

PERGUNTAS TÉCNICAS

ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL:

fabio@ibracon.org.br

CONTROVÉRSIAS SOBRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE

Um dado que tem me preocupado muito é a utilização de módulo de elasticidade, utilizando a equação da NBR 6118: $5600 \cdot f_{ck}$. Ocorre que este é o parâmetro indexado nos programas de cálculo que utilizamos no Brasil, mas, na prática, não se consegue esta correlação com os concretos de mercado. Como as características dos materiais na composição do concreto influenciam muito e existe uma grande variação regional, o ideal seria fazer um movimento para, em cada região, as concreteiras testarem e divulgar para os projetistas qual o valor confiável, com o qual poderíamos contar para avaliação das deformações.

Estamos sofrendo bastante com o comportamento, diferente do calculado, para estruturas com balanços de até 5 m. Acredito que parte do mau desempenho se deva às condições de execução e cura mal feita, variação climática, posição da armadura, etc. Quando enfatizada a questão do módulo, o preço aumenta e aparecem dificuldades no fornecimento, sinal de que não é dada a devida atenção a esta característica nas concreteiras. E só para finalizar, em Camboriú, na construção dos edifícios altos que estão sendo executados lá, apenas uma pedreira da região consegue fornecer o agregado com as características exigidas em projeto.

JORGE LUIZ SCHREIBEIR

SCHREIBEIR ENGENHARIA

O Jorge levantou um problema bem interessante e atual. A norma ABNT NBR 6118 sugere um modelo simplificado para o cálculo do módulo quando não se dispõem de ensaios e resultados daquele concreto. A norma também prescreve coeficientes minoradores (0,7 a 1,0), ou seja, dependendo da natureza petrográfica do agregado e lembrando que quanto mais fluido o concreto, quanto mais argamassado, quanto menor a dimensão máxima do agregado graúdo, ou seja, quanto mais “gostoso/fácil” de trabalhar com o concreto, menor será o módulo para um mesmo f_{ck} .

Minha sugestão pessoal, na ausência de resultados de ensaio, o projetista deve ser pragmático e adotar sempre o coeficiente 0,85, pois assim vai acertar na maioria dos casos.

A controvérsia não é nova. Em 2007, o IBRACON organizou o Painel de Assuntos Controversos — Módulo de Elasticidade: mitos e realidades — no 49º Congresso Brasileiro do Concreto, em Bento Gonçalves. A principal polêmica levantada e discutida foi se as equações empíricas da ABNT NBR 6118 são adequadas para refletir o comportamento do concreto feito com os materiais disponíveis nas diferentes regiões do país.

Apesar das alegações de discrepância, a norma ABNT NBR 6118 acabou de ser revisada e manteve as estimativas para os valores de módulo de elasticidade, preservando os mesmos coeficientes da versão de 2014. Pode-se concluir que, para os profissionais que colaboraram com a revisão de 2023, as equações de estimativa do módulo de elasticidade espelham bem e com segurança o comportamento dos concretos do Brasil.

A ABNT NBR 6118 e a ABNT NBR 8522 admitem o comportamento elástico-linear do concreto, a despeito desse comportamento não ser observado na realidade. A elasticidade do concreto pode ser grosseiramente admitida, até o limite de 30% da sua tensão de ruptura (f_{ct}).

A explicação do comportamento elástico, viscoelástico e plástico do concreto está na sua microfissuração progressiva sob cargas. As microfissuras causadas na interface entre o agregado e a pasta permanecem estáveis somente até cerca de 30% da tensão de ruptura dos concretos usuais e podem ser mais estáveis com o aumento do f_{ck} do concreto.

Por conseguinte, o diagrama que relaciona a tensão e a deformação é quase linear até cerca de 30% e, por essa razão, define-se, para fins de ensaio o módulo tangente inicial E_{ct} como aquele correspondente a uma carga de $0,3 \cdot f_{ck}$ (ABNT NBR 8522).

É por meio dessa “simplificação” que se torna possível associar facilmente cargas a deformações de elementos estruturais de concreto e, assim, determinar a rigidez das peças (deformação lenta e flechas em vigas e lajes) e a estabilidade global da estrutura.

