e a lei ficou sendo “digerida” lentamente este tempo todo e agora, juntamente com os demais avanços que aqui citamos, parece estar finalmente em condições de ser aplicada.

Todos estes avanços não vieram porém dessa forma abrupta mas com muita experimentação e estudos por parte dos especialistas em concreto e hoje já há uma série de “ferramentas” apropriadas ao atendimento das novas exigências, tornando as atividades de projeto e controle executivo mais seguras, à altura desses novos desafios.

A título ilustrativo vamos demonstrar alguns caminhos que devem ser adotados para obter bons resultados.

Um novo material

O primeiro aspecto que fica claro na evolução do concreto é que, devido às elevadas resistências, há **um novo material** disponível para projeto, tanto arquitetônico quanto estrutural e os profissionais dessas áreas têm hoje mais recursos e também que agregar novas competências para aproveitar estes recursos disponíveis.

Sem dúvida a contribuição do concreto aumentando tão significativamente no conjunto com o aço, conduz a seções mais esbeltas, maiores vãos livres, maior leveza que proporciona recursos estéticos completamente diferentes, proporcionando uma “nova arquitetura do concreto estrutural”. O concreto aparente torna-se definitivamente durável e com opções de textura e cor, acrescidas pelos avanços em fôrmas e pela indústria química, traduzindo-se em um novo e mais atraente material de construção de grande durabilidade.

Com resistências elevadas e módulos de elasticidade bem maiores - ainda que não proporcionais, como se sabe - este novo material traz também uma revolução ao cálculo estrutural que, instigado pelas criações arquitetônicas e prazos de execução cada vez mais curtos, têm que se modificar, aceitando paralelamente todas as características e desafios de uma “nova engenharia do concreto estrutural”.

Engenharia Econômica

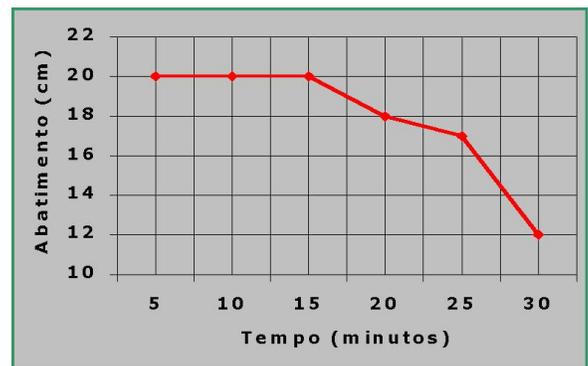
Outro aspecto que vem se associar a estes avanços no concreto é a necessidade do uso de recursos da economia associados aos estudos técnicos, como forma de cotejar as diversas soluções disponíveis, considerando aspectos tão diferentes como *custo direto* (concretos mais caros e de melhor desempenho x concretos mais “baratos”

com menores recursos estruturais), *custo de amortização* (reflexo do tempo de vida útil prevista, nas receitas do investidor), *antecipação de receitas* (reflexo da aceleração da obra no tempo de retorno do investimento), enfim, aumentar o escopo do projeto aprofundando os estudos de *engenharia econômica* no empreendimento.

Trabalhabilidade e logística

Decidida a solução técnica e econômica mais adequada há necessidade de ferramentas precisas para controle de execução uma vez que há decididamente maior complexidade, *mais engenharia*, maiores riscos, nos compromissos entregues à execução, ainda que amplamente compensados com recursos do material e da ciência aplicada.

Um fator prático que se deve determinar com a devida antecedência nos estudos de dosagem é o *prazo máximo de trabalhabilidade*, representado pelo tempo que o concreto mantém sua trabalhabilidade adequada – ajustada de comum acordo com as necessidades da mão de obra e condições de aplicação - disponível para o lançamento e acabamento do concreto em condições ideais (gráfico).



