

# CONCRETO

& Construções

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

PESQUISAS, PROJETOS,  
TECNOLOGIA, CONTROLE DA  
QUALIDADE E USOS DO CRF  
NO BRASIL E NO MUNDO



IBRACON  
Instituto Brasileiro de Concreto

Ano XLV

87

JUL-SET  
2017

ISSN 1809-7197  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

ANTONIO DOMINGUES DE  
FIGUEIREDO: PESQUISAS POR  
BOAS SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

MANTENEDOR

SEGURANÇA  
CONTRA INCÊNDIO

ENCONTROS E NOTÍCIAS

CURSOS DE ATUALIZAÇÃO  
PROFISSIONAL

# EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

## ADITIVOS



## ADIÇÕES



## EQUIPAMENTOS



## ARMADURA



## RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



Pires | Giovanetti | Guardia  
Tratamentos em Estruturas

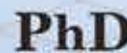
## ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



## ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



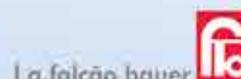
# JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da Arquitetura e Engenharia do Brasil !

## PRÉ-FABRICADOS



## CONTROLE TECNOLÓGICO



## CONSTRUTORAS



## FORMAS



## CIMENTO



LafargeHolcim



Associação Brasileira de Cimento Portland



CIMENTO NACIONAL



## GOVERNO



## CONCRETO



Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



**Adote concretamente**

a revista **CONCRETO & Construções**



**CRÉDITOS  
CAPA**

PAINEL ARQUITETÔNICO DE FACHADA COM CUAD DA CASA JAPÃO, EM SÃO PAULO

**SEÇÕES**

- 6 Editorial
- 7 Coluna Institucional
- 9 Converse com o IBRACON
- 10 Encontros e Notícias
- 14 Personalidade Entrevistada: Antonio Domingues de Figueiredo
- 43 Seção Especial: Ensino e Aprendizado na Engenharia Civil
- 78 Entidades da Cadeia
- 106 Mantenedor
- 113 Acontece nas Regionais



**REVISTA OFICIAL DO IBRACON**

Revista de caráter científico, tecnológico e informativo para o setor produtivo da construção civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto.

**ISSN 1809-7197**

Tiragem desta edição: 5.000 exemplares  
Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

**JORNALISTA RESPONSÁVEL**

→ Fábio Luís Pedroso  
MTB 41.728/SP  
fabio@ibracon.org.br

**PUBLICIDADE E PROMOÇÃO**

→ Arlene Regnier de Lima Ferreira  
arlene@ibracon.org.br

**PROJETO GRÁFICO E DTP**

→ Gill Pereira  
gill@elementto-arte.com

**ASSINATURA E ATENDIMENTO**

office@ibracon.org.br

**GRÁFICA**

Coan Indústria Gráfica  
Preço: R\$ 12,00

As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

© Copyright 2017 IBRACON

Todos os direitos de reprodução reservados. Esta revista e suas partes não podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos autores e editores.

**PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL**

→ Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)

**COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS**

- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Tutikian (tecnologia)
- Eduardo Millen (pré-moldado)
- Enio Pazini de Figueiredo (durabilidade)
- Ercio Thomaz (sistemas construtivos)
- Evandro Duarte (protendido)
- Frederico Falconi (projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Helena Carasek (argamassas)
- Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin (normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
- José Martins Laginha Neto (projeto estrutural)
- José Tadeu Balbo (pavimentação)
- Mário Rocha (sistemas construtivos)
- Nelson Covas (informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos (arquitetura)
- Paulo Helene (concreto, reabilitação)
- Selmo Chapira Kuperman (barragens)

**COORDENADOR DA SEÇÃO ESPECIAL**

→ César Daher (ensino)

**IBRACON**

Rua Julieta Espírito Santo Pinheiro, 68 – CEP 05542-120 Jardim Olímpia – São Paulo – SP  
Tel. (11) 3735-0202



**INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO**

Fundado em 1972  
Declarado de Utilidade Pública Estadual | Lei 2538 de 11/11/1980  
Declarado de Utilidade Pública Federal Decreto 86871 de 25/01/1982

**DIRETOR PRESIDENTE**

Julio Timerman

**DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE**

Túlio Nogueira Bittencourt

**DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE**

Luiz Prado Vieira Junior

**DIRETOR 1º SECRETÁRIO**

Antonio D. de Figueiredo

**DIRETOR 2º SECRETÁRIO**

Carlos José Massucato

**DIRETOR 1º TESOUREIRO**

Claudio Sbrighi Neto

**DIRETOR 2º TESOUREIRO**

Nelson Covas

**DIRETORA DE MARKETING**

Íria Lícia Oliva Doniak

**DIRETOR DE EVENTOS**

Bernardo Tutikian

**DIRETORA TÉCNICA**

Inês Laranjeira da Silva Battagin

**DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS**

Paulo Helene

**DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA**

Eduardo Barros Millen

**DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

Leandro Mouta Trautwein

**DIRETOR DE CURSOS**

Enio José Pazini Figueiredo

**DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA**

Gilberto Antônio Giuzio

**DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS**

Jéssika Pacheco

**ENTENDENDO O CONCRETO**

- 26 Aspectos gerais sobre o uso do concreto reforçado com fibras no Brasil
- 33 Controle tecnológico do comportamento mecânico do CRF
- 39 Compósitos cimentícios de ultra-alto desempenho reforçados com fibras



**OBRAS EMBLEMÁTICAS**

- 50 Inovação em estruturas com concreto de ultra-alto desempenho na América do Norte

**ESTRUTURAS EM DETALHES**

- 57 A utilização do CUAD em obras do Brasil
- 63 Práticas para a qualificação de macrofibra no concreto



- 72 Projeto de bases de equipamentos industriais em CRF

**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

- 80 Contribuição das fibras de aço para o dimensionamento à flexão de viga armada
- 86 Os desafios da avaliação da trabalhabilidade do CRF
- 91 END para determinar a quantidade e orientação média de fibras CRFA por meio de indução eletromagnética
- 98 Resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçadas com fibras de aço



**NORMALIZAÇÃO TÉCNICA**

- 108 Requisitos pré-normativos, normativos e códigos-modelo para o CRFA em situação de incêndio

# Venha conhecer os avanços no estado de arte do concreto

Caro leitor,

Como já é tradicional nesta edição da Revista, venho através deste editorial convidá-los a participar do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, reconhecido como evento de maior relevância técnica-científica para a cadeia produtiva do concreto. No próximo dia 31 de outubro, diversos pesquisadores, profissionais e estudantes irão se reunir na Fundaparque, em Bento Gonçalves/RS, para debater sobre a tecnologia do concreto e de suas estruturas, bem como normalização técnica, promovendo a divulgação das soluções inovadoras em termos de produtos e processos, obtidas através do desenvolvimento das pesquisas científicas e tecnológicas.

Fizemos um grande esforço para tornar o evento ainda mais acessível aos estudantes de engenharia e arquitetura, mobilizados e motivados a participar dos tradicionais concursos estudantis, por meio dos quais se aprofundam no universo do concreto.

Contaremos com excelentes palestras, com pesquisadores de renome no cenário mundial, como os doutores Fernando Branco (Portugal), Marco di Prisco (Itália) e Barzin Mobasher (Estados Unidos), através das quais os congressistas poderão conhecer as maiores inovações e tecnologias para o aprimoramento das construções em concreto. Alguns dos temas serão também discutidos nos eventos paralelos, que vêm se estabelecendo devido ao sucesso de outras edições, como o II Seminário de Ensino de Engenharia, III Simpósio de Durabilidade das Estruturas de Concreto, IV Seminário sobre Pesquisas e Obras em Concreto Autoadensável e o II Simpósio de Concreto Reforçado com Fibras, que é o tema principal desta edição da revista Concreto e Construções.

Apesar do uso de fibras no concreto apresentar diversas vantagens e ter crescido consideravelmente nos últimos anos, por sua complexidade ainda se demandam estudos que permitam a caracterização adequada das propriedades do material e uma previsão confiável de seu comportamento. Nesta edição são abordados recentes avanços realizados pelos pesquisadores

de nossa comunidade na área, disseminando novos conhecimentos e demandas de estudo, que não se limitam ao estudo das propriedades mecânicas

deste tipo de material. O simpósio sobre este tema, que será realizado juntamente com o 59º CBC, abordará assuntos relacionados com modelagem constitutiva, propriedades físicas, efeitos dependentes do tempo, condições de incêndio, materiais compósitos avançados, projeto estrutural, durabilidade, aplicações e normalização.

Os avanços obtidos em tecnologia do concreto, como o concreto reforçado com fibras, não ofuscam as qualidades já conhecidas do concreto, como o seu desempenho satisfatório em situação de incêndio. O incêndio do Grenfell Tower, em Londres, há poucos meses, apesar de trágico, mostrou de forma clara a grande capacidade das estruturas de concreto de manterem a sua capacidade resistente em elevadas temperaturas, diferentemente das estruturas de aço, conforme brilhante artigo do Dr. Carlos Brites nesta edição. O professor explica, com grande didática, as razões para o incêndio, para que aprendamos e eventos como este não voltem a ocorrer. E em uma futura edição da revista, o tema segurança contra incêndio em estruturas de concreto será destaque e abordado por diversos especialistas da área, que tratarão os principais aspectos relacionais à pesquisa e normalização.

Esses e muitos outros assuntos serão temas do 59º CBC. Em nome da comissão organizadora, afirmo que o esforço tem sido grande para manter a impecável qualidade das últimas edições e, para isso, conto com sua presença. Tenho certeza de que o evento será um sucesso. Nos vemos em Bento Gonçalves!



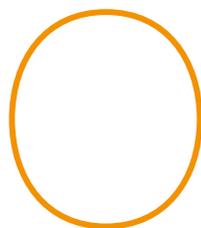
BERNARDO TUTIKIAN

DIRETOR DE EVENTOS DO IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO 

# Panorama das atividades, discussões e cronograma para o lançamento de práticas recomendadas sobre concreto reforçado com fibras pelo CT 303

## I. INTRODUÇÃO



CT 303 é o Comitê Técnico de uso de materiais não convencionais para estruturas de concreto, fibras e concreto reforçado com fibras, envolvendo o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE). Ele tem como missão promover a integração dos diversos setores da utilização de materiais não convencionais para reforço de estruturas de concreto (reforço estrutural, armaduras não metálicas e concreto reforçado com fibras), visando a integração do setor de projetos e materiais.

O CT303 surgiu a partir de uma integração IBRACON/ABECE, tendo como referência as discussões que foram realizadas na ABECE com a criação em setembro de 2011 do Comitê Técnico “Concreto reforçado com fibras”, cujos objetivos eram o aprofundamento de estudos da aplicação estrutural do CRF, o estabelecimento de diretrizes para projeto de estruturas e controle tecnológico do CRF para aplicações estruturais e contribuir para a normalização sobre o assunto. O comitê utilizou como referência o Código Modelo 2010 da fib (Federação Internacional do Concreto



Estrutural) e produziu um primeiro texto intitulado “Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras – Recomendações para projeto”, publicado em outubro de 2014.

Após alinhamento entre IBRACON e ABECE, foi instalado em 25 de junho de 2015, na sede da ABECE, em São Paulo, o CT 303 constituído de quatro Grupos de Trabalhos: GT1 - Estruturas de concreto reforçado com fibras, GT2 - Reforço de estruturas existentes de concreto com materiais não convencionais, GT3 - Estruturas de con-

creto com armadura de materiais não convencionais e GT 4 - Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural.

O assunto CRF envolve o GT1 no que diz respeito aos critérios de projeto e o GT4 no que diz respeito às fibras e as avaliações de desempenho do CRF. Os GTs 2 e 3 estiveram inicialmente sobre responsabilidade do Eng. Fernando Relvas, que veio a falecer em 2015 e, por esse motivo, passou por um período de reorganização de suas atividades, sendo que esses GTs retomaram suas atividades em 2017.

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos do CT303 foram estabelecidos visando ampliar as discussões envolvendo outros setores envolvidos com

CRF para além do setor de projeto. Nesse sentido, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- ▶ Desenvolver trabalhos técnicos visando auxiliar na Normalização Brasileira sobre os três temas (reforço estrutural, armaduras não metálicas e concreto reforçado com fibras);
- ▶ Fortalecer a representação brasileira em trabalhos internacionais de normalização, especialmente no âmbito do ISO/TC71/SC6;
- ▶ Elaboração de Práticas Recomendadas para serem publicadas pelo IBRACON e pela ABECE, visando promover uma constante atualização técnica dos profissionais da área de estruturas de concreto.

### 3. ATIVIDADES

Os GT1 e GT4 têm reuniões mensais que ocorrem em São Paulo, na sede da ABECE, com possibilidade de participação virtual. Desde a sua implantação foram realizadas as seguintes atividades:

- ▶ Workshop Internacional IBRACON/ABECE “Concreto Reforçado com Fibras”, realizado em abril de 2016, onde foram discutidas questões sobre o assunto, com presença de pesquisadores da Europa e América do Sul;
- ▶ Publicação da Prática Recomendada IBRACON/ABECE “PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS”, em 2016, no 58º Congresso Brasileiro do Concreto, em Belo Horizonte.

Estão em fase de finalização as seguintes Práticas Recomendadas IBRACON/ABECE com previsão de publicação em 2017:

- ▶ CONTROLE DA QUALIDADE DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS;
- ▶ RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO (limite de proporcionalidade e residual) DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS: Método de ensaio;
- ▶ RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR DUPLO PUNÇONAMENTO (fissuração, tenacidade e residual) DO CON-

CRETO REFORÇADO COM FIBRAS: Método de ensaio;

- ▶ DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FIBRAS (estado fresco) DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS: Método de ensaio;
- ▶ MACROFIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS: Definições e especificações;
- ▶ MACROFIBRAS DE VIDRO ÁLCALI RESISTENTES (AR) PARA CONCRETO DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS: Definições e especificações.

### 4. NORMALIZAÇÃO

Com o avanço tecnológico da utilização do CRF como material estrutural, é de fundamental importância o aprofundamento de estudos no que concerne à terminologia, requisitos, métodos de ensaio e procedimentos para projeto e execução. Nesse sentido, os trabalhos desenvolvidos no CT 303 são um primeiro passo para a normalização do CRF para aplicações estruturais. Dessa forma, O CT 303 deve encerrar neste ano a publicação das práticas recomendadas, iniciando em 2018 ações no sentido de contribuir com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) por meio do CB18 (Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados) e do CB2 (Comitê Brasileiro de Construção Civil) na organização dos trabalhos de normalização do CRF.

Cabe ressaltar que membros do CT 303 já participam na Comissão de Estudos do CB28, que está tratando da alteração da norma ABNT NBR 15530 Fibras de aço para concreto – Definições e especificações.

Dentro dessa perspectiva, espera-se que se tenha até o final de 2018 um arcabouço de normas sobre o CRF que possam colaborar na aplicação do CRF, com confiabilidade e segurança nas estruturas de concreto.

PROF. DR. MARCO ANTONIO CARNIO

COORDENADOR DO CT 303 



ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL: [fabio@ibracon.org.br](mailto:fabio@ibracon.org.br)

## PERGUNTAS TÉCNICAS

A NORMA ABNT NBR 15812:2010, NA SEÇÃO 6.3.6 CISALHAMENTO DE ALVENARIA, TRAZ ESPECIFICAÇÃO PARA INTERFACES DE PAREDES DE AMARRAÇÃO DIRETA PARA CONSIDERAR A RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA AO CISALHAMENTO DE  $f_{vk} = 0,35\text{MPa}$ .

QUANDO O CÁLCULO É FEITO PELA FLEXO-COMPRESSÃO, É REALIZADA UMA VERIFICAÇÃO DO CISALHAMENTO. ESSA VERIFICAÇÃO CONTEMPLA A VERIFICAÇÃO DA AMARRAÇÃO DO PAINEL COM A FLANGE, OU APENAS DO CISALHAMENTO DO PAINEL? CASO SEJA APENAS DO PAINEL, COMO É FEITA A VERIFICAÇÃO DA INTERSEÇÃO DAS PAREDES, ONDE O  $f_{vk} = 0,35\text{MPa}$ . QUAIS SÃO OS PARÂMETROS PARA A VERIFICAÇÃO. E SE FOR NECESSÁRIA A ARMAÇÃO DA SEÇÃO, O CÁLCULO PARA A ARMAÇÃO SEGUIE OS MESMOS PRINCÍPIOS PRESENTES NO SEU LIVRO? A ARMAÇÃO SERIA VERTICAL?

**ARTHUR MOREIRA BOMTEMPO**

ENGENHEIRO CIVIL

*Essa prescrição é para verificação da interface entre alma e flange de paredes amarradas. Como comenta, ela leva em conta o cisalhamento de um bloco sobre o outro. Em construções comuns, usualmente a sollicitação é menor que o esforço, sem necessidade de outros detalhes. No caso de armadura, essas teriam que cortar o plano de cisalhamento, ou seja, seriam horizontais.*



► **Figura 1**  
Ruptura de parede por escorregamento da junta

**Fonte:** Ernesto Silva Fortes. CARACTERIZAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ALTA RESISTÊNCIA. 2017. Tese (Doutorado em PPG Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Processo: 12/22454-0. Orientador: Guilherme Aris Parsekian.

*Existem algumas verificações para resistência ao cisalhamento da alvenaria, dependendo do tipo de cisalhamento:*

1) *por escorregamento da junta (usualmente devido à força lateral, muitas vezes por conta da força lateral de vento), onde vale a resistência de aderência considerando o atrito ( $f_{vk} = f_{vo} + 0,5 \times \text{pré-compressão}$ , Figura 1); quando a sollicitação é maior que a resistência, a solução é grautear a alvenaria ou armar (Figura 1);*

2) *por tração diagonal, usualmente em vigas totalmente grauteadas,  $f_{vk} = 0,35 + 17,5 \rho \leq 0,7 \text{ MPa}$ , onde  $\rho = \frac{A_s}{bd}$  é a taxa geométrica de armadura;*

*Quando a sollicitação é maior que a resistência, a solução é armar a viga com estribos, lembrando que é recomendável sempre prever estribos em vigas de alvenaria estrutural com mais de uma fiada (Figura 2).*

3) *para paredes amarradas, cisalhamento na interface, em plano vertical, que pode ocorrer por:*

► *pelo carregamento vertical apenas, com compressão axial, no espalhamento das tensões verticais de uma parede a outra;*

► *pelo carregamento vertical somada ao efeito da ação de vento, com transferência do esforço vertical da*



► **Figura 2**  
Ruptura de viga de alvenaria de blocos de concreto por cisalhamento

**Fonte:** Rafael Dantas Pasquantonio. Estudo Teórico e Experimental de Vigas de Alvenaria Estrutural Sujeitas ao Cisalhamento. 2015. Dissertação (Mestrado em PPG Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Guilherme Aris Parsekian.