Concluindo, nem a curva tensão-deformação nem o módulo de elasticidade do concreto refletem o comportamento real da estrutura ou do elemento estrutural, pois assumem não haver armadura nem fissuração, no entanto, essas abstrações são consentidas e praticadas como seguras para o dimensionamento e previsão do comportamento da estrutura.

É inerente ao ensaio estático do módulo prescrito na norma ABNT NBR 8522 apresentar uma grande variabilidade intrínseca de ensaio no mesmo laboratório e entre laboratórios. Pragmaticamente, devido à complexidade e dificuldade do ensaio que acarreta variabilidades grandes nos resultados, este autor, defende que resultados de ensaio dentro de uma margem de mais ou menos 20% do valor especificado no projeto estrutural, devem ser aceitos como normais e conformes. Essa é também a posição dos americanos conforme consta no texto da norma ACI 318.

Resumindo, o ensaio estático normatizado é limitado pela complexidade, custo e baixa exatidão. As dificuldades do ensaio estático causam prejuízos e inibem o controle rotineiro dessa propriedade. Por essa razão, hoje já é possível medir o módulo de elasticidade por ensaio não destrutivo,

método dinâmico (ABNT NBR 8522-2), que consiste em obter frequências naturais de vibração do concreto a partir da resposta acústica do corpo de prova ao impacto de um pulsador.

“Este ensaio é não destrutivo, possibilita o uso de corpos de prova de menor dimensão e apresenta baixa dispersão dos resultados”, segundo Pedro Bilesky que realizou mestrado no tema no IPT. Os resultados indicaram que o método das frequências naturais de vibração permite estimar o módulo estático com erro médio da ordem de 7%, menor que a variabilidade dos Interlaboratoriais (12%) e que o tolerável pelo ACI-318 de 20%. Conclui-se que estimar o módulo de elasticidade estático a partir do dinâmico é tão exato quanto medir diretamente o estático.

Por outro lado, este autor considera desprezível a diferença no comportamento ELU e ELS e nos quantitativos (volumes de concreto, massa de aço, área de forma) de uma estrutura de concreto convencional de edificação até 150 m de altura.

A experiência e expectativa é de que tanto faz o módulo ser, por exemplo, 30 GPa, ou ser 24 GPa, pois o comportamento da estrutura em 50 anos de vida útil pouco se altera, até porque o módulo é medido aos 28 ou 63 ou 91 dias, e a estrutura vai ser carregada muito depois, quando o módulo já é bem maior.

Evidentemente em edifícios altos acima de 250 m, como é o caso de Camboriú corretamente citado pelo Jorge, e em obras especiais, protensão, balanços especiais, vai ocorrer alguma diferença, mas em 95% das estruturas, tanto faz como tanto fez.

Mas, em balanços, o mais comum é os operários e o engenheiro de obra que os lidera errarem na posição da armadura tracionada que deve ficar bem próxima da superfície superior da viga ou da laje e... dificilmente fica na posição correta.

Além disso, o balanço deve ser projetado e construído com redundância, ou seja, com abertura de fissura, w_k , abaixo de 0,1 mm e estágio 2 (ELS), além da armadura positiva de suspensão do peso do balanço por questões de eventual colapso.

Se projetar um balanço grande para $w_k > 0,1$ mm (ELS), adotar um módulo impossível para os agregados da região e ainda errar no detalhamento e posicionamento da armadura.... pode esperar o pior.

PAULO HELENE

PHD ENGENHARIA E VICE-PRESIDENTE DO IBRACON

NO PRUMO

Compartilhar teoria e prática da construção civil, com leveza, didatismo e criatividade. Esta é a proposta do livro “No Prumo”.

O livro é dividido em duas partes. A primeira traça a história da construção no Brasil e sua relação com a cultura. A segunda revela, na prática, os conceitos e as técnicas consolidadas ao longo dessa história.

A publicação oferece uma leitura atual de temas que vão do projeto e da análise de solo ao serviços de concretagem, sistemas construtivos e sustentabilidade.

Com textos de Paulo Helene, professor titular da USP e diretor-presidente do IBRACON, e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

FORMATO: 21 x 29 cm

PÁGINAS: 170

ANO: 2017

VENDAS: Loja virtual (www.ibracon.org.br)



PRODUÇÃO



PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO