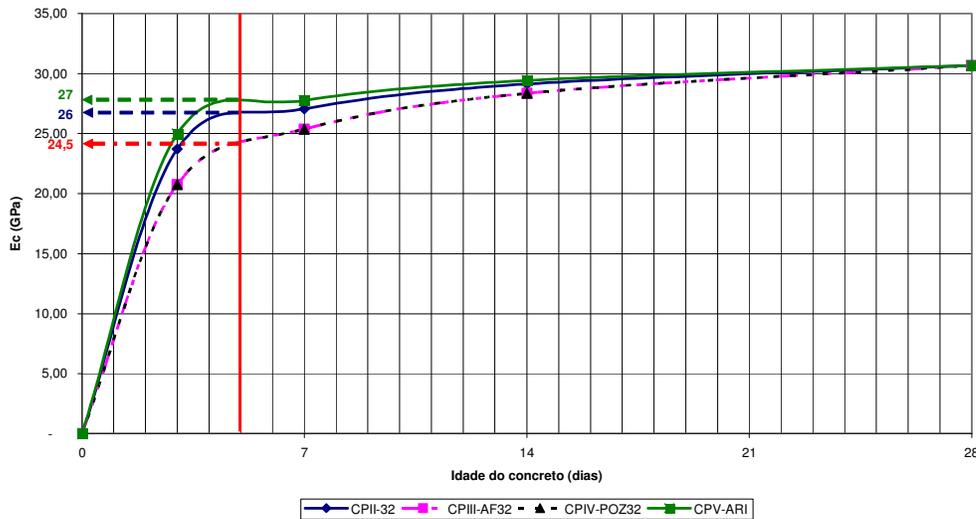
Por este novo conceito considera-se a necessidade de organizar o canteiro e suas operações de concretagem de tal modo que o concreto chegue à obra com um *slump* pré-ajustado - definido em conjunto com as possibilidades da mão de obra, criando comprometimento – e seja lançado, adensado e nivelado nas fôrmas num tempo tal que não sofra redução desse *slump* além do nível mínimo ajustado de comum acordo.

Sem este controle e organização rigorosa da obra, há possibilidade da ocorrência de uma situação - mais comum do que o desejável em algumas concretagens atuais - onde o caminhão betoneira fica na obra perdendo tempo e qualidade, por falta de planejamento das operações e acaba “vencendo” o *slump*, o qual vai sendo “refeito” com adição de água, perda de resistência e qualidade, o que traz risco totalmente inaceitável.

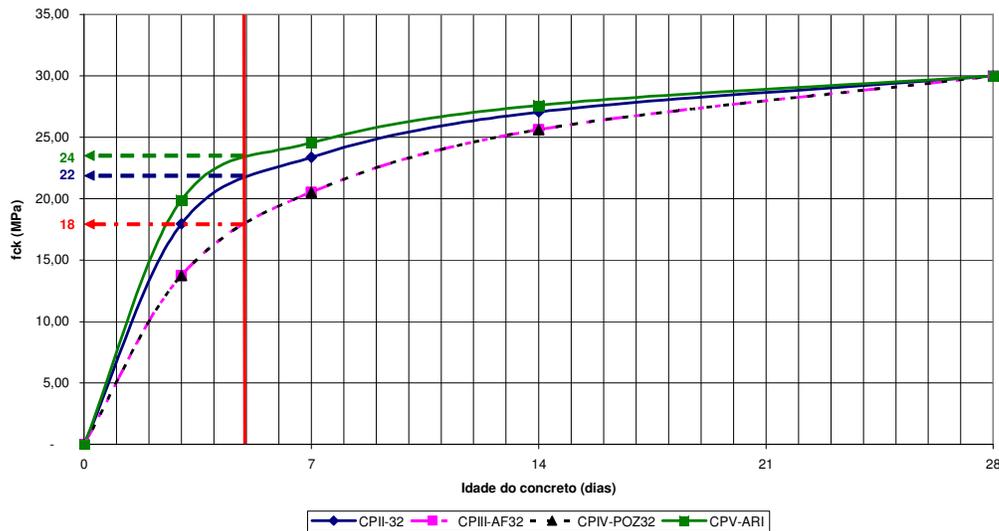
Curvas de crescimento de f_c e E_c

Outra situação necessária em obras onde a velocidade conduz a desformas precoces é o traçado de curvas reais (a partir de estudos de dosagem com os materiais da obra) de *crescimento de resistência* e *crescimento de módulo de elasticidade* (gráficos a seguir), em idades tão precoces quanto possível, para permitir o rigoroso acompanhamento da capacidade real do concreto em relação aos carregamentos críticos (desforma, protensão, etc.), como já mencionamos acima.

Comparativo Evolução E_c em cimentos brasileiros



Comparativo Evolução f_{ck} em cimentos brasileiros



De posse dessas curvas o executante da obra poderá definir as datas de ações críticas que atendem ao projeto nos parâmetros *resistência* e *módulo*. Se a classe do concreto for insuficiente para atender qualquer um dos parâmetros na data desejada, o estudo deverá ser feito com classe de concreto de f_{ck} maior, de tal modo que venha a atender ao projeto.

Os estudos têm a vantagem de proporcionar o conhecimento prévio do *módulo*, permitindo reduzir esse ensaio – mais caro e complexo, durante a execução, bastando



e- Artigo: 012-2006

Os novos conceitos de qualidade para as estruturas de concreto

Egydio Hervé Neto¹

controlar com maior rigor a *resistência*, pois os parâmetros estarão assim perfeitamente correlacionados pelo estudo, para várias idades e resistências, se necessário.

Gerenciamento da concretagem

Outra ferramenta que se torna mais útil para o correto controle de estruturas é o uso de uma *planilha de controle das concretagens*, elaborada a partir dos desenhos de forma, especificações do concreto e cronograma da obra. Nesta *planilha* deverão ser lançadas, antes do início da obra, todas as concretagens, divididas em lotes (e conseqüente amostragem) com seus respectivos volumes e concreto especificado, nas datas previstas em acordo com o cronograma.

Este trabalho inicial, realizado logo após o projeto concluído, permitirá tornar claras as condições técnicas e a logística das concretagens – especialmente os equipamentos necessários no canteiro -, facilitando a contratação do concreto e do controle, pois todos os dados necessários *previstos* estarão reunidos na *planilha*.

Na medida em que a execução se desenvolve os resultados de *resistência*, *módulo* e outros parâmetros eventualmente necessários vão sendo lançados na *planilha* em seus campos correspondentes. Esta disposição permite determinar, por exemplo, o *fck estimado* lote a lote, comparando-o com o *fck de projeto*, e facilitar a decisão de aceitar o lote ou partir para verificações na estrutura, conforme o caso. Outra facilidade importante criada pelo uso de *planilha* é o fato dela se constituir num *documento de certificação* da obra, para ser consultado a qualquer momento pelo proprietário ou pelo projetista.

Muitas outras ferramentas poderão surgir com o tempo e a necessidade de controlar estruturas cada vez mais arrojadas como certamente surgirão, dadas as possibilidades que hoje se apresentam.

Comentários finais

Certamente toda esta evolução traz um trabalho maior, com mais complexidade e mais profissionais envolvidos nas definições de projeto e no acompanhamento das obras.

Também se torna muito mais crítico qualquer erro cometido na execução dos serviços e as decisões sobre parâmetros não atendidos deverão ser tomadas com maior rigor e rapidez, no sentido de preservar a qualidade e não prejudicar o ritmo da obra.

A precisão na moldagem e cuidados com os corpos de prova deve ser maior, para impedir que maus tratos conduzam a resultados irreais, gerando falsos receios ou maiores riscos para a segurança da obra.

Toda esta complexidade é compreensível quando se trata de obter resultados econômicos favoráveis perfeitamente mensurados na fase de planejamento e monitorados com rigor na fase executiva, o que é gratificante para a Engenharia e a Sociedade brasileira.

¹ Egydio Hervé Neto, Engenheiro Civil, é Consultor em Tecnologia de Concreto e Diretor da Ventuscore Soluções em Concreto, de Porto Alegre/RS - egydio@ventuscore.com.br