*alma para a aba da parede (Figura 3). Geralmente este último caso não é crítico. Não me lembro de um projeto em que o esforço não foi verificado. Os poucos casos que vi foram em ensaios, onde a amarração foi feita de forma insuficiente, a cada quatro fiadas. Ainda assim, existe proposta de aumentar o valor dessa resistência na próxima revisão de norma. Eventualmente se houver um caso onde a sollicitação é maior que a resistência, entendo que é possível mudar a concepção do edifício para alterar a distribuição dos esforços. A opção de armar essa interface não é usual.*

**GUILHERME PARSEKIAN,**  
PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL



► **Figura 3**  
Ruptura na interface entre alma e aba da parede por amarração insuficiente

**Fonte:** Guilherme Aris Parsekian. Tecnologia de Produção de Alvenaria Estrutural Protendida. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Processo: 98/15428-4. Orientador: Luiz Sérgio Franco.

## Curso básico sobre especificações de projeto em concreto reforçado com fibras

Baseado nas recomendações de projeto do fib Model Code 2010, o curso básico IBRACON-Rilem sobre especificações de projeto em concreto reforçado com fibras discutirá as propriedades físicas, os efeitos dependentes do tempo, o comportamento do CRF sob ação do fogo e seus modelos constitutivos, além dos aspectos de projeto, durabilidade e as aplicações do CRF. O curso será ministrado por três instrutores:

Marco di Prisco, professor titular da Politécnica de Milano (Itália), responsável pela elaboração do capítulo sobre CRF do fib Model Code 2010; Barzin Mobasher, professor titular da Universidade do Estado do Arizona (Estados Unidos) e autor do livro “*Mechanics of Fiber and Textile Reinforced Cement Composites*”; e Thomaz Eduardo Teixeira Buttignol, professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie, com 12 anos de experiência

nas áreas de concreto projetado, e recuperação e reforço de estruturas e contenções de taludes.

As inscrições estão com preços promocionais até 30 de outubro.

O curso será realizado em Bento Gonçalves, dentro da programação do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, nos dias 31 de outubro e 1º de novembro, valendo 12 pontos no Master PEC, programa de educação continuada do IBRACON.

## Artefatos de concreto vibroprensado

Com o objetivo de transmitir conhecimentos que permitam a melhoria de qualidade e a redução de custos na produção de artefatos de concreto vibroprensado, o curso será realizado na Fundaparte, em Bento Gonçalves, no Rio Grande do

Sul, no dia 3 de novembro, das 9h às 13h. Seu instrutor será o engenheiro civil Idário Fernandes, proprietário da Dourtorbloco Consultoria em Concreto e autor dos livros “Blocos e paver, produção e controle de qualidade” e “Telhas

de concreto – produção e controle”.

Com quatro créditos no Master PEC, programa de educação continuada do IBRACON, o curso está com inscrições promocionais até 30 de outubro. Acesse: [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br).

# consultoria e projetos estruturais



viabilização de tráfego de cargas especiais

recuperação e reforço de edificações



adequação funcional de obras de arte

projetos de obras de arte



*soluções de qualidade*

## Dimensionamento de vigas isostáticas protendidas

A ser realizado no 59º Congresso Brasileiro do Concreto, em Bento Gonçalves, no dia 2 de novembro, o curso objetiva qualificar os alunos a dimensionar uma viga isostática protendida, escolhendo o nível de protensão adequado para satisfazer os estados limites de serviço e último.

O instrutor será o engenheiro Fábio Albino de Souza, diretor do Escritório Brasileiro de Protensão, ex-professor da Unasp e Metrocamp, autor de documentos da ADAPT na área de protensão, tendo lançado neste ano o Tendon, primeiro aplicativo Android para estruturas protendidas.

O curso dará ênfase aos aspectos conceituais e aos exercícios numéricos, com a verificação dos modelos no ADAPT Floor Pro e no Tendon. Ele contará pontos no Master PEC, programa de educação continuada do IBRACON.

Inscreva-se com preços promocionais até 30 de outubro em [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br).

## Diagnóstico e reabilitação de estruturas de concreto

Foi realizado em 31 de agosto, no auditório da Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco, na Universidade de Pernambuco, o curso "Diagnóstico e reabilitação de estruturas de concreto".

Seu objetivo foi apresentar e discutir as técnicas e critérios de avaliação do estado de conservação das estruturas de concreto e as técnicas e materiais empregados para sua reabilitação.

Com carga horária de 4 horas, que

contou créditos no Programa Master PEC do IBRACON, o curso foi ministrado pelos professores Eliana Monteiro (POLI-UPE e UNICAP), Ênio Pazini (EEC/UFG) e Paulo Helene (Poli-USP e PhD Engenharia).



**SOLUÇÕES PARA PISOS**

**Microfibras SINTA™**

**Macrofibras STRUX®**



**QUALIDADE**

**TECNOLOGIA**

**ALTO DESEMPENHO**

gcpat.com  
☎ (15) 3235.1323  
🕒 (11) 97320.4137



## Cinpar 2017

O XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas (Cinpar 2017) vai acontecer de 7 a 9 de setembro, no Centro de Convenções do Cariri, em Juazeiro do Norte, Ceará. Promovido pela Universidade Regional do Cariri, Universidade Federal do Cariri, Universidade do Vale do Acaraú, Faculdade Paraíso do Ceará, Instituto Tecnoló-

gico do Cariri e Instituto dos Materiais de Construção, o Cinpar 2017 contará com palestras, minicursos e apresentação de artigos científicos sobre patologia e recuperação de estruturas.

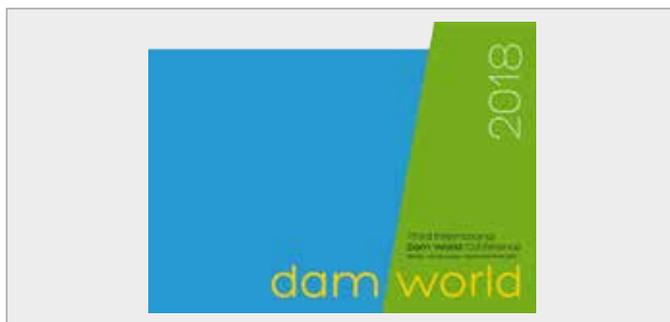
Na ocasião do lançamento no auditório do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Regional do Cariri, o diretor de cursos do IBRACON e presidente da

Alconpat Brasil, Prof. Enio Pazini Figueiredo, proferiu, para 250 participantes, palestra sobre mudanças de paradigma em diagnóstico e reabilitação de estruturas de concreto.

→ **Mais informações:**

[www.youtube.com/results?search\\_query=cinpar+2017](http://www.youtube.com/results?search_query=cinpar+2017)

## Dam World 2018 recebe resumos até novembro



A 3ª Conferência Internacional sobre Barragens (Dam World 2018), que será realizada em Foz do Iguaçu, de 18 a 22 de setembro, está recebendo resumos de apresentações técnico-científicas até 2 de novembro.

Organizada pelo IBRACON e pelo Laboratório Nacio-

nal de Engenharia Civil (LNEC), o evento vai discutir os aspectos políticos, econômicos, ambientais e técnicos relacionados com a construção e manutenção de barragens.

→ **Mais informações:**

[www.damworld2018.org](http://www.damworld2018.org)



## Revista CONCRETO & Construções

A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

**PARA ANUNCIAR**

Tel. 11- 3735-0202

[arlene@ibracon.org.br](mailto:arlene@ibracon.org.br)

**Periodicidade** Trimestral  
**Número de páginas** 100  
**Formato** 21 x 28 cm  
**Papel** Couché 115 g  
**Capa plastificada** Couché 180 g  
**Acabamento** Lombada quadrada colada  
**Tiragem** 5.000 exemplares  
**Distribuição** Circulação controlada



### Formatos e investimentos

Formato	Dimensões	R\$
2ª Capa + Página 3	42,0 x 28,0 cm	10.285,00
Página Dupla	42,0 x 28,0 cm	9.100,00
4ª Capa	21,0 x 28,0 cm	6.960,00
2ª, 3ª Capa ou Página 3	21,0 x 28,0 cm	6.800,00
1 Página	21,0 x 28,0 cm	6.250,00
2/3 de Página Vertical	14,0 x 28,0 cm	4.880,00
1/2 Página Horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.550,00
1/2 Página Vertical	10,5 x 28,0 cm	3.550,00
1/3 Página Horizontal	21,0 x 9,0 cm	2.940,00
1/3 Página Vertical	7,0 x 28,0 cm	2.940,00
1/4 Página Vertical	10,5 x 14,0 cm	2.550,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta

Consulte o perfil dos profissionais e o ramo de atuação das empresas do mailing:  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br) (link "Publicações")

# XIV Congresso Latinoamericano de Patologia da Construção

Para discutir as melhores estratégias e tecnologias para atuar no setor de construção e reabilitação de estruturas, com apresentação de estudos de casos e palestras, será realizado o XIV Congresso Latinoamericano de Patologia da Construção (Conpat 2017), de 18 a 22 de setembro, no Centro de Convenções Mariscal Lopez, em Assunção, no Paraguai.

Antes e durante o evento será oferecido o curso introdutório aos problemas patológicos das construções, com carga horária de 40 horas, que objetiva oferecer as bases para entender os diferentes problemas patológicos que podem apresentar as estruturas de concreto armado e os perfis metálicos. Com aulas on-line que começam no dia 21 de agosto, o curso será

completado com duas aulas presenciais no Conpat 2017. Os diretores de curso e de relações institucionais do IBRACON, Prof. Enio Pazini e Prof. Paulo Helene, respectivamente, participam como instrutores do curso, promovido pelo IBRACON.

→ **Mais informações:**  
[conpat2017.com/](http://conpat2017.com/)

## Seminário sobre Inspeções de Pontes

No último dia 24 de agosto, o IBRACON realizou o Seminário sobre Inspeções de Pontes na ConcreteShow 2017, evento da cadeia produtiva do concreto, que aconteceu de 23 a 25 de agosto, no Centro de Exposições São Paulo Expo.

O Seminário apresentou os principais conceitos, diretrizes, procedimentos, métodos e ensaios envolvidos na ins-

peção de pontes para o diagnóstico de seu estado de conservação e para o prognóstico de medidas necessárias para sua manutenção.

Com participação de cerca de 70 profissionais, o Seminário teve palestras do presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, de seu vice-presidente, Prof. Tulio Bittencourt, e de seu diretor de cursos, Prof. Ênio Pazini.

Na parte da tarde, o Eng. Julio Timerman deu outra palestra sobre a ABNT NBR 9452/2016 como instrumento de gestão da manutenção, no ciclo 60 ideias que mudarão a construção civil nos próximos anos.

Os diretores do IBRACON participaram também do Conrespaço, destinado às associações técnicas da cadeia produtiva do concreto.

## COMENTÁRIOS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ABNT NBR 6118:2014

A publicação traz comentários e exemplos de aplicação da nova norma brasileira para projetos de estruturas de concreto - ABNT NBR 6118:2014, objetivando esclarecer os conceitos e exigências normativas e, assim, facilitar seu uso pelos escritórios de projeto.

Fruto do trabalho do Comitê Técnico CT 301, comitê formado por especialistas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), para normalizar o Concreto Estrutural, a obra é voltada para engenheiros civis, arquitetos e tecnologistas.

### DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576244

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 484

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2015

### AQUISIÇÃO:

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

(Loja Virtual)



### Patrocínio



# Antonio Domingues de Figueiredo



JÉSSICA BRAGATTI

**Prof. Antonio de Figueiredo no laboratório da Poli-USP, junto ao pórtico de ensaio de tubos**

**A**ntonio Domingues de Figueiredo apaixonou-se por engenharia civil no curso de edificações do Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo e na visita técnica realizada à obra de construção da ferrovia Tronco Principal Sul em Lajes, Santa Catarina, durante o serviço militar, quando fez o curso de Engenharia no Centro de Preparação de Oficiais da Reserva (CPOR) de São Paulo.

Durante o curso de Engenharia Civil na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), não conseguiu decidir-se entre as áreas de estrutura e de tecnologia, tendo feito estágios no escritório de projetos De Luca Engenharia de Estruturas e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo.

Entusiasmado pela área de pesquisa, logo ao se formar em 1987 escolheu o concreto projetado como tema de investigação, estudando especificamente os parâmetros de controle e dosagem do concreto projetado com fibras de aço no doutorado.

Hoje, como professor da Poli-USP, desenvolve estudos na área de concretos especiais para obras de infraestrutura, principalmente o concreto projetado e concreto com fibras para túneis, tubos de concreto, barragens e pavimentação. Com forte atuação na área de normalização, é autor de diversos textos-base para as comissões de estudo sobre concreto projetado, fibras de aço e tubos de concreto.

**IBRACON** – POR QUE A ESCOLHA PELA ENGENHARIA CIVIL E SUA OPÇÃO POR SEGUIR A CARREIRA ACADÊMICA?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Eu fui o primeiro de uma família de imigrantes portugueses a desbravar a carreira de engenheiro civil. Na oitava série o professor Pier Giuseppe Tuzi sugeriu-me cursar edificações no Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo. Fiz o colégio técnico no período de 1978 a 1981, com bastante entusiasmo pela área de engenharia civil, principalmente pelos rudimentos do dimensionamento estrutural. Ao servir o Exército em 1981 optei pelo curso da Arma de Engenharia do Centro de Preparação dos Oficiais de Reserva (CPOR). Nesta época cheguei a fazer uma visita às obras do sistema ferroviário Tronco Principal Sul quando passava por Lajes, Santa Catarina. Atualmente, esta ferrovia liga a Estação Pinhalzinho em São Paulo à Região Metropolitana de Porto Alegre. Voltei apaixonado dessa visita técnica, com o desejo de trabalhar com infraestrutura e de cursar engenharia civil. Por coincidência, no CPOR um oficial pediu-me para dar uma aula sobre cimento Portland. De início, eu odiei a ideia. Mas, preparei-me com os conceitos obtidos no curso de edificações do Liceu. Para minha surpresa, todos gostaram, inclusive o oficial, o que me fez vislumbrar a possibilidade remota de no futuro eu dar aulas.

Em 1983 entrei no curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Durante o curso fiz estágios no escritório de engenharia estrutural De Luca e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) – neste último sob a supervisão do Prof. Paulo Helene - até me formar em 1987. Ao trabalhar no IPT e ver a possibilidade de publicar artigos, eu acabei por me entusiasmar com a área de pesquisa. Foi quando pensei que poderia trabalhar com pesquisa e inovação. Por estar dividido entre estruturas e tecnologia, acabei optando, no final, por pesquisar sobre materiais estruturais, que, apesar de se concentrar em tecnologia, mantinha uma interface com a área de estruturas. Um ano após o início da pós-graduação, tive a oportunidade de me tornar professor e por aí a carreira seguiu.

**IBRACON** – O QUE É O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF)? QUAIS SUAS ORIGENS? QUAIS AS FINALIDADES DE SE USAR FIBRAS NO CONCRETO? QUE TIPOS DE FIBRAS PODEM SER USADAS?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – A ideia de reforçar materiais com fibras é milenar. Desde a Antiguidade os povos costumavam usar crinas de cavalo, palhas e outras fibras vegetais para reforço do adobe e de outros materiais construtivos, porque essas fibras aumentavam a

vida útil e a capacidade de trabalho desses materiais. Há inclusive um registro bíblico de que o faraó proibiu que os egípcios ajudassem os judeus na coleta de palha para produzir o adobe reforçado num determinado período de seu cativeiro.

Do ponto de vista industrial, o cimento amianto foi a primeira aplicação e ganhou grande impulso no começo do século XX, pois a fibra de amianto era barata e aumentava grandemente a capacidade de trabalho dos materiais cimentícios, principalmente sua resistência à tração. Com a descoberta de que o amianto era prejudicial à saúde, começou-se a buscar soluções alternativas em termos de uso de fibras para aumento da capacidade mecânica, ou seja, da resistência das peças. Já nos anos 1960 apareceram as fibras de aço, as fibras de vidro, para serem usadas no GRC (*glass reinforced concrete*) e algumas fibras poliméricas. Inicialmente esses usos visavam aumentar a resistência mecânica, mas, logo se percebeu que a grande vantagem da fibra era tornar o concreto menos frágil. O concreto é um material maravilhoso, por possuir muitas virtudes, como a excelente resistência à água com custo relativo muito baixo. Mas o concreto tem algumas desvantagens sérias: ele trabalha a crédito, porque só é

“

LOGO SE PERCEBEU QUE A GRANDE VANTAGEM DA FIBRA ERA TORNAR O CONCRETO MENOS FRÁGIL

”



## A FIBRA ATUA MELHOR EM ESTRUTURAS NAS QUAIS OS PRINCIPAIS ESFORÇOS DE TRAÇÃO NÃO SÃO BEM LOCALIZADOS E FIXOS



possível saber se ele está atendendo às especificações de projeto um mês depois de sua aplicação, o que torna indispensável seu controle de qualidade; sua baixa resistência à tração, característica de toda a família dos materiais cerâmicos, vem com a desvantagem adicional de romper fragilmente, sem aviso prévio, devido ao seu baixo nível de deformação elástica e praticamente nula deformação plástica, o que pode representar grave risco à segurança dos usuários. Por isso, o concreto simples serviria para ser usado estruturalmente para trabalhar basicamente à compressão, como fizeram os romanos ao usá-lo em arcos. Para compensar isso, foi inventado o concreto armado, composto no qual a fragilidade do concreto e sua baixa resistência à tração são compensados pelo vergalhão. O concreto armado é a junção de dois materiais distintos com papéis combinados e sinérgicos, com resultado superior aos resultados que poderiam ser obtidos com cada material isoladamente. A fibra atuaria mais ou menos como um vergalhão disperso em toda a matriz de concreto. O vergalhão é colocado numa posição determinada em projeto para reforçar aquela parte frágil da peça. A fibra é, por sua vez, distribuída no elemento estrutural, dispensando a instalação de vergalhão, por ser simplesmente misturada na

betoneira com o concreto.

**IBRACON** – As CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO CRF E DO CONCRETO ARMADO SERIAM AS MESMAS?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO**

– Não, não é exatamente a mesma coisa!

O princípio de ambos é o mesmo, ou seja, possibilitar ao material composto ser tracionado com alguma segurança para o usuário, mas as concepções de cálculo e a tecnologia envolvida para produzi-los são distintas. A fibra atua melhor em estruturas nas quais os principais esforços de tração não são bem localizados e fixos. Como num pavimento de concreto, onde os momentos podem ser positivos ou negativos ao longo de seu uso, dependendo da posição do carregamento e da variação da temperatura



Fibras de aço

do ambiente. Como um tubo de concreto, feito para suportar cargas radiais em qualquer direção, podendo haver uma concentração de carga num ponto ou outro do tubo. Para essas aplicações, um reforço difuso da peça é interessante, de modo que pode ser apropriado o uso de fibras. As



Macrofibras poliméricas



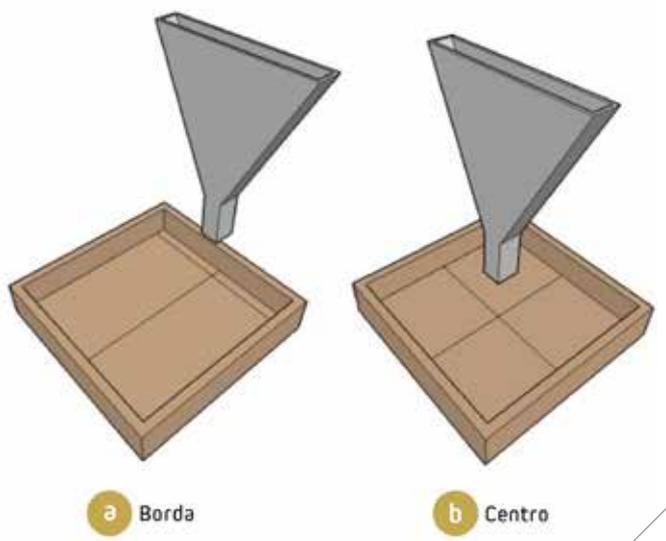


Foto e diagrama de orientação de moldagem da placa (Fonte: Ricardo Alferes Filho)

fibras metálicas, poliméricas ou de vidro podem ser usadas para esses tipos de reforço, sendo distribuídas randomicamente na peça ou estrutura – pelo menos se espera que sejam distribuídas homogeneamente no concreto, o que nem sempre acontece. A ideia envolvida aqui é que se tenha um compósito no qual em qualquer lugar onde possa aparecer uma fissura, existirá uma fibra para segurar sua abertura. Como toda a matriz é reforçada, ela é apropriada para resistir a esforços dinâmicos, pois aumenta o consumo de energia na ruptura do elemento estrutural. Nos países sujeitos a sismos, as fibras são colocadas em alguns elementos de concreto para melhorar sua capacidade de absorção de esforços. O Corpo

de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos desenvolveu sistemas construtivos com fibras para proteção de seus consulados e embaixadas em países com alto risco de ataques terroristas. Em contrapartida, numa viga de um pórtico ou de uma estrutura reticulada, como o esforço principal de tração vai estar em sua parte inferior, com um momento bem definido, reforça-se, no concreto armado, exatamente essa parte onde estará o principal esforço. É muito difícil que a fibra seja competitiva para esta condição.

**IBRACON** – QUAIS OS CUIDADOS QUE DEVEM SER TOMADOS NA DOSAGEM E NO PREPARO DO CRF?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Os cuidados são bem maiores em

relação aos do concreto armado. Este é o ponto. Por um lado, o concreto reforçado com fibras dispensa o tempo e o custo da instalação de armaduras, com a possibilidade de se acelerar a produção. Por outro lado, a demanda técnica da aplicação do CRF é maior do que a do concreto armado. O estudo de dosagem é mais sofisticado. No concreto armado, se faz a dosagem do concreto para determinado  $f_{ck}$ , assumindo-se que o aço cumpra sua função. No concreto reforçado com fibras, a dosagem considera o conjunto concreto e reforço, sendo necessário considerar o comportamento da interação matriz-fibra. Isto exige ensaios mais elaborados e complexos desde a partida. No sistema



**NO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS, A DOSAGEM CONSIDERA O CONJUNTO CONCRETO E REFORÇO, SENDO NECESSÁRIO CONSIDERAR O COMPORTAMENTO DA INTERAÇÃO MATRIZ-FIBRA**





## [O *fib MODEL CODE*] BASEIA-SE NA PREMISSE DE QUE A FIBRA NÃO ALTERA O COMPORTAMENTO BÁSICO DA MATRIZ DE CONCRETO, MAS DEVE PROPORCIONAR RESISTÊNCIAS RESIDUAIS MÍNIMAS PARA NÍVEIS DISTINTOS DE ABERTURA DE FISSURA



construtivo do concreto armado, basta posicionar a armadura e verificar se ela está na posição determinada em projeto, liberando, em seguida, a concretagem. No concreto reforçado com fibras, será preciso controles para evitar segregações e concentrações de fibras, que poderão prejudicar a condição de reforço. Numa pesquisa conseguimos demonstrar que na execução de uma placa de CRF, direcionando o lançamento do concreto pelo centro ou pela borda, muda-se a capacidade de reforço do conjunto. Sendo assim, o controle de execução de uma estrutura com fibras deve ser mais rigoroso para evitar orientações que prejudiquem a capacidade de reforço, o que pode ser gerado pelo fluxo do concreto.

**IBRACON** – BUSCA-SE SEMPRE QUE A DISTRIBUIÇÃO DA FIBRA NA MATRIZ DE CONCRETO SEJA RANDÔMICA?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Nem sempre! Normalmente, na maior parte das aplicações a distribuição randômica funciona bem, mas, para algumas aplicações, busca-se uma certa orientação das fibras, como para aproveitar o efeito de borda. Na execução de tubos pré-moldados com concreto reforçado com fibras, usa-se uma fibra longa para uma parede pouco espessa, para potencializar o alinhamento das fibras com a parede do tubo,

criando um efeito parede, para, com isso, maximizar o comportamento estrutural do tubo, ampliando sua capacidade de reforço.

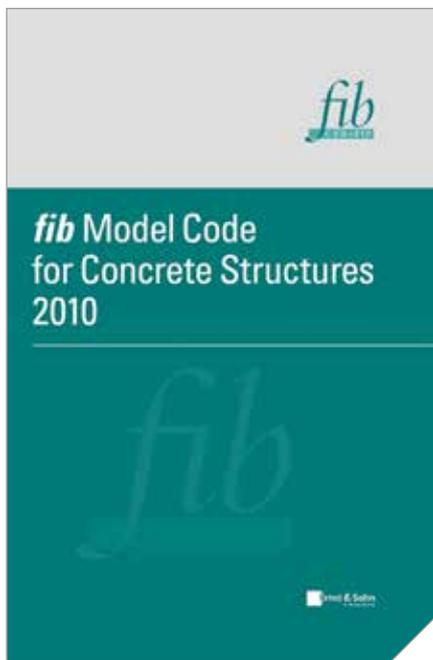
**IBRACON** – EM TERMOS DE PROJETO ESTRUTURAL, QUAIS SÃO AS DIRETRIZES GERAIS E OS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO MECÂNICO DO CRF PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU TOTAL DAS ARMADURAS CONVENCIONAIS?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – O projeto de uma estrutura de concreto com a utilização de fibras tem como principal diretriz, nos dias atuais, o Código Modelo *fib* (Federação Internacional do Betão) publicado em 2010. Foi uma grande evolução porque permitiu classificar distintos comportamentos do concreto com fibras para finalidades estruturais. Esse código foi utilizado como referência principal para a elaboração da Prática Recomendada de projeto de estruturas com CRF elaborada no Comitê Técnico CT303 do IBRACON/ABECE. De maneira bem simplificada, pode-se afirmar que ele se baseia na premissa de que a fibra não altera o comportamento básico da matriz de concreto, ou seja, as resistências à compressão e à tração do concreto reforçado com fibras permanecem as mesmas do concreto armado convencional em termos de projeto. No entanto, espera-se uma alteração muito significativa no comportamento pós-fissuração. Ou seja, a fibra deve

proporcionar resistências residuais mínimas para níveis distintos de abertura de fissura. Associam-se as baixas aberturas de fissura (0,5 mm) com o estado limite de serviço (ELS) das estruturas e os elevados níveis de abertura (2,5 mm) com o estado limite último (ELU). Esses valores de resistência residual são determinados por um ensaio de referência baseado na flexão de prismas com entalhe, que segue a normalização europeia pelo método EN14651 de 2007. O grande salto do Código Modelo *fib* foi possibilitar a conversão desses resultados em equações constitutivas para o dimensionamento das estruturas. Com isso, se consegue estabelecer os requisitos mínimos de comportamento do material para cada finalidade. Dessa maneira, se há interesse em substituir a armadura convencional em uma estrutura isostática, por exemplo, exige-se que o CRF apresente um comportamento de *strain-hardening*, ou endurecimento. Ou seja, ele deve apresentar uma resistência residual no estado limite de serviço e no estado limite último superior àquele apresentado pela matriz. Em outras palavras, uma vez fissurado, o CRF deve apresentar uma capacidade resistente superior à resistência à tração do concreto. Por outro lado, quando se deseja substituir parcialmente o reforço convencional ou mesmo quando há um elevado grau de redundância estrutural com elevado nível de



capacidade de redistribuição de esforços, o projetista pode optar por um CRF com comportamento de *strain-softening*, ou amolecimento.



Capa da publicação fib Model Code 2010



Capa da Prática Recomendada IBRACON lançada no ano passado

Neste caso, o CRF apresenta um nível de resistência residual inferior à da matriz e, mesmo assim, pode ser utilizado de maneira eficaz do ponto de vista estrutural. No entanto, deve-se sempre ressaltar que há a exigência de uma resistência residual mínima que, segundo a prática recomendada do CT303, deve ser de 40% e 20% da resistência característica à tração da matriz para 0,5 mm e 2,5 mm de abertura de fissura, respectivamente. A prática recomendada do CT303 propõe também que, quando da adoção de análise plástica ou análise não linear da estrutura que apresente grande capacidade de redistribuição de esforços, considerando a interface com o meio elástico (como os pavimentos, por exemplo), as resistências residuais médias do CRF a 0,5 mm e 2,5 mm devem ser de, no mínimo, 40% e 30% da resistência média à tração da matriz do CRF, respectivamente. Vale ressaltar que houve a preocupação de trabalhar com critérios distintos em termos de valores característicos e médios em função do grau de responsabilidade estrutural. Isto porque o próprio fib Model Code alerta que as concepções estruturais mudam em função do grau de responsabilidade estrutural. Nesse sentido, os pesquisadores líderes do desenvolvimento do Código Modelo fib (Marco di Prisco, Lucie Vandewalle e Giovanni Plizzari) já

apontaram que a condição mais favorável de emprego do CRF é justamente as estruturas com elevada capacidade de redistribuição de esforços, como os pavimentos e túneis. No entanto, há um alerta no próprio Código Modelo fib de que o mesmo não se aplica a pavimentos e túneis que merecem tratamento específico. De certa maneira, o CT303 procurou contribuir nessa direção, fornecendo diretrizes básicas para outras aplicações que não só as estruturas reticuladas.

**IBRACON** – COMO OS PARÂMETROS CONTROLADOS NOS MÉTODOS DE ENSAIOS MAIS USADOS NO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CRF RELACIONAM-SE COM DESEMPENHO DA ESTRUTURA EM CRF?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Os parâmetros principais de controle do CRF estão relacionados com a resistência residual pós-fissuração. Tradicionalmente e ainda hoje, controla-se a tenacidade, que é o nível de energia absorvido pelo material em ensaios padrão de prismas ou placas. No Brasil, o ensaio mais utilizado ainda é a recomendação da *Japan Society of Civil Engineers JSCE-SF4*, baseada na tenacidade. Este é um ensaio de concepção antiga e que já foi abandonado no Japão, mas seguimos utilizando aqui no Brasil. Ele não diferencia em nada a resistência residual no estado limite de serviço e no



**NO BRASIL, O ENSAIO MAIS UTILIZADO É O DA JSCE-SF4, BASEADO NA TENACIDADE, QUE NÃO DIFERENCIA A RESISTÊNCIA RESIDUAL NO ELS E NO ELU E, PORTANTO, NÃO PERMITE CORRELAÇÃO COM O DESEMPENHO DE UMA ESTRUTURA DE CRF**



“

## [NO BRASIL] CHEGA-SE A EXECUTAR OBRAS COM CENTENAS OU MILHARES DE METROS CÚBICOS DE CRF SEM QUALQUER ENSAIO REALIZADO PARA O CONTROLE. ISTO NÃO PODE SER CLASSIFICADO COMO OBRA DE ENGENHARIA

”

estado limite último e, portanto, não permite correlação fácil com o desempenho de uma estrutura de CRF. O professor Ravindra Gettu, do Instituto Indiano de Tecnologia de Madras na Índia, país que sofre dos mesmos problemas de países em desenvolvimento como o nosso, propôs uma metodologia correlacionando este ensaio com o grau de rotação e plastificação imposto ao pavimento na premissa de projeto. Isto porque é difícil implementar outros ensaios nos laboratórios de controle, com é o caso do EN14651, base do Código Modelo fib, pois exigem equipamentos mais sofisticados e caros, e pessoal altamente especializado para operar, aumentando custos. Infelizmente, no Brasil, muitos veem os procedimentos de controle como custo simplesmente e isto gera uma série de problemas. Não é raro que profissionais me procurem para “desvendar” algum problema de elevada fissuração em um pavimento, cuja informação de controle é nula. Ou seja, chega-se a executar obras com centenas ou milhares de metros cúbicos de CRF sem qualquer ensaio realizado para o controle. Isto não pode ser classificado como obra de engenharia. A atuação da engenharia pressupõe controle tecnológico do que se está produzindo. Outro ensaio muito utilizado no caso específico do concreto projetado

reforçado com fibras é o ensaio de punção de placas. É também um ensaio tradicional, não tão antigo como o JSCE-SF4, mas, mesmo assim, do século passado. Eu mesmo utilizei bastante este ensaio na minha tese de doutorado, mas isso foi no ano de 1997. Ele é baseado nas recomendações da EFNARC (*Experts for Specialized Construction and Concrete Systems*) que estabelecem três níveis de absorção de energia em ensaios de punção de placas e quatro níveis de resistência residual. Naturalmente, quanto maior o nível de absorção de energia e de resistência residual, maior será a condição de ductilização da estrutura e sua segurança. Mas é difícil dizer qual é o nível de energia associado a um certo nível de solicitação. Portanto, há a tendência de especificar níveis elevados de absorção de energia (1000 Joules no ensaio de punção de placa quadrada, por exemplo). Assim, o projetista se sente mais seguro. O problema é que o ensaio de punção de placas não é muito prático para o controle corriqueiro das obras

e muitas delas omitem esse controle. Na verdade, o mesmo poderia ser substituído, caso estudos preliminares mostrassem correlações com os ensaios de flexão de prismas, ou mesmo com os novos ensaios, como o de duplo punção, também conhecido como ensaio Barcelona. Mas é, infelizmente, muito frequente iniciar obras de infraestrutura sem estudos prévios, o que é uma lástima total do ponto de vista tecnológico. Esses ensaios de placas e prismas, baseados em absorção de energia, são de mais difícil correlação com o comportamento estrutural, dado que não diferenciam resistências residuais para baixos e elevados níveis de fissuração, como as atuais concepções de projeto preveem, tal como estabelecido no Código Modelo fib. Portanto, deve-se fazer um esforço de mudar a cultura de



Ensaio JSCE-SF4





Ensaio de punção de placas (EFNARC, 1996)

controle atualmente implantada no país. O CT303 está trabalhando num texto base para o método de ensaio Barcelona, no qual colocamos muita confiança a partir dos nossos resultados de pesquisa. Ele tem condições de avaliar as resistências



Ensaio de duplo puncionamento realizado em testemunho extraído

ensaios do concreto projetado são realizados em placas, o que é um problema porque a incorporação de fibras e, conseqüentemente, a capacidade de reforço da estrutura depende do teor de fibra efetivamente incorporado na mesma. O problema é que o teor de fibras incorporado na estrutura depende de uma série de fatores, entre os quais se inclui a direção de projeção, mas as placas são produzidas, invariavelmente, com uma condição favorável de incorporação de fibras. Portanto, pode haver um distanciamento entre o que se mede na placa e o que efetivamente ocorre na estrutura. Assim, deve-se realizar ainda um grande esforço para diminuir essas limitações tecnológicas. Por isso, que nós, na Escola Politécnica, estamos investindo muito em pesquisas abordando o ensaio

residuais que podem ser associadas ao ELS e ELU; além disso, pode ser executado em testemunhos extraídos da estrutura para avaliar sua condição de reforço de maneira precisa. Atualmente, todos os

Barcelona, para que ele seja um elemento mais simples, barato e confiável de controle. No entanto, se não forem realizados estudos prévios de dosagem, muitos dos problemas persistirão.

**IBRACON – O CRF É APLICADO DIFERENTEMENTE NO BRASIL E NOS PAÍSES TECNOLOGICAMENTE AVANÇADOS?**

**QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS NA APLICAÇÃO?**

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – No exterior já se constroem edifícios em concreto só com fibras, com a execução de lajes sem vergalhões. O engenheiro Xavier Destrée é um pesquisador focado na construção de edifícios com concreto reforçado com fibras, cuja maior vantagem construtiva é a eliminação do volume intenso de mão de obra. Imagine não precisar perder tempo com a instalação de armaduras, mas receber um concreto que já vem com uma ‘armadura embutida’. Isto agiliza o processo produtivo. Obviamente, na Europa o custo da mão de obra é relativamente alto para gerar esse tipo de pesquisa. Já, no Brasil, eliminar mão de obra para colocar fibra no concreto não é interessante porque aqui o custo da fibra é relativamente alto. No Brasil o uso da fibra é economicamente viável quando seu consumo no concreto é baixo, como nas estruturas hiperestáticas com alto grau de redundância (caso dos pavimentos de concreto) e como reforço secundário



**O ENSAIO BARCELONA TEM CONDIÇÕES DE AVALIAR AS RESISTÊNCIAS RESIDUAIS QUE PODEM SER ASSOCIADAS AO ELS E ELU E PODE SER EXECUTADO EM TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS PARA AVALIAR A CONDIÇÃO DE REFORÇO DA ESTRUTURA**



“

## COM A APLICAÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS ESSA ENERGIA EXPLOSIVA DA ROCHA FOI IMEDIATAMENTE CONTIDA, EVITANDO-SE A OCORRÊNCIA DE ACIDENTES NAS FRENTES DE ESCAVAÇÃO

”

(reforço com fibras em estruturas de concreto armado). Este é um detalhe importante: a fibra não é usada apenas como substituto do vergalhão, mas também como um reforço complementar ao vergalhão na estrutura de concreto. Uma de nossas linhas de pesquisa na universidade é o reforço híbrido (vergalhão mais fibras) de tubos e de aduelas de túneis. Em muitos casos esse sistema híbrido será o que apresentará os melhores resultados, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista de durabilidade.

**IBRACON** – QUAIS OS CASOS DE APLICAÇÃO EXCLUSIVA DE FIBRAS PARA REFORÇO NO BRASIL?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – No caso dos pavimentos, há muitas obras executadas apenas com fibras desde a década de 90. No caso dos túneis, o processo foi um pouco mais lento. Começou com um estudo que fizemos quando da construção do túnel Ayrton Senna. Constatamos que o tempo de ciclo de avanço do túnel seria reduzido em dois quintos com o uso exclusivo do concreto reforçado com fibras, sem a aplicação da tela metálica, o que despertou o interesse da CBPO (Companhia Brasileira de Projetos e Obras) na época. Com este sistema, bastava escavar o túnel e jatear o concreto reforçado com fibra por meio de um

braço robótico, sem a necessidade de disponibilizar funcionários para a instalação de telas metálicas nas frentes de escavação, evitando-se adicionalmente as condições propícias aos maiores riscos de acidentes. Como era um estudo protótipo da aplicação do CRF, o reforço convencional com telas metálicas foi mantido, conforme especificava o projeto do túnel Ayrton Senna. Assim, em algumas seções, além da tela metálica, foi usado o concreto reforçado com fibras. Com isso, essas seções do túnel devem ser uma das mais reforçadas do mundo! Já, na hidrelétrica de Itá, o revestimento de seus túneis de adução e desvio e dos taludes foi feito apenas com o concreto reforçado com fibras, sem uso de telas metálicas. Na

localidade em que foi instalada essa hidrelétrica havia um maciço rochoso cuja fissuração acarretava lascamentos, representando sério risco de acidentes aos operários. Com a aplicação do concreto reforçado com fibras essa energia explosiva da rocha foi imediatamente contida, evitando-se a ocorrência de acidentes nas frentes de escavação. A partir dessa primeira aplicação, em 1999, a técnica se disseminou para o revestimento de muitos outros túneis, principalmente os túneis de barragens e os túneis rodoviários. Para os túneis de metrô, depois de algum tempo começaram a ser usadas aduelas com concreto reforçado com fibras, como foi o caso da Linha 4 do Metrô de São Paulo, obra exemplar



Foto da frente de escavação do túnel Ayrton Senna



em termos de sistemas de controle tecnológico, com estudos prévios de homologação, montagem de laboratórios nos canteiros e com muitos ensaios realizados.

**IBRACON** – LEVANDO EM CONTA AS DIFERENÇAS DE APLICAÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS NO BRASIL E NA EUROPA, A PRECONIZAÇÃO NORMATIVA DA FIB PARA SEU CONTROLE TECNOLÓGICO PODE SER APLICADA NO BRASIL?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Pode, mas é necessária uma certa ‘tropicalização’ dos ensaios. Na última edição da Revista, o Roberto Bauer chamou muito bem a atenção para um problema com o sistema de controle tecnológico do concreto no Brasil, ao afirmar que nem todos os laboratórios são credenciados no Inmetro. Se isto é preocupante para o concreto convencional destinado às estruturas de concreto armado, cujo parâmetro de controle é a resistência à compressão, imagine para o concreto reforçado com fibras, cujo controle tecnológico é bem mais sofisticado. Por isso, no Brasil precisamos buscar ensaios de controle mais simples, que possam ser disseminados para todas as regiões, para que os engenheiros possam tomar decisões a partir dos resultados desses ensaios.

**IBRACON** – COMPARATIVAMENTE COM O CONCRETO ARMADO CORRENTE, QUAIS AS EXPECTATIVAS DE DURABILIDADE DOS

CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS? MESMO NO CASO DAS FIBRAS DE VIDRO AR (ÁLCALI RESISTENTES) NÃO HÁ PERIGO DE ATAQUES ÀS FIBRAS AO LONGO DO TEMPO? E PARA AS FIBRAS DE AÇO, NÃO HÁ RISCO DE MICROCORROSÕES LOCALIZADAS?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Os problemas de durabilidade são distintos de um tipo de fibra para outro. Pode-se usar fibras de aço ou de vidro para uma mesma condição de reforço, desde que os estudos de dosagem e controle dessas fibras sejam específicos.

Em termos de durabilidade, as pesquisas internacionais realizadas mostram que o concreto com fibras de aço dura mais do que o concreto com vergalhão. Isto acontece por vários motivos. Por serem menores do que o vergalhão, a diferença de potencial nas fibras é menor, de modo que o processo eletroquímico de despassivação é menos intenso no concreto reforçado com fibras relativamente ao concreto armado. Por sua vez, o teor de cloretos necessário para despassivar o concreto reforçado com fibras para que ocorra sua corrosão deve ser muito maior do que o do concreto armado. Ainda que a fibra sofra corrosão, ela não se expandirá suficientemente para romper o revestimento – uma fibra que se oxida na superfície do CRF não afetará a função estrutural trazida pelas fibras não oxidadas mais internas. Por outro lado, quando o vergalhão

oxida, ele rompe o revestimento e perde parcela significativa de sua função estrutural. Estudos de Carlos Gil Berrocal sobre a possibilidade de intensificação da corrosão do vergalhão por conta do uso da fibra de aço, assumindo-se a hipótese de diminuição da resistividade elétrica volumétrica do concreto reforçado com fibras, não corroboraram essa hipótese. Ou seja, mesmo nessa condição crítica, o CRF é mais durável. Não existem evidências para se esperar que uma estrutura com concreto reforçado com fibras de aço dure menos. No entanto, nenhum estudo conseguiu ainda quantificar essa maior durabilidade, ou seja, não temos ainda um modelo de previsão adequado da vida útil do CRF.

Como a fibra se distribui por todo o material, ela controla o padrão de fissuração, dificultando a entrada de agentes agressivos. Os estudos que fizemos com tubos e aduelas com concreto reforçado com fibras mostram que seu limite elástico é superior. Assim, a faixa de trabalho da estrutura com CRF antes da fissuração é mais larga do que a faixa de trabalho da estrutura com vergalhão. Sendo assim, a capacidade de resistir à entrada de agentes agressivos é maior no concreto reforçado com fibras. Isto, de certa forma, vale também para as outras fibras – poliméricas e de vidro. Obviamente que a fibra de vidro tem



**EM TERMOS DE DURABILIDADE, AS PESQUISAS INTERNACIONAIS REALIZADAS MOSTRAM QUE O CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO DURA MAIS DO QUE O CONCRETO COM VERGALHÃO**



“

## MUITA ENERGIA FOI POSTA NA EQUIVALÊNCIA MECÂNICA ENTRE O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS E O CONCRETO ARMADO NOS ÚLTIMOS TEMPOS. A MAIOR DEMANDA ATUAL DA PESQUISA É A DURABILIDADE DO CONCRETO COM FIBRAS

”

um potencial de deterioração dentro do concreto, minimizado com o uso de fibras AR (álcalis resistentes). Eu confesso que desconheço um modelo de previsão da vida útil dessas fibras de vidro no concreto. Muita energia foi posta na equivalência mecânica entre o concreto reforçado com fibras e o concreto armado nos últimos tempos. A maior demanda atual da pesquisa é a durabilidade do concreto com fibras. Os modelos de previsão de vida útil das fibras no concreto precisarão de mais investimentos de pesquisa para ganharem maior confiança dos projetistas e construtores.

**IBRACON – OS ESTUDOS DE MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DO CRF EVOLUÍRAM O SUFICIENTE PARA GERAR ATUALMENTE MODELOS CONSENSUAIS DE DIMENSIONAMENTO?**

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Sim. Os modelos de dimensionamento e os modelos numéricos de previsão de comportamento do concreto reforçado com fibras evoluíram drasticamente. Hoje é possível dimensionar uma estrutura com concreto reforçado com fibras com bom nível de segurança. Mais do que isto, já temos modelos numéricos, desenvolvidos inclusive na Escola Politécnica da USP, que preveem comportamento com alto nível de precisão, capazes de possibilitar a otimização de sistemas

de reforço. Claro que não são modelos fáceis de serem usados, mas o seu emprego no futuro deve ser cada vez maior, principalmente para obras especiais e obras de infraestrutura, para as quais o concreto reforçado com fibras está vocacionado.

**IBRACON – QUAIS SÃO OS DESAFIOS IMPOSTOS PARA A DISSEMINAÇÃO E BOM USO DO CRF NO PAÍS?**

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Um avanço é o trabalho do Comitê Técnico IBRACON/ABECE 303, que pretende publicar uma série de práticas recomendadas para projeto e controle do concreto reforçado com fibras, alinhadas com o fib Model Code. Esses documentos devem facilitar o acesso do mercado e do meio técnico brasileiro como um todo aos parâmetros de projeto, de preparo e de controle do concreto reforçado com fibras. Logo após o lançamento dessas práticas recomendadas no Congresso Brasileiro do Concreto deste ano, deve ser criada uma comissão de estudos na ABNT (Associação

Brasileira de Normas Técnicas) para se dedicar aos temas tratados nessas práticas. Sou favorável a começar as discussões pelos projetos de normas de especificação das fibras. Como já temos a norma brasileira para especificação de fibras de aço e a norma brasileira dos tubos de concreto reforçado com fibras, publicadas em 2007 e atualmente em revisão, devemos dar continuidade a esse trabalho, com a elaboração de projetos de norma de especificação de fibra de vidro e de macrofibras de polipropileno, para não correremos o risco de se usar fibras PET como macrofibra polimérica, que, além de seu baixo desempenho inicial, o perde muito rapidamente, por sua condição de baixa durabilidade. Temos que nos precaver de aventureiros lançando fibras no mercado, sem efeito prático nenhum.



Fibras de vidro



**IBRACON** – DE QUE MANEIRA VOCÊ ENTENDE QUE A INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS E PAINÉIS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO PODE SE BENEFICIAR DO CRF?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Os pré-moldados devem ser um dos principais campos de aplicação do concreto reforçado com fibras. A fibra já é uma realidade para as obras enterradas pré-moldadas. Existem trabalhos acadêmicos mostrando sua viabilidade, tanto do ponto de vista mecânico quanto de durabilidade, pois a fibra amplia a capacidade de resistência às fissuras das peças. As fibras podem ajudar também na absorção de energia no caso das estacas cravadas. Estamos desenvolvendo modelos de previsão. E estamos estudando o uso de fibras em vigas fletidas, onde parte das armaduras convencional pode ser substituída por fibras. Nossa preocupação não é a eliminação do vergalhão, mas ter um sistema de reforço otimizado, ou seja, querer o melhor dos dois mundos: o melhor do vergalhão, que é o estado limite último, e o melhor da fibra, que é o controle de fissuração e o estado limite de serviço.

**IBRACON** – QUAIS SUAS MOTIVAÇÕES AO ESTUDAR O CRF?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Minha principal motivação é encontrar boas soluções de engenharia. O estudo da fibra muda os padrões de raciocínio, pois requer pensar

o compósito, para se formular a dosagem e o controle do material. Como pesquisador eu me interesso pelo desafio de desenvolvimento tecnológico. A fibra me traz desafios constantes, desde o controle até a verificação do elemento estrutural. Estou orientando um trabalho de mestrado que busca resolver o problema de se extrair um testemunho cilíndrico de CRF para produzir um corpo de prova a ser submetido ao ensaio Barcelona, estudando a viabilidade desse ensaio para validar o controle rigoroso das estruturas. Este tipo de pesquisa é fundamental para ser aplicado em obras de infraestrutura, em relação às quais o Brasil é muito carente. Então, ao lado do desafio, há a responsabilidade social da boa aplicação nas obras de infraestrutura, principalmente obras de saneamento básico e de transporte.

**IBRACON** – QUAL É O FUTURO DA APLICAÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS? PARA AONDE APONTAM AS PESQUISAS CIENTÍFICAS EM CURSO E O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Basicamente para as obras de infraestrutura numa perspectiva dos pesquisadores brasileiros. Estamos investindo muito em modelagem do comportamento do concreto para essas obras, porque

valem o investimento financeiro da pesquisa para seu planejamento e otimização. São volumes grandes de concreto. Se tenho, por exemplo, uma otimização de uma aduela de um túnel de 10 km, tenho um ganho de escala. Por isso, a demanda de pesquisa nesta área é grande. Não consigo imaginar no futuro uma obra de barragem no Brasil sem uso de fibras.

**IBRACON** – O QUE AS ENTIDADES TÉCNICAS TÊM FEITO PARA INCENTIVAR A PESQUISA E APLICAÇÃO DO CRF?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Várias entidades têm colaborado com o assunto ao mostrar interesse e incentivar as discussões, como o IBRACON e a ABCEC, que sediam o Comitê Técnico 303 sobre concreto reforçado com fibras. Sem falar em todos os recursos da FAPESP, parceira importante no apoio de pesquisas sem um interesse imediato de aplicação comercial.

**IBRACON** – QUAIS SÃO SEUS HOBBIES?

**ANTONIO D. DE FIGUEIREDO** – Sempre gostei muito de ouvir música e praticar esportes. Infelizmente sou um péssimo músico. Gosto de correr e principalmente de pedalar. Já participei de provas de *mountain bike*. Já corri a São Silvestre. Faço a volta da USP. Gosto também de ler o que me cai na mão, desde neurociência, passando por ética, até história. 🐾



**JÁ TEMOS MODELOS NUMÉRICOS QUE PREVEEM COMPORTAMENTO COM ALTO NÍVEL DE PRECISÃO, CAPAZES DE POSSIBILITAR A OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE REFORÇO, CUJO EMPREGO NO FUTURO DEVE SER CADA VEZ MAIOR**



# Aspectos gerais sobre o uso do concreto reforçado com fibras no Brasil: produção, projeto, tecnologia, normalização

---

MARCO ANTONIO CARNIO – PROFESSOR DOUTOR

---

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL – PUC CAMPINAS  
EVOLUÇÃO ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

## I. INTRODUÇÃO

Quando se iniciaram os estudos visando o desenvolvimento da aplicação do concreto reforçado com fibras descontínuas (CRF), tinha-se a expectativa de que elas poderiam aumentar a resistência mecânica do material. No entanto, para se incrementar resistência de maneira significativa, constatou-se a necessidade de incorporar altos teores de fibras (> 1% em volume) nas matrizes de concreto, ocasionando perda de fluidez, característica essa muito importante para a moldagem da maioria dos elementos de construção.

Posteriormente, observou-se que era possível, com menores teores de fibras, melhorar outras propriedades, que poderiam ser úteis para sua aplicação como material de construção, mesmo não incrementando resistência mecânica de maneira significativa em relação à matriz de concreto sem reforço com fibras. Observou-se que, mesmo com teores menores do que 1% em volume, há um aumento significativo da tenacidade, outra propriedade mecânica muito importante.

Na prática, a adição de fibras a materiais frágeis remonta à época dos romanos e dos egípcios, que utilizavam fibras naturais para reforço de pastas de argila. Contudo, só a partir da metade do século passado é que o CRF começou a ser utilizado em aplicações com importância na indústria da construção. A capacidade de absorção de energia, a ductilidade, o controle de fissuração e a resistência às ações dinâmicas, de fadiga e de impacto são as propriedades mais beneficiadas pelos mecanismos de reforço das fibras.

As matrizes de concreto sem o reforço das fibras apresentam comportamento frágil, com baixa capacidade resistente das seções e baixas deformações na ruptura quando submetidas a esforços de tração, praticamente não apresentando deformações plásticas. A maioria dos concretos empregados atualmente que incorporam fibras utiliza baixos teores, o que resulta num aumento pouco significativo de suas resistências à compressão e à tração. Dessa forma, a primeira fissura ocorre na matriz reforçada com valores próximos de ten-

são e de deformação do que quando não reforçada.

O reforço com fibras descontínuas e aleatoriamente distribuídas na matriz tem como expectativa o controle da abertura e da propagação de fissuras no concreto, alterando o seu comportamento mecânico após a ruptura da matriz, melhorando consideravelmente a capacidade de absorção de energia do concreto e diminuindo o nível de fragilidade do material.

No passado, a expectativa que se tinha com a utilização das fibras como reforço do material de construção é que elas trabalhassem para manter a integridade das matrizes de concreto. Havia ainda muita expectativa de que o reforço com fibras contribuísse também para a melhoria da resistência dessas matrizes, o que pode ser possível para situações específicas. Porém, o grande avanço que se observou nos concretos reforçados com fibras foi a capacidade do material absorver energia até sua fratura, aumentando suas possibilidades de aproveitamento como material estrutural. Em geral, os materiais de construção objeto de



estudo para serem reforçados são: o gesso, o concreto, a argamassa de cimento Portland e os solos coesivos e granulares. Vários tipos de fibras têm sido utilizadas, cada uma com suas características, diferindo umas das outras pelo seu material, geometria, processo de fabricação, composição química e física, características mecânicas e resistência a meios agressivos. As fibras podem ser divididas segundo seu material de origem: metais, cerâmicos e poliméricos sintéticos ou naturais.

As fibras metálicas mais utilizadas são as de aço carbono. As fibras de aço utilizadas em elementos de construção contemplam uma grande variedade de geometrias, bem como existem vários processos de manufatura. Quanto à geometria, um parâmetro importante é o fator forma (relação entre o comprimento da fibra e seu diâmetro ou diâmetro equivalente para seções transversais não circulares), que em geral fica na faixa de 30 a 100.

As fibras cerâmicas, também conhecidas como fibras minerais, mais utilizadas são de vidro, carbono e asbesto. As fibras de vidro são geralmente manufaturadas na forma de “cachos”, ou seja, fios compostos de centenas de filamentos individuais. O diâmetro dos filamentos individuais depende das propriedades do vidro, do tamanho do furo por onde são extrusados e da velocidade de extrusão. As fibras produzidas a partir do vidro tipo E (*Electrical*) são atacadas pelos álcalis presentes nos materiais baseados em cimento portland. Fibras de vidro tipo AR (*Álcali Resistent*) apresentam resistência ao meio alcalino e têm sido utilizadas com sucesso nas matrizes de concreto à base de cimento Portland. As fibras de carbono são baseadas na resistência das ligações carbono-carbono e na leveza do áto-

mo de carbono. As fibras de asbesto, também conhecidas como fibras de amianto, são de uso mais tradicional que os outros tipos de fibras, devido à sua ocorrência natural. Entretanto, as estatísticas têm mostrado o rápido decréscimo do consumo de placas de cimento amianto devido, principalmente, aos danos à saúde provocados por esse tipo de fibra.

As fibras poliméricas podem ser divididas em sintéticas e naturais. As poliméricas sintéticas, ou simplesmente sintéticas, mais utilizadas são as fibras de polipropileno, polietileno e poliamida. As fibras de polipropileno são constituídas de um material polimérico denominado termoplástico. Os polímeros termoplásticos consistem em uma série de longas cadeias separadas de moléculas polimerizadas, podem deslizar umas sobre as outras e apresentam alta resistência aos álcalis. As fibras de polietileno, de peso molecular normal, têm um módulo de elasticidade baixo, são fracamente aderidas à matriz de concreto e são altamente resistentes aos álcalis. As fibras de poliamida mais comuns estão divididas em dois tipos segundo a origem do polímero, que pode ser a poliamida 6 ou a poliamida 6.6, sendo também conhecidas como náilon.

As fibras poliméricas naturais, também conhecidas como fibras vegetais, são usadas pelo homem há milênios. Pode-se citar o emprego de fibras vegetais como reforço de gesso que vem desde o Renascimento e a utilização de mantas de raízes para reforço de maciços de terra (zigurates). As fibras vegetais são utilizadas na formação de diversos compostos, mas também podem ser degradadas pela ação de fungos e microorganismos. A produção de materiais de cimento Portland

comum reforçados com fibras vegetais não teve sucesso devido à rápida degradação dos compostos, ocasionada pela elevada alcalinidade da água presente nos poros da matriz do cimento (Carnio, 2009).

## 2. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS NO BRASIL

O uso de fibras em matriz cimentícia no Brasil já é conhecido há muito tempo no setor de construção por meio das telhas de fibrocimento. Inicialmente as fibras utilizadas eram de amianto, que caiu em desuso em virtude de problemas relacionados à saúde de trabalhadores pelo seu manuseio. No entanto, o compósito é uma argamassa reforçada com fibras e não exatamente um concreto.

No campo de pisos industriais, mercado esse de grande aplicação do CRF, a obra do Centro de Distribuição das Casas Bahia em Jundiá foi um marco importante em 1995 pelo seu tamanho. Foram feitos 135.000 m<sup>2</sup> de piso de CRFA. Além dessa referência, foram executados na época pisos de CRF no Aeroporto de Viracopos, Aeroporto do Galeão, Renault, Volkswagen e Peugeot. Desde essa época até os dias atuais, a aplicação em pisos industriais é o grande mercado do CRF.

O CRF avançou de forma significativa como solução estrutural em pisos industriais pelo fato de se ter reforço estrutural em toda seção transversal do piso, contrapondo à solução com telas soldada que tem reforço somente na posição da tela na seção transversal, posição essa que apresenta dificuldade de se manter durante o processo de execução do piso. Também teve como ponto favorável entre os executores de piso a agilidade de execução, a facilidade de lançamento, adensamento e



► **Figura 1**  
Piso industrial executado em CRF

nivelamento dos pisos, permitindo mais liberdade de acesso de caminhões betoneiras no transporte do concreto e minimizando a necessidade de bombeamento em muitos casos.

Há também uma forte atuação das fibras nos concretos projetados em túneis e proteção de encostas, como uma alternativa às soluções em concreto armado. No campo dos túneis construídos com base na metodologia do NATM (*New Austrian Tunneling Method*), a utilização do concreto projetado é fundamental para o processo. Nesse sentido, o Concreto Projetado Reforçado com Fibras (CPRF) nos revestimentos apresenta vantagens em relação à solução em concreto armado em função de promover uma maior agilidade no processo executivo, bem como apresenta a

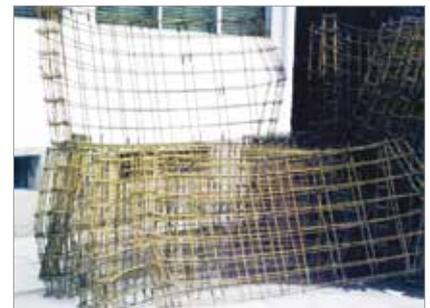
possibilidade de redução de espessura do revestimento e, conseqüentemente, economia por metro quadrado aplicado.

Ainda na área de túneis há um grande campo de aplicação envolvendo os elementos segmentados pré-moldados para utilização como revestimento, quando no sistema de escavação é utilizada uma máquina de perfuração de túnel (TBM), também conhecida como “tatução”. O equipamento de escavação contempla a escavação do túnel associado à colocação dos elementos segmentados como revestimento. Em geral esses elementos apresentam taxas altas de armadura de aço, bem como têm o formato curvo em função da seção circular dos túneis, o que leva a uma armação complexa para ser montada. A solução com fibras associadas a pequenas taxas de

armadura de aço convencional passou a ser bastante empregada nos últimos anos, com vantagens no processo de produção e também nos custos.

Na área de pré-moldados com finalidades arquitetônicas, o uso do CRF tem evoluído, sendo essas aplicações em muitos casos combinadas com armaduras de aço convencional. Os painéis arquitetônicos são aplicados às fachadas das edificações residenciais, comerciais e institucionais.

Por outro lado, no campo das pesquisas, inicialmente vários trabalhos foram realizados no país, muitos deles patrocinados pela FAPESP, envolvendo instituições como Universidade de São Paulo (USP) e Universidade de Campinas (UNICAMP), procurando conhecer melhor o material, investindo-se em



► **Figura 3**  
Elementos segmentados pré-moldados para revestimento de túneis



► **Figura 2**  
Concreto projetado reforçado com fibras (CPRF)



► **Figura 4**  
Elementos pré-moldados para fachadas de edifícios



estudos tecnológicos, avaliando-se tipos e teores de dosagens, a influência da quantidade de fibras por quilo, influência das fibras no comportamento mecânico do material, bem como em possibilidades de utilização do material estrutural. Também foram realizados estudos comparando as fibras segundo os vários métodos de ensaios e critérios de quantificação da tenacidade à flexão, visando chegar à melhor representação do comportamento mecânico do material.

Atualmente existem várias instituições que apresentam grupos e linhas de pesquisa estudando o CRF para além da USP e da UNICAMP. Dentre elas, podem-se citar trabalhos sendo desenvolvidos na Universidade Federal de Uberlândia, na Universidade Federal de Alagoas, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, na Universidade de Brasília, na PUC Campinas, na PUC Rio, no Instituto Federal de São Paulo – Caraguatatuba. Vale ainda ressaltar que existem outras instituições de ensino e pesquisa que também trabalham com o CRF de forma mais pontual.

A maioria dos trabalhos de pesquisa sempre esteve voltada para a tecnologia do material e para a avaliação do seu comportamento à tração. Recentemente começaram a se intensificar pesquisas no campo das aplicações estruturais, envolvendo ensaios de elementos estruturais e estudos sobre modelos de dimensionamento.

### **3. APLICAÇÕES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)**

No Brasil, o CRF teve grande avanço nos anos 90 com a iniciativa de fabricação no Brasil de fibras de aço, sendo então essas as primeiras fibras utilizadas em concretos reforçados

como material de construção moderno. Para inserção em obras, a eficiência do Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA) teve como referência inúmeras obras existentes no mundo, bem como a vasta bibliografia que tratava de suas características e comportamento estrutural para diversas aplicações em construções. No Brasil, houve nessa época grande inserção em obras de infraestrutura e nas Usinas Hidrelétricas de Machadinho, Rosal e Itapebi.

Pode-se dizer que a maioria das fibras de aço propicia algum tipo de reforço ao concreto. As fibras de aço para uso em concreto têm comprimentos que variam entre 30 e 60 mm e diferentes formas de seção transversal, dependendo do processo de fabricação. Geralmente, essas fibras possuem conformações ao longo de todo o seu comprimento (fibras onduladas) ou somente nas extremidades. Tais conformações têm a finalidade de melhorar o comportamento da fibra com relação à aderência, por meio da ancoragem mecânica.

Dentre os vários tipos de fibras, são mais comuns as de seção transversal circular, que são produzidas a partir do corte de fios trefilados, e as de seção retangular, que são produzidas a partir do corte de chapas de aço. No entanto, as fibras de aço que apresentam atualmente melhor eficiência para reforço do concreto são aquelas de seções transversais circulares com diâmetros entre 0,5 e 1 mm, produzidas por meio de fios trefilados e com ganchos nas extremidades. A resistência à tração dessas fibras varia entre 500 MPa e 1150 MPa, apresentando módulo de elasticidade de 210 GPa.

A matriz do compósito pode ser constituída de concreto de resistência normal ou de alta resistência. Na dosagem de uma matriz de concre-



**► Figura 5**  
Fibras de aço utilizadas em CRFA

to para confecção de um compósito com fibras, deve-se ter atenção com a fluidez da mistura, uma vez que a introdução das fibras causa uma considerável perda de fluidez. Isso ocorre porque as fibras possuem grande área superficial, têm maior contato entre si e com os outros elementos constituintes do concreto, aumentando muito o atrito entre os materiais, diminuindo a fluidez da mistura. Misturas com maior porcentagem de argamassa e o uso de aditivos superfluidificantes auxiliam neste aspecto.

Na maioria dos concretos empregados correntemente em pavimentos que incorporam fibras de aço, a utilização de baixos teores de fibras de aço ( $\leq 0,5\%$  e  $\geq 0,25\%$  em volume) não aumenta significativamente a resistência à tração. Dessa forma, a matriz fissura praticamente com o mesmo nível de tensão e de deformação do que quando não reforçada com fibras de aço.

### **4. APLICAÇÕES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS SINTÉTICAS (CRFS)**

Conforme o ACI 544.1R-82 (1982), as fibras típicas de plástico, como poliamida (náilon), polipropileno, polietileno, poliéster (PET), têm diâmetro variando entre 0,02 mm a 0,38 mm. As

fibras poliméricas mais empregadas são as sintéticas, em especial as de polipropileno. Na prática os teores de fibras utilizadas são de no máximo 1% em volume, e mesmo com teores bem inferiores, como 0,5%, têm-se obtido concretos com boa tenacidade e considerável melhoria na resistência ao impacto. A adição de fibras de polipropileno interfere pouco na resistência do concreto à tração. A resistência do polipropileno à tração é maior que a da matriz, mas seu módulo de elasticidade é menor, portanto alonga-se mais que a matriz.

Atualmente as fibras sintéticas podem ser divididas em microfibras e macrofibras. As microfibras sintéticas (apresentam comprimentos em geral inferiores a 30 mm e diâmetro inferior a 0,30 mm) são aquelas utilizadas exclusivamente para contribuir no controle de retração do concreto, quando esse ainda está no seu estado fresco (não endurecido), não apresentando capacidade de incorporar tenacidade ao concreto. As macrofibras sintéticas são aquelas que têm capacidade de incorporar tenacidade ao concreto e podem ser utilizadas como as fibras de aço, atuando após o endurecimento do concreto e incorporando tenacidade ao material. As fibras apresen-

tam como características mecânicas resistência à tração na faixa de 100 a 650 MPa e módulo de elasticidade numa faixa de 5 a 7 GPa. Seu comprimento varia de 30 mm a 60 mm, seu diâmetro é superior a 0,30 mm e sua densidade é 900 kg/m<sup>3</sup>. Os teores normalmente utilizados para aplicações estruturais giram em torno de 0,5% em volume, representando dosagem de 4,5 kg/m<sup>3</sup>.

O CRFS como material estrutural surgiu no Brasil em 2004, para algumas aplicações semelhantes às do CRFA. As fibras sintéticas denominadas macrofibras são aquelas que conseguem melhorar as características do material concreto no estado endurecido, atuando após fissuração da matriz no controle da abertura e na propagação das fissuras.

Atualmente no Brasil o CRFS é muito utilizado como material de construção, uma vez que polímeros, como o polipropileno, apresentam maior durabilidade em meio alcalino, não estando sujeito à oxidação como ocorre com o aço. Essa situação é vantajosa, uma vez que, como a maioria das construções estão sujeitas à degradação pela exposição ao ambiente, ter um material com maior durabilidade é bastante vantajoso para a vida útil da estrutura.

adição de zircônia ao vidro. Quanto maior o teor de zircônia, melhor a resistência ao ataque de álcalis. Dessa forma, as fibras de vidro que apresentam teor de zircônia de no mínimo 19% podem ser consideradas como álcali resistentes (AR) e somente essas devem ser utilizadas em matrizes cimentícias.

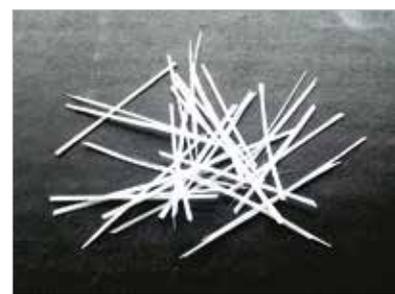
Da mesma forma que as fibras sintéticas, atualmente as fibras de vidro AR são divididas em microfibras e macrofibras. As microfibras de vidro AR (apresentam comprimentos em geral inferiores a 30 mm e diâmetro inferior a 0,30 mm) são aquelas utilizadas exclusivamente para contribuir no controle de retração no estado fresco e endurecido, não apresentando capacidade de incorporar tenacidade ao concreto. As macrofibras de vidro AR são aquelas que têm capacidade de incorporar tenacidade ao concreto e podem ser utilizadas como as fibras de aço e macrofibras sintéticas, atuando após o endurecimento do concreto e incorporando tenacidade ao material. As fibras apresentam como características mecânicas resistência à tração de 1700 MPa e módulo de elasticidade de 72 GPa. Seu comprimento varia de 35 mm a 40 mm, seu diâmetro é em torno de a 0,02 mm e sua densidade é 2680 kg/m<sup>3</sup>. Os



► **Figura 6**  
Macrofibras sintéticas  
(polipropileno)

## 5. APLICAÇÕES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO (CRFV)

As fibras de vidro podem apresentar problemas de durabilidade, uma vez que a alcalinidade do cimento reage com a sílica da fibra de vidro. Na década de 1970 surgem como alternativa a utilização de fibras de vidro resistentes a álcalis. A resistência ao meio alcalino é conseguida pela



► **Figura 7**  
Macrofibras de vidro AR

teores normalmente utilizados para aplicações estruturais estão entre 0,2% e 0,5% em volume, representando dosagem entre 4,5 kg/m<sup>3</sup> e 13 kg/m<sup>3</sup>.

Atualmente, é possível a utilização de macrofibras de vidro AR com capacidade de reforço estrutural de concretos, atuado de forma similar às macrofibras sintéticas e às fibras aço. Sua aplicação envolve também pisos industriais, elementos pré-moldados, radiers, etc.

## 6. NORMALIZAÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

As referências normativas disponíveis atualmente no Brasil que envolvem o CRF são: a ABNT NBR 15305 – Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibras de vidro – Procedimentos para o controle de fabricação de 2005; a ABNT NBR 8890 - Tubo de Concreto Armado de Seção Circular para Esgoto Sanitário, que contempla a utilização do concreto armado e do concreto reforçado com fibras de aço de 2007 e a ABNT NBR 15530 - Fibras de Aço para Concreto – 2007. As duas primeiras (ABNT NBR 15305 e ABNT NBR 8890) referem-se a produtos e o CRF é contemplado dentro do escopo delas. A ABNT 15530 diz respeito a um material componente do CRF.

É importante ressaltar que, do ponto de vista de normalização, deve-se considerar quatro enfoques importantes para o CRF: o primeiro se refere às fibras, o segundo, a avaliação do comportamento do CRF, o terceiro diz respeito ao projeto de estruturas de CRF e o quarto trata sobre o controle de qualidade do CRF.

A expectativa sempre foi utilizar o CRF como material estrutural e, para

isso, é extremamente importante conhecer o comportamento mecânico do material. Dessa forma, inicialmente vem a necessidade de conhecer o material quando submetido à compressão e à tração.

Com esse entendimento, foi sendo construído desde 1980, por meio de pesquisas e normalização, procedimentos de ensaio para avaliação do comportamento à tração do CRF. Nesse sentido, a ASTM C1018 e a JSCE SF4 foram as precursoras. Essas normas permitiram o estabelecimento dos primeiros parâmetros para projeto de estruturas, fundamentados em Índices de Tenacidade (ASTM C1018) e Tenacidade e Fator de Tenacidade (JSCE SF4).

A partir desses parâmetros, vários procedimentos de projeto foram elaborados para dimensionamento de elementos de CRF, procedimentos esses não considerados como normas para aplicação estrutural do CRF, mas com grande inserção para aplicações do CRF, como, por exemplo, em placas apoiadas em meio elástico, que é o caso dos pisos industriais.

Como o campo de aplicação também avançou no revestimento de túneis, particularmente como concreto projetado no sistema NATM, procedimentos de dimensionamento de revestimentos de Concreto Projetado Reforçado com Fibras (CPRF) foram fundamentados na avaliação de uma quantidade de energia (Tenacidade) para ser atendida pelo CPRF, visando garantir a interação solo-estrutura. Como exemplo, têm-se os critérios estabelecidos em 1996 pela EFNARC (*European Specification for Sprayed Concrete*), que apresenta três classes de Tenacidade para revestimento de CPRF, vinculando-as às situações de projeto dos túneis.

Entre 1994 e 1998, um projeto patrocinado pela Comunidade Européia - Programa Brite-Euram III (*Industrial & Materials Technologies*), envolvendo indústrias, universidades e organizações de pesquisa, patrocinou vários trabalhos em várias instituições de pesquisa e em empresas fabricantes de fibras de aço na Europa, culminando numa série de publicações sobre ensaios e métodos de projeto para o concreto reforçado com fibras de aço. Essa ação representou um grande avanço na tecnologia do CRF, pois possibilitou uma série de estudos que culminaram, no início dos anos 2000, em ações no sentido de se estabelecer normas para projeto de estruturas de CRF, bem como numa convergência no método de avaliação do comportamento do CRF, consolidando o conceito de resistência residual pós-fissuração da matriz de concreto, em detrimento dos conceitos de tenacidade e energia como parâmetros de projeto.

A partir do trabalho desenvolvido por meio do Programa Brite-Euram III, em um movimento dos segmentos industriais fabricantes de fibras de aço, o *Model Code 2010* produzido pela FIB contemplou a utilização do CRF como material estrutural. A *fib* (*International Federation for Structural Concrete*), formada por 44 grupos nacionais de membros e aproximadamente 1.000 membros individuais ou corporativos, é uma associação sem fins lucrativos, comprometida com o desempenho técnico, econômico, estético e ambiental de estruturas de concreto em todo o mundo.

Com essa referência, a partir de 2011, organizou-se na ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) um comitê de

estudos sobre os capítulos envolvendo as propriedades do CRF e o projeto de estruturas de CRF. Posteriormente, em 2015, o trabalho desse comitê foi ampliado, envolvendo o IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto) e criando-se o CT 303 que publicou, em 2016, a Prática Recomendada IBRACON/ABECE “Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras”.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o momento é de gran-

des possibilidades de avanço na aplicação do CRF no Brasil, uma vez que as ações no sentido de normalização estão ganhando corpo de forma significativa, haja vista as ações do Comitê IBRACON/ABECE 303.

Esse avanço caminha no sentido de se ter mais qualidade e segurança nas estruturas projetadas, alicerçadas em normalização das fibras, da caracterização do material e de critérios de projeto e controle da qualidade do CRF.

Existem muitas possibilidades de aplicação nas construções do CRF e,

para isso, é necessário todo o aparato normativo, bem como investimento na formação de profissionais para atuação nas áreas de fabricação de fibras, tecnologia e produção de CRFs, projeto e controle da qualidade. Determinados tipos de estruturas são totalmente favoráveis à aplicação do CRF, mas, muitas vezes, ainda persiste-se em projetá-las em concreto armado. Ressalta-se ainda que é importante o conhecimento sobre o material para que não sejam cometidos abusos que podem comprometer o potencial do CRF. ➤

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI manual of concrete: State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. (ACI 544.1R-82). ACI Committee 544, Detroit, USA: 1982.
- [2] CARNIO, M.A. Propagação de trinca por fadiga do concreto reforçado com baixos teores de fibras. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, 2009, 217p. Tese (Doutorado).

# Prática Recomendada IBRACON/ABECE

## Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra

### PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

#### PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS



CT 303 - Comitê Técnico IBRACON/ABECE  
Uso de Materiais Não Convencionais para  
Estruturas de Concreto: Fibras e  
Concreto Reforçado com Fibras  
CT 303 - Estruturas de concreto reforçado com fibras  
Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio  
Responsável Técnico: Eng. Sérgio Manoel Gomes



Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a *Prática Recomendada* é um trabalho pioneiro no Brasil, que traz as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

Baseada no *fib Mode Code 2010*, a *Prática Recomendada* estabelece os requisitos mínimos de desempenho mecânico do CRF para substituição parcial ou total das armaduras convencionais nos elementos estruturais e indica os ensaios para a avaliação do comportamento mecânico do CRF.

### Aquisição

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)  
(loja virtual)

### DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 39

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

### Patrocínio



Pode confiar

# Controle tecnológico do comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras

RENATA MONTE – PESQUISADORA DOUTORA

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALINE DA SILVA RAMOS BARBOZA – PROFESSORA TITULAR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

## I. INTRODUÇÃO

No Brasil o uso de fibras para o reforço mecânico do concreto ainda se concentra em aplicações de baixo consumo e estruturas contínuas, como pavimentos e concreto projetado. Essas aplicações, por requererem menor demanda estrutural para o reforço, resultam maior segurança aos projetistas para a especificação do concreto reforçado com fibras (CRF). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui duas normas, a de especificação das fibras de aço e a da aplicação dessas fibras em tubos de concreto para águas pluviais e saneamento. Essa limitação no arcabouço de normas técnicas e práticas recomendadas que subsidiem com segurança a especificação do material limita também o uso do CRF em aplicações de maior demanda estrutural. Um dos principais gargalos está no controle tecnológico, que é algo básico e fundamental para a qualidade e segurança nas obras de engenharia.

O controle do comportamento mecânico do CRF não é trivial, geralmente envolvendo ensaios mais complexos e que exigem equipamentos de maior custo de aquisição e manutenção. Por essa razão, são

poucos laboratórios dotados de infraestrutura adequada para a execução de ensaios de caracterização do CRF no Brasil (FIGUEIREDO, 2014). Em várias situações, o único controle de comportamento mecânico efetivamente realizado é a determinação da resistência à compressão, o que não é capaz de avaliar a contribuição das fibras.

O ensaio de flexão para a determinação da tenacidade através do tradicional método da norma japonesa (JSCE SF4, 1984) é o mais comum de ser executado em laboratórios de controle tecnológico brasileiros. Porém, esse método é crítico em termos de reprodutibilidade e pode resultar em intensa instabilidade no comportamento pós-fissuração da matriz de concreto, como já foi apontado por diversos estudos nacionais e internacionais. Em nível internacional a tendência é a adoção do ensaio de flexão de prismas com entalhe, conforme preconiza a norma europeia EN14651:2007, sendo este o ensaio de referência para o novo código modelo europeu para estruturas em concreto com fibras, o *fib Model Code 2010* (FIB, 2013), e também das práticas recomendadas do CT303 do IBRACON e ABECE.

Na busca por ensaios de configuração mais simples e, ainda assim, confiáveis para o controle tecnológico do CRF, foi desenvolvido o ensaio de duplo punção. A possibilidade de se utilizar ensaios alternativos é prevista no *fib Model Code 2010* (FIB, 2013), mas a correlação com o ensaio de referência (EN14651, 2007) deve ser comprovada. Nesse trabalho, são apresentados os dois ensaios e tecidas as considerações pertinentes a cada um deles.

## 2. ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS COM ENTALHE

O ensaio de flexão em três pontos com entalhe é o método de ensaio para o controle do CRF para aplicações estruturais segundo as recomendações do *fib Model Code 2010* (FIB, 2013). Nesse ensaio, os prismas recebem um carregamento concentrado em um cutelo superior posicionado no meio do vão e com um entalhe inferior, sendo possível obter uma curva de carga por abertura de fissura (*CMOD – Crack mouth opening displacement*). Este ensaio é o estabelecido pela norma europeia EN14651:2007.

A norma EN14651:2007 define os corpos de prova prismáticos com

dimensões nominais (largura e altura) de 150 mm e comprimento variando entre 550 mm e 700 mm. A norma prevê que podem ser medidas a abertura da fissura (CMOD) ou o deslocamento vertical do prisma ( $\delta$ ). Quando é medido o CMOD, o transdutor (*clip gage*) deve ser posicionado no meio da largura do corpo de prova, de tal forma que a distância entre a borda inferior e a linha de medição seja menor ou igual a 5 mm (conforme indicado na Figura 1). No caso de ser medido o deslocamento vertical, um transdutor de deslocamento (LVDT) deve ser montado em uma estrutura rígida (denominado Yoke) fixada ao corpo de prova a meia altura da amostra sobre os cutelos.

Para que os resultados sejam expressos em carga versus CMOD, quando é realizada apenas a medida do deslocamento vertical ( $\delta$ ), esta pode ser convertida para CMOD por meio da Equação 1.

$$\delta = 0,85 \text{ CMOD} + 0,04 \quad [1]$$

A velocidade de ensaio é controlada pelo aumento do CMOD em 0,05 mm/min até que o CMOD atinja valor igual a 0,1 mm. A partir desse ponto, a velocidade aumenta para 0,2 mm/min até o término do ensaio, para um valor de CMOD superior a 3,5 mm. Caso o controle seja realizado por deslocamento vertical, as taxas podem ser convertidas por meio da Equação 1. A Figura 1 ilustra as configurações de ensaio na máquina com medida de abertura de fissura (a) ou deslocamento vertical (b).

Utilizando a curva de carga por abertura de fissura podem ser calculados os parâmetros: limite de proporcionalidade ( $f_{ct,L}^f$ ) e as resistências



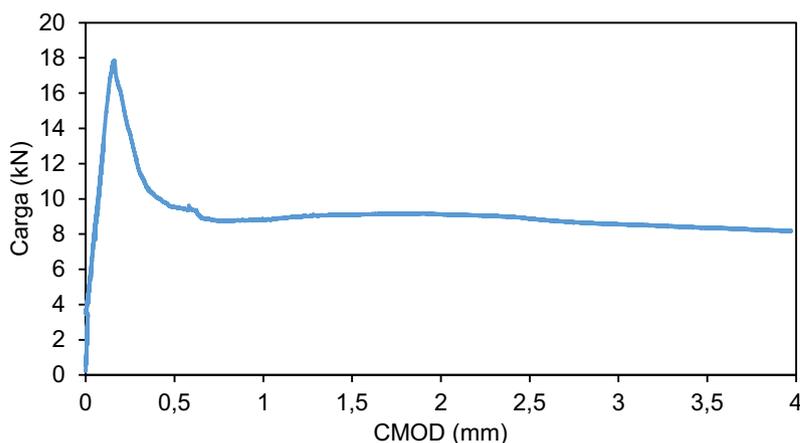
► **Figura 1**  
Configurações de ensaio: a) com *clip-gage* (medida de CMOD); b) com LVDT (medida do  $\delta$ )

residuais  $f_{R1}$ ,  $f_{R2}$ ,  $f_{R3}$ ,  $f_{R4}$ , correspondentes a valores de CMOD iguais a 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm e 3,5 mm, respectivamente. A Figura 2 ilustra uma curva produzida com resultados de um ensaio EN 14651, onde podem ser identificados os parâmetros de carga  $F_j$  que são utilizados nos cálculos das resistências LOP (limite de proporcionalidade) e residuais.

As resistências residuais à flexão para diferentes valores de CMOD deve ser calculada com a Equação 2 e o limite de proporcionalidade (LOP) com a Equação 3. Esses cálculos

tomam por base o comportamento elástico de modo a estimar a tensão na fibra mais tensionada da seção transversal. Trata-se de uma hipótese simplificadora histórica adotada por praticamente todas as normas que definem o controle do CRF na flexão de prismas. Portanto, o *fib* Model Code 2010 (FIB, 2013) estabelece parâmetros de correção para o uso dessas resistências residuais no cálculo estrutural.

$$f_{Rj} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad [2]$$



► **Figura 2**  
Exemplo de curva de carga versus CMOD identificando os principais parâmetros de carga



Onde:

$f_{R,j}$  é a resistência residual à flexão correspondente à abertura de fissura, com  $CMOD=CMOD_j$  e  $j=1, 2, 3$  e  $4$  (MPa);

$F_j$  é a carga correspondente a abertura de fissura específica  $CMOD_j$ , com  $CMOD_1=0,5$  mm,  $CMOD_2=1,5$  mm,  $CMOD_3=2,5$  mm e  $CMOD_4=3,5$  mm, com  $j = 1, 2, 3$  e  $4$ ;

$l$  é o vão de ensaio (mm);

$B$  é a largura do corpo de prova (mm);

$h_{sp}$  é a distância entre o topo do corpo de prova até o topo do entalhe.

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2}$$

[3]

Onde:

$f_{ct,L}^f$  é o limite de proporcionalidade LOP (MPa);

$F_L$  é a carga correspondente ao LOP (N).

As curvas podem apresentar

configurações distintas e a carga  $F_L$  deve ser determinada traçando uma linha na distância  $0,05$  mm e paralela ao eixo  $x$  do gráfico de carga versus  $CMOD$ , assumindo que o valor de  $F_L$  é a maior carga obtida nesse intervalo (Figura 3).

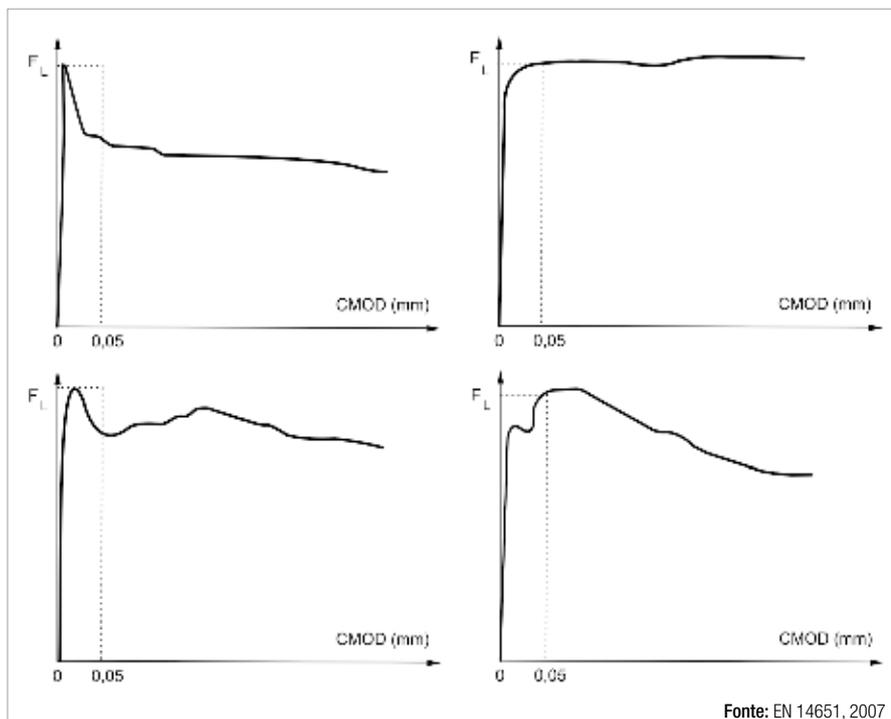
O principal elemento que dificulta a utilização desse ensaio para o controle do CRF é a necessidade de equipamento com um sistema fechado de controle de deformação, ou seja, a deformação imposta no ensaio deve ser controlada pelo deslocamento medido no corpo de prova. Esse tipo de equipamento não é comum nos laboratórios de controle tecnológico, sendo mais comum em universidades e centros de pesquisa. Trata-se de um equipamento de alto custo e operação mais complexa. Ciente dessa dificuldade, o *fib* Model Code 2010 (FIB, 2013) propôs a pos-

sibilidade de se utilizar ensaios alternativos para o controle tecnológico, mas cuja correlação com o ensaio de referência (EN14651) seja comprovada. Como opção de ensaios alternativos normalizados se tem, por exemplo, os ensaios de flexão quatro pontos (JSCE-SF4, 1084; ASTM C1609, 2012) e punção de placas circulares (ASTM C1550, 2012). Porém, as dificuldades enfrentadas pela ausência de infraestrutura laboratorial para a execução desses faz com que o ensaio de duplo puncionamento ou ensaio Barcelona (UNE 83515, 2010) possa ser considerado uma alternativa viável para o controle tecnológico do CRF e será discutido em detalhe a seguir.

### 3. ENSAIO DE DUPLO PUNCIONAMENTO OU BARCELONA

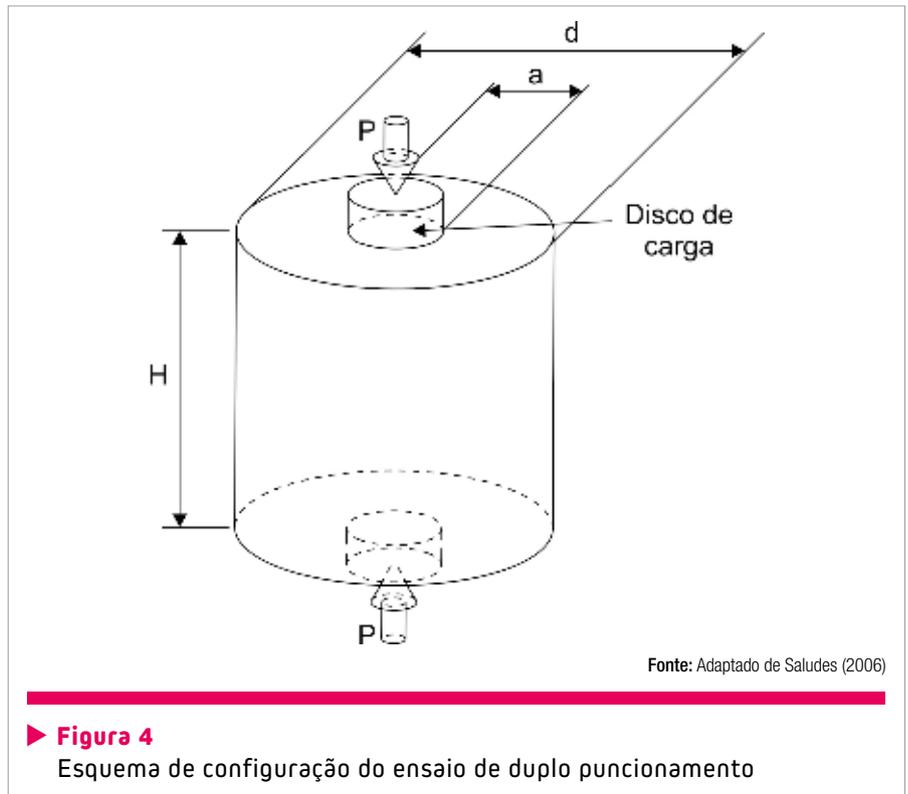
Com o intuito de desenvolver um ensaio alternativo aos tradicionais ensaios de flexão, que seja de configuração mais simples e, ainda assim, confiável para o controle do comportamento mecânico do CRF, foi desenvolvido o ensaio Barcelona. Esse ensaio foi normalizado na Espanha por meio da AENOR UNE 83515 (2010) e consiste no duplo puncionamento aplicado a discos de carga posicionados na região central de corpos de prova moldados ou testemunhos extraídos. A relação entre o diâmetro ( $d$ ) e a altura ( $H$ ) da amostra deve ser igual a um e os discos de carga de aço têm diâmetro ( $a$ ) igual a  $1/4$  do diâmetro do corpo de prova e altura igual a  $1/5$  de sua altura, conforme ilustra o esquema da Figura 4.

O carregamento do corpo de prova deve ser contínuo e aplicado a uma



► **Figura 3**  
Posições da carga correspondente ao LOP ( $F_L$ ) em diagramas carga-CMOD

velocidade de controle de descida do equipamento igual a 0,5 mm/min. Na sua versão original, a norma espanhola indica para o ensaio Barcelona a medida simultânea da carga aplicada e do aumento do perímetro circunferencial ou TCOD (*Total circumferential opening displacement*). Porém, a medida do TCOD requer o acoplamento de um extensômetro de circunferência, o qual representava mais um equipamento a ser adquirido para o ensaio. Dando continuidade ao contexto de difundir o ensaio como um método mais acessível para o controle tecnológico corriqueiro do CRF, pesquisadores buscaram simplificar o procedimento eliminando o citado extensômetro. As propostas de Carmo-  
na, Aguado e Molins (2012) e Pujadas et al. (2013) indicam que seja medida a carga aplicada e o respectivo deslocamento vertical da máquina de ensaio. Com isso, a infraestrutura laboratorial se restringe a uma máquina de ensaio que seja capaz de controlar a velocidade de deslocamento vertical e a aquisição simultânea da carga aplicada e do deslocamento vertical (com frequência

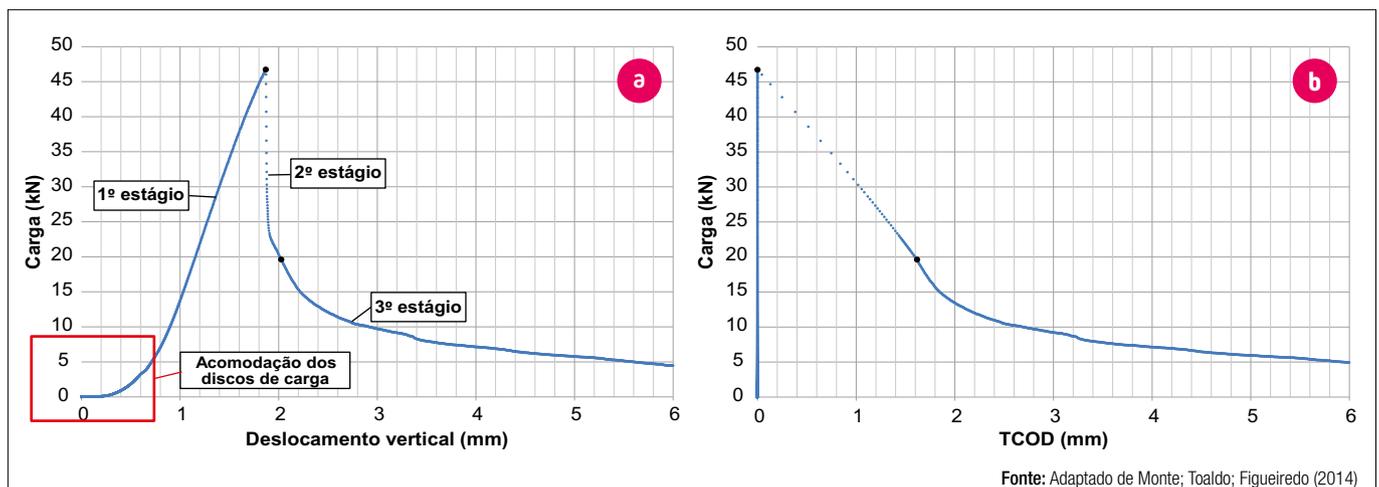


► **Figura 4**  
Esquema de configuração do ensaio de duplo puncionamento

de aquisição não inferior a 1 Hz). Essa configuração de equipamento é mais acessível em termos de custo e disponibilidade nos laboratórios de controle tecnológico.

Na curva carga versus deslocamento vertical resultante do ensaio podem ser identificados três estágios

distintos, que acontecem após a acomodação dos discos de carga (Figura 5a). A Figura 5 ilustra um exemplo de resultado de ensaio com testemunho extraído de 100 mm de diâmetro e reforçado com 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço (fibra de 30 mm de comprimento e fator de forma 45).



► **Figura 5**  
a) identificação dos três estágios na curva carga versus deslocamento vertical; b) curva convertida para carga versus TCOD



O primeiro estágio representa a fase elástica linear e termina na carga correspondente a resistência da matriz ( $P_{cr}$ ). Em seguida, percebe-se uma fase de transição na qual pode ocorrer uma queda abrupta de carga caso a capacidade resistente residual seja pequena. Por fim, o último estágio identifica a capacidade resistente residual do CRF e ocorre até o limite de deslocamento pré-estabelecido (usualmente 6 a 7 mm). A proposta de Pujadas et al. (2013) associa o deslocamento vertical obtido ( $\delta_p$ ) à abertura de fissura da amostra (TCOD) por meio das Equações 4, 5 e 6, uma para cada estágio do ensaio.

$$TCOD = 0 \quad \delta_p \leq \delta_{p,cr} \quad [4]$$

$$TCOD = n \times \frac{a \times \delta_{p,R,0}}{2 \times l} \times \text{sen} \frac{\pi}{n} \left( 1 - \frac{P}{P_{cr}} \right) \quad [5]$$

$$\delta_{p,cr} < \delta_p < \delta_{p,R,0}$$

$$TCOD = n \times \frac{a}{2 \times l} \times \text{sen} \frac{\pi}{n} \left[ \delta_p - \delta_{p,cr} + \delta_{p,R,0} \times \left( 1 - \frac{P_{R,0}}{P_{cr}} \right) \right] \quad [6]$$

$$\delta_p \geq \delta_{p,R,0}$$

Onde:

$n$  é o número de fissuras radiais formadas no ensaio;

$a$  é o diâmetro do disco de carga;

$l$  é o comprimento da cunha formada;

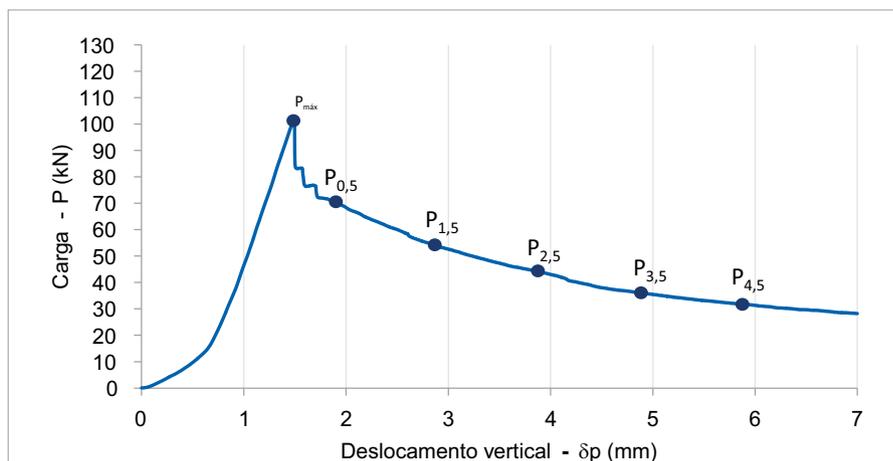
$P$  é a carga no ponto a ser calculado;

$P_{cr}$  é o ponto de carga máxima e  $\delta_{p,cr}$

é o respectivo deslocamento vertical;

$P_{R,0}$  é o ponto de início da resistência residual e  $\delta_{p,R,0}$  é o respectivo deslocamento vertical.

A avaliação do comportamento residual do CRF pode também ser realizada comparando as cargas residuais para determinados níveis de deslocamento vertical, sem a necessidade da



► **Figura 6**

Exemplos de parâmetros de carga que podem ser avaliados através do ensaio de duplo puncionamento com deslocamento vertical

realização de conversão para TCOD. Como exemplo, podem ser adotados os deslocamentos indicados na Figura 6.

Apesar da facilidade de execução, o ensaio de duplo puncionamento ainda precisa de desenvolvimento para ser aplicado no controle do CRF. Entre as dificuldades está a ausência de uma correlação geral com o ensaio de flexão para qualquer tipo de fibra utilizada. Por isso, é indicado que se realize um programa experimental piloto para o estabelecimento de correlações empíricas para a matriz, fibra e dosagem empregadas em cada obra.

A influência da região de instabilidade na confiabilidade dos resultados precisa ser verificada. Essa instabilidade pode ser percebida pelo afastamento dos pontos na curva carga versus deslocamento vertical (ou TCOD) após a carga de pico (ver Figura 5). Além disso, aspectos relativos a critérios para formação de lote, quantidade de amostras, repetibilidade e reprodutibilidade do método de ensaio merecem atenção com vistas à futura normalização do método no Brasil.

#### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

A qualificação do CRF para aplicações estruturais passa, obrigatoriamente, pelo ensaio EN14651 (2007), definido tanto pelo *fib* Model Code 2010 como pelo CT303 IBRACON/ABECE. No entanto, como foi exposto aqui, trata-se de um ensaio complexo e de difícil realização em laboratório de controle corriqueiro, apesar de totalmente adequado à parametrização do compósito. Dessa forma, é fundamental contar com a execução de testes prévios de qualificação do CRF, correlacionando o ensaio mais complexo da EN14651 com o de execução mais simples de duplo puncionamento. A partir desse resultado, o controle pode ser realizado mais facilmente em vários laboratórios e, com isso, permitir a difusão da tecnologia do CRF como material para finalidades estruturais mais exigentes.

Diante desse contexto, os esforços de pesquisa estão sendo concentrados em ensaios de configuração mais simples, como o ensaio de duplo puncionamento ou Barcelona, de modo a

tornar possível e confiável o controle nas condições de obra. As próximas etapas da pesquisa preveem a realização de estudos interlaboratoriais e a definição de planos de controle confiáveis, o que permitirá obter maior credi-

bilidade para a aplicação do CRF com finalidade estrutural.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Furnas Centrais Elétricas pelo apoio financeiro aportado

através do projeto de pesquisa “Concreto fibroso de alta performance em estruturas de usinas hidrelétricas: modelagem, experimentação e recomendações para projeto” para o desenvolvimento de pesquisas em concreto com fibras. ➤

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE 83515: Hormigones con fibras - determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción - método Barcelona. España, 2010. 10p.
- [2] CARMONA S, AGUADO A, MOLINS C. Generalization of the Barcelona test for the toughness control of FRC. *Materials and Structures*, v. 45, n. 7, p. 1053–69, 2012.
- [3] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 14651. Test Method FOR Metallic Fiber Concrete – Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality, Residual). Brussels, 2007. 20p.
- [4] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland, 2013. 402p.
- [5] FIGUEIREDO, A. D. Os desafios para o uso do concreto reforçado com fibras como material estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Natal. Anais... As construções em concreto como fator de integração entre as nações. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2014.
- [6] MONTE, R.; TOALDO, G. S.; FIGUEIREDO, A. D. Avaliação da tenacidade de concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto. *Matéria (UFRJ)*, v. 19, p. 132-149, 2014.
- [7] PUJADAS, P.; BLANCO, A.; CAVALARO, S. H. P.; de la FUENTE, A.; AGUADO, A. New analytical model to generalize the Barcelona test using axial displacement. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 19, n. 2, p. 259-71, 2013.
- [8] THE JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. JSCE-SF4: Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. n. 3, p. 58-61. Concrete library of JSCE, 1984.

## Durabilidade do Concreto

Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT

Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

# DURABILIDADE DO CONCRETO

→ Editores	Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
→ Editora francesa	Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées – França
→ Coordenadores da edição em português	Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)
→ Editora brasileira	IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto. A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ Informações: [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

### DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-22-0

Edição: 1ª edição

Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 615

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2014



FHECOR  
DO BRASIL  
Engenharia



# Compósitos cimentícios de ultra-alto desempenho reforçados com fibras

JOSÉ AMÉRICO ALVES SALVADOR FILHO – PROFESSOR DOUTOR

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO – IFSP CAMPUS CARAGUATATUBA

## I. INTRODUÇÃO

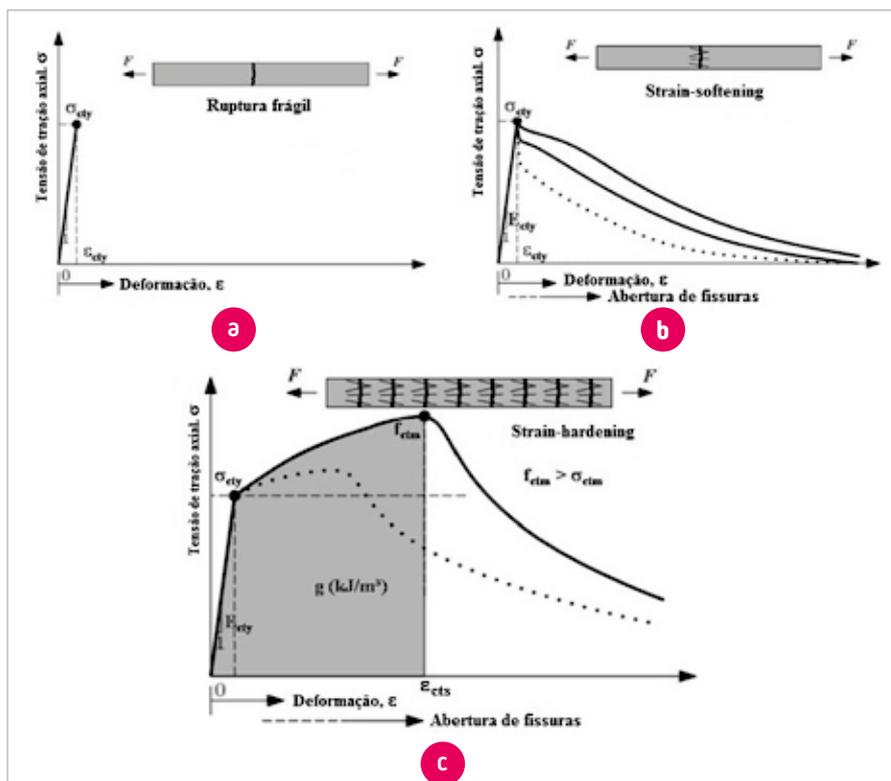
Desde os tempos remotos, as fibras têm sido utilizadas para o reforço de materiais frágeis, como as palhas usadas no reforço de blocos de adobe, bastante comuns no Brasil colonial. No fim do

século 19, fibras de amianto foram utilizadas em larga escala para o reforço de pastas cimentícias para a produção de diversos componentes da construção civil, até que foram substituídas por outros tipos de fibras devido aos danos à saúde provocados pelo amianto. Atu-

almente, as fibras são incorporadas a diversos tipos de materiais, como cimentícios, cerâmicos, plásticos, etc. formando compósitos com propriedades otimizadas. Essas propriedades incluem: a resistência à tração, resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à fissuração, controle de fissuração, durabilidade, resistência ao impacto, à abrasão, à fadiga, à retração e expansão térmica e a resistência ao incêndio.

O concreto simples, sem nenhum tipo de armadura, apresenta ruptura frágil quando submetido à tração axial, caracterizada pela curva tensão-deformação com interrupção abrupta após o surgimento da primeira fissura. O uso de fibras faz com que a curva tensão-deformação sob tração axial apresente a perda da capacidade resistiva do material acompanhada de uma grande deformação após a abertura da primeira fissura, comportamento conhecido como *strain-softening*.

Por outro lado, uma nova geração de materiais cimentícios reforçados com fibras apresentam um comportamento distinto em testes de tração direta, com o aumento da capacidade resistiva acompanhado de grandes deformações após o início da fissuração. Esse comportamento é denominado



► **Figura 1**  
Curvas tensão x deformação do (a) concreto convencional, (b) concreto reforçado com fibras e (c) UHPFRC (adaptado de Wille *et al.* 2014)

em inglês como pseudo *strain-hardening*, que, em uma tradução literal, poderia ser definido como “pseudoencruamento”. A equação 1 é utilizada para determinar experimentalmente a ocorrência do comportamento de pseudo *strain-hardening* de compósitos cimentícios, onde a tensão de ocorrência da primeira fissura ( $\sigma_{ctv}$ ), ou seja limite de elasticidade, deve ser menor que a tensão máxima à tração axial ( $f_{ctm}$ ).

$$f_{ctm} > \sigma_{ctv}$$

[1]

Este comportamento deve-se ao fato do material não formar apenas uma fissura principal, mas sim várias microfissuras (fig. 4). À medida que cada microfissura se abre, o material sofre uma grande deformação, que é interrompida pelas fibras até que outra microfissura se abra em outra posição, sem que o material perca sua capacidade resistiva, até atingir a tensão máxima (fig. 1).

Li (1997) reportou o desenvolvimento de compósitos cimentícios de alta ductilidade na Universidade de Michigan, com o comportamento descrito acima, e descreveu uma metodologia de desenvolvimento baseado em princípios de micromecânica. Esse material foi denominado com *Engineered Cementitious Composites* (ECC), mas não foi o único. Na literatura podem ser encontrados diversos materiais com essas características, tais como: *Reactive Powder Concrete* (RPC), *Multi-Scale Cement Composite* (MSCC), *Very High Strength Concrete* (VHSC), *High Strength High Ductility Concrete* (HSHDC), *Ultra-High Performance Strain Hardening Cementitious Composites* (UHP-SHCC). Alguns são conhecidos comercialmente como Ceracem, Ductal, CARDIFRC, e CEMTEC. Entretanto, o termo que engloba todos es-

▶ Tabela 1 – Propriedades mecânicas de vários tipos de UHPFRCC

Compósito cimentício	Resistência à compressão MPa	Resistência à tração MPa	Energia específica kJ/m <sup>3</sup>
Ceracem	191	9,7	25
Ductal	200	15,1	39,5
CARDIFRC	185	13,5	N/A
CEMTEC	220	20	35
RPC	230	7,8	N/A
MSCC	193	15	N/A
VHSC	200	10	17
ECC	45	5	148
HSHDC	160	11,8	305
UHP-SHCC	48,1	4,8	63
UHPFRCC	200	14,9	63

Adaptado de Kwon et al. 2014.

ses materiais é *Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites* (UHPFRCC), e suas principais propriedades estão listadas na tabela 1.

## 2. PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Os UHPFRCC (*Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites*) são considerados compósitos cimentícios por serem constituídos de uma matriz cimentícia de alta resistência reforçada com fibras. Esta matriz normalmente é composta de cimento Portland, sílica ativa e agregados miúdos, normalmente com dimensão máxima de até 1,2mm para garantir maior homogeneidade da matriz. Este material em geral possui consistência autoadensável, com relação água/aglomerantes em torno de 0,2 ou menor, e sua consistência é garantida pelo uso de aditivos superplastificantes. Como o UHPFRCC é um material de elevado consumo de cimento, com valores que vão desde 800kg/m<sup>3</sup> a 1000 kg/m<sup>3</sup>, é recomendável o uso de aditivos redutores de retração.

Também podem ser utilizadas outras adições minerais no UHPFRCC, sendo a mais comum o pó de quartzo, em teores de 10% em relação à massa cimento. Outras adições podem ser utilizadas para se obter propriedades específicas. Em uma pesquisa realizada no *Laboratorio Prove e Ricerca su Strutture e Materiali* (PRiSMA) da *Università degli Studi Roma Tre*, foram realizadas dosagens de UHPFRCC com materiais obtidos na região de Roma, Itália (Salvador Filho et al, 2016). Nessa pesquisa foi utilizado o pó de calcário em substituição volumétrica do cimento para a obtenção de um material de consistência tixotrópica, para ser aplicado na recuperação de estruturas de concreto armado sem a necessidade de construção de fôrmas. O uso do pó de calcário não comprometeu as propriedades mecânicas do material. Também podem ser utilizados resíduos de natureza mineral em substituição ao cimento, de modo que o impacto ambiental de sua produção seja reduzido.





► **Figura 2**  
Fibras de (a) basalto, (b) polietileno de alta densidade e (c) aço inoxidável (Salvador Filho *et al.* 2016)

As propriedades do UHPFRCC são afetadas diretamente pela quantidade de fibras utilizadas em sua composição, tanto no estado fresco como no endurecido. Quanto maior o volume de fibras, que normalmente corresponde a 2% do volume total, maior a resistência à tração e tenacidade, (sem limite? Seria bom dar um limite) mas, por outro lado, sua trabalhabilidade é afetada. Entretanto, essas propriedades são também afetadas pelo material com

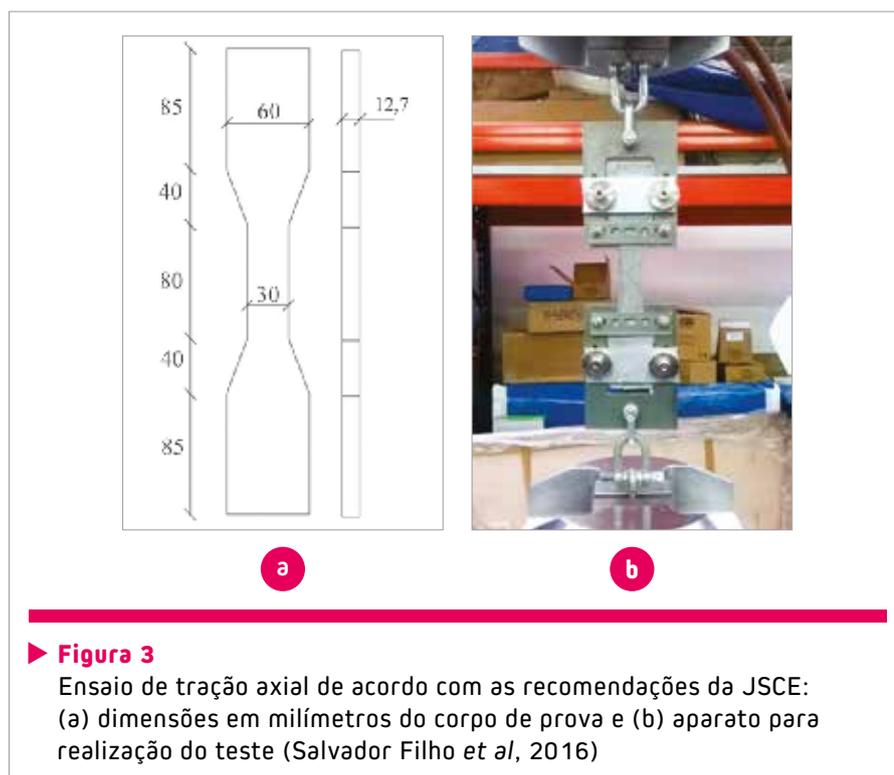
que a fibra é constituída e pelo seu formato. Experimentos em que foram adicionadas fibras de diferentes materiais, basalto, polipropileno e aço inoxidável (Fig. 2), em teores de 1% e 2% em relação ao volume da matriz cimentícia, resultaram em comportamentos mecânicos distintos. Os compósitos reforçados com fibras de basalto apresentaram incremento na resistência à tração axial, mas não tiveram aumentada sua tenacidade, mantendo a ruptura frágil.

Por outro lado, as fibras de aço e de polipropileno proporcionaram o incremento de capacidade resistiva após o surgimento das primeiras fissuras (*strain-hardening*), apresentando inclusive o padrão de fissuração com o surgimento de várias microfissuras (Figs. 3 e 4). Entretanto, enquanto o uso de fibras de aço inoxidável aumentará a resistência à tração dos compósitos, as matrizes reforçadas com fibras de polipropileno tiveram resistência à compressão inferior à da matriz cimentícia sem adição de fibras. (Salvador Filho *et al.* 2016).

Atualmente estão sendo desenvolvidos no Laboratório Integrado de Engenharia Civil (LIEC) do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), no campus Caraguatatuba, estudos de dosagem do UHPFRCC produzidos a partir de materiais locais e reforçados com fibras de vidro álcali-resistentes. Algumas características das fibras de vidro, como a resistência à corrosão, facilidade de fabricação e custo relativamente baixo, podem ser vantajosas na produção do UHPFRCC. O LIEC-IFSP em parceria com o Laboratório de Materiais e Componentes da Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), está desenvolvendo estudos de durabilidade do UHPFRCC produzidos a partir do uso de resíduos minerais em substituição ao cimento Portland.

### 3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

A tenacidade do UHPFRCC e sua capacidade de continuar aumentando sua resistência à tração mesmo após a fissuração são os principais parâmetros de avaliação do UHPFRCC. Os concretos convencionais reforçados com fibras têm suas propriedades avaliadas



► **Figura 3**  
Ensaio de tração axial de acordo com as recomendações da JSCE: (a) dimensões em milímetros do corpo de prova e (b) aparato para realização do teste (Salvador Filho *et al.*, 2016)

através de testes de tração à flexão com determinação de deslocamentos e da abertura da fissura no meio do vão (CMOD). Entretanto, devido ao uso de fibras de pequenas dimensões, a *Japanese Society of Civil Engineers* (JSCE) publicou em 2008 as recomendações para projeto e construções com uso do HPFRCC. Segundo esta publicação, as principais propriedades do material são determinadas através do ensaio de resistência à tração axial com corpos de prova moldados nas dimensões descritas na figura 3. Equipamentos para determinação dos deslocamentos são colocados nas faces dos corpos de prova. O carregamento é realizado com taxa de deslocamento constante em 0,5mm/min, e a curva tensão x deformação é construída a partir dos dados obtidos. A tenacidade é avaliada pela área abaixo da curva tensão-deformação desde o início da curva até a deformação correspondente à tensão máxima do material sob tração axial. Kwon et al. (2014) definiu a tenacidade em termos de capacidade de absorção de energia ( $g$ ) calculada de acordo com a equação 2, onde ( $\epsilon_{ts}$ ) é a deformação correspondente à tensão máxima.

$$g = \int_0^{\epsilon_{ts}} \sigma(\epsilon) d\epsilon$$

[2]

A absorção de energia correspon-

dente à área do trecho de perda de capacidade de carga, *strain-softening*, após  $\epsilon_{ts}$  não é avaliada. Resultados da capacidade de absorção de energia de diversos tipos de UHPFRCC estão apresentados na tabela 1.

#### 4. CONCLUSÕES

A possibilidade de produção de materiais cimentícios de alta ductilidade traz uma enorme gama de possibilidades para utilização na engenharia civil. As diferentes matérias-primas e fibras em diferentes materiais, formatos e quantidades que podem ser utilizadas na produção do HPFRCC abrem um grande campo de pesquisa, com desafios no campo experimental. Ainda é necessária a determinação de parâmetros para proposição de métodos de dosagem eficientes. As características do UHPFRCC o tornam um material naturalmente adaptado para uso na recuperação ou *retrofit* de estruturas de concreto armado existentes, possibilitando intervenções mínimas na estrutura e na arquitetura da construção. Mas suas características revelam potencial para as mais diversas aplicações, tais como: construções de estruturas esbeltas, elementos protendidos de menores dimensões, elementos arquitetônicos para fachadas, cascas, etc. De elevada durabilidade, pode ser utilizado na construção de estruturas de conten-



► **Figura 4**  
Formação de microfissuras no UHPFRCC submetido à tração axial

ção de agentes contaminantes, nucleares, e também para proteção contra impactos e explosões. Estruturas afetadas por ações dinâmicas podem ser reforçadas com UHPFRCC.

Entretanto, cada nova proposta de utilização do UHPFRCC deve ser avaliada a partir de análises experimentais e numéricas, obtendo-se dados consistentes para proposição de métodos de cálculo estrutural e elaboração de normas técnicas para tornar amplo o uso deste novo material. ◀

#### ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Li, V. C. Engineered Cementitious Composites(ECC)- Tailored composites through micromechanical modeling. in *Fiber Reinforced Concrete: Present and the Future*, N. Banthia, A. Bentur, and A. Mufti, Eds., Canadian Society of Civil Engineers, 1998.
- [2] Kwon, S.; Nishiwaki, T.; Kikuta, T.; Mihash, H. Development of Ultra-High-Performance Hybrid FiberReinforced Cement-Based Composites. *ACI MATERIALS JOURNAL* /May-June 2014 pp. 309-318.
- [3] Salvador Filho, J. A. A., Nuti, C., Santini, S., Lavorato, D., Azeredo, Jeferson da R. Mechanical properties of HPFRCC reinforced with different types and volumes of fibres. *Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto, CBC2016 – 58CBC2016*
- [4] Wille, K.; El-TAWIL, S.; Naaman, A.E.; Properties of strain hardening ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHP-FRC) under direct tensile loading. *Cement & Concrete Composites* 48, 2014.
- [5] JSCE Concrete Committee. Recommendations for design and construction of high performance fiber reinforced cement composites with multiple fine cracks (HPFRCC). 2008.



# Currículo de engenharia civil e mercado

JOSÉ MARQUES FILHO – PROFESSOR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## I. INTRODUÇÃO

A sociedade atual, com grande concentração urbana formada muitas vezes por metrópoles com vários milhões de habitantes, depende totalmente da infraestrutura civil instalada. É impossível manter o tecido social sem o fornecimento de água, moradia, energia, retirada de dejetos, logística de transporte, abastecimento de alimentos e insumos. Esse desafio no Brasil é aumentado pela grande quantidade de pessoas que devem ter sua qualidade de vida melhorada e incorporada ao processo produtivo digno.

Hoje são claros os gargalos de infraestrutura que o país apresenta, limitando seu crescimento, a geração de riqueza e a capacidade produtiva, impedindo a melhoria da condição de

subsistência da sociedade. Essa necessidade indica o que a sociedade requer dos engenheiros que são formados, incluindo planejamento adequado, soluções inovadoras e módicas. Essa abordagem requer conhecimento técnico sedimentado, capacidade de inovação e criatividade, e todos esses ingredientes deveriam fazer parte do curso de engenharia civil.

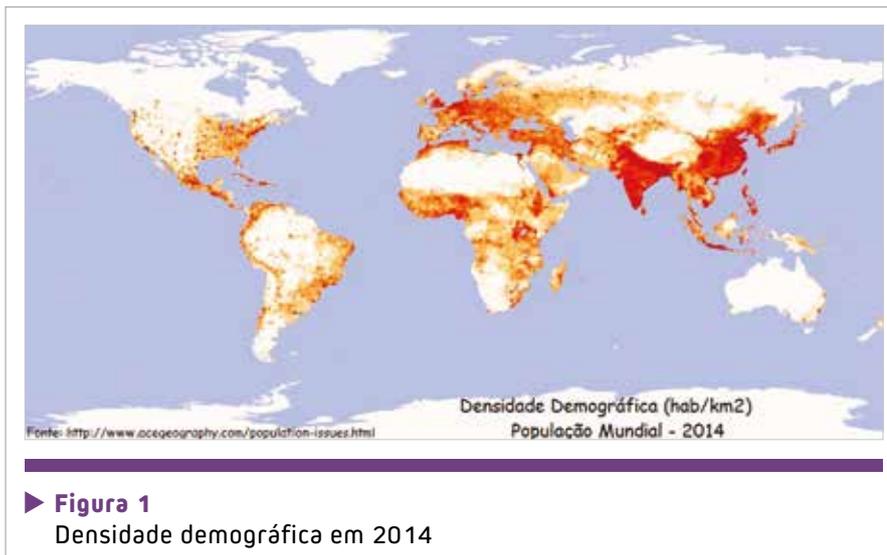
O engenheiro civil é basicamente um empreendedor que resolve problemas da sociedade, tendo seu foco nos desejos dela, e empreender requer a capacidade de movimentar grande parte do mecanismo social, gerando condições para o investimento de capital, análise e mitigação de riscos, minimização do impacto socioambiental e a geração de estruturas seguras, duráveis e com custo adequado.

Uma discussão do mercado e do perfil do engenheiro necessário para nossa sociedade é sadia e deve ser ampla, pois dela obtém-se a grade curricular que satisfaria esses condicionantes.

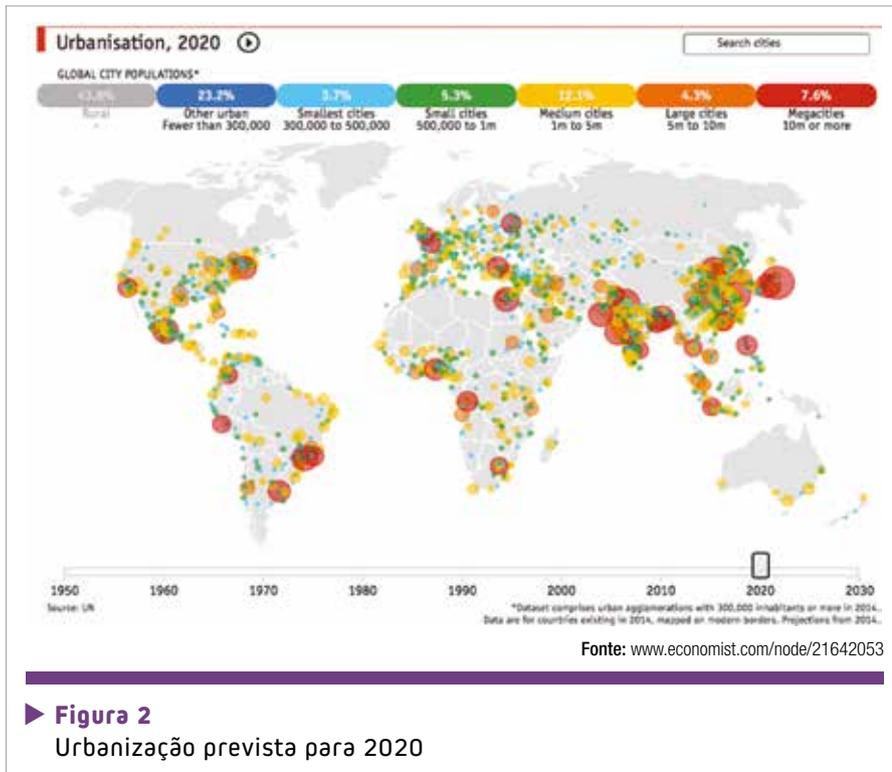
## 2. ANÁLISE SITUACIONAL

A sociedade humana atual está, em grande parte distribuída no globo em concentrações urbanas, com vários milhões de pessoas coexistindo em espaços físicos reduzidos. O adensamento cria a necessidade de distribuição de água, energia, alimentos, moradia, mobilidade, saúde e emprego em regiões cujas áreas e recursos existentes não seriam suficientes para a garantia de sobrevivência digna. A Figura 1 apresenta a distribuição da população humana e a Figura 2 mostra a urbanização existente evidenciando a grande concentração em áreas relativamente pequenas.

Verifica-se que há uma quantidade expressiva de conglomerados urbanos com população superior a 1 milhão de habitantes no mundo e esse comportamento se repete no Brasil, onde nos últimos 50 anos houve uma migração importante da população rural para as cidades, pressionando os recursos naturais existentes. As necessidades de fornecimento de água, energia, moradia, vias de transporte e logística de suprimento são cada vez mais importantes, e o destino e tratamento de



► **Figura 1**  
Densidade demográfica em 2014



► **Figura 2**  
Urbanização prevista para 2020

dejetos têm urgência de estudos com sofisticação crescente. Essa distribuição populacional e a manutenção do tecido social são totalmente dependentes da infraestrutura existente, e, portanto, das atividades de engenharia,

quer na execução de novos projetos quanto na operação e manutenção dos empreendimentos existentes.

As mudanças em tela são relativamente recentes e o aumento populacional teve seu gradiente de crescimento acentuado nos últimos 300 anos, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 3. Pode-se observar que o intervalo de tempo considerado pelos estudos da Or-

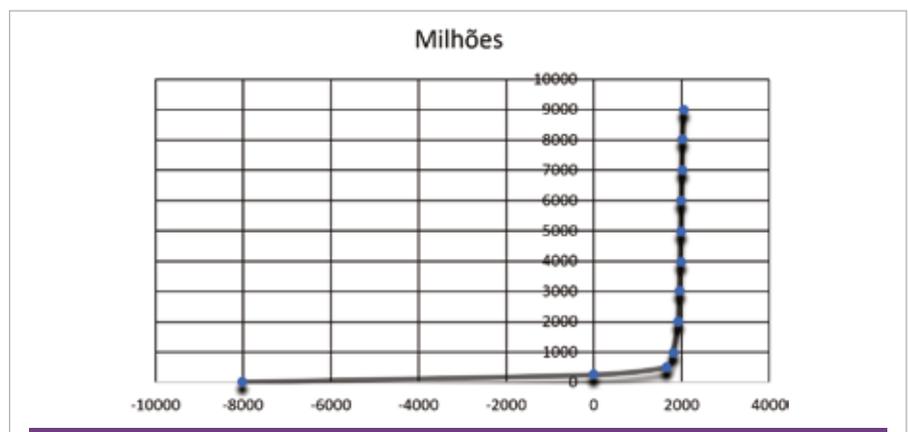
ganização das Nações Unidas apresenta um aumento de 1 bilhão de habitantes entre 2011 e em torno de 2025, criando uma pressão considerável sobre a infraestrutura existente, aumentando a necessidade de ação dos engenheiros civis.

Os estudos populacionais de vários organismos, incluindo a ONU, são resumidos em 3 cenários distintos, considerando os limites físicos, educação, conflitos, pragas e doenças. No cenário médio, considerado mais provável, a população ultrapassaria 9 bilhões de habitantes num intervalo de tempo relativamente curto, conforme apresentado na Figura 4.

O acréscimo de 2 bilhões de seres humanos deverá ocorrer em países pobres e em desenvolvimento, que já contam com infraestrutura precária ou inexistente, levando à necessidade de investimento em novos empreendimentos a curto e médio prazos. Aliado a esse fato, a distribuição das condições de conforto e renda ainda é muito desigual e grande parte da humanidade não possui condições de vida digna e com condições sanitárias minimamente adequadas. No Brasil, esse fato é ainda muito importante, com desigualdade social em termos de acesso à infraestrutura civil muito relevantes. Portanto, somada à necessidade de

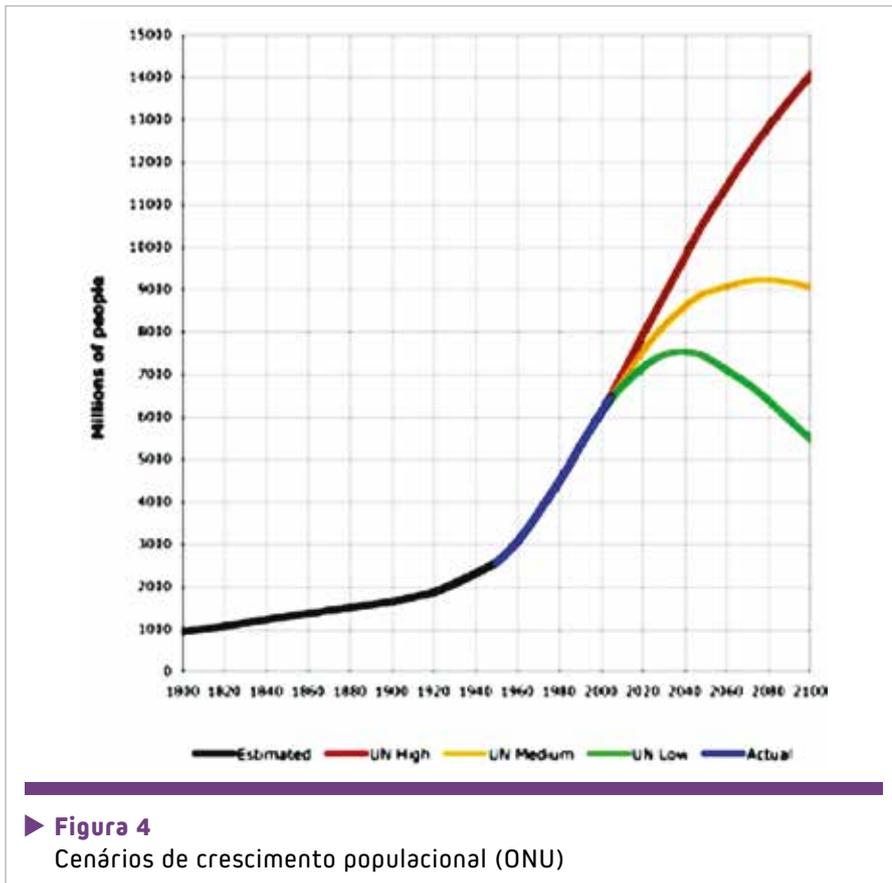
► **Tabela 1 – Evolução da população mundial**

Ano	Milhões	História
-8000	5	AC
1	250	DC
1650	500	
1804	1000	
1927	2000	
1960	3000	
1974	4000	
1987	5000	
1999	6000	
2011	7000	
2025	8000	
2043	9000	



► **Figura 3**  
Evolução da população mundial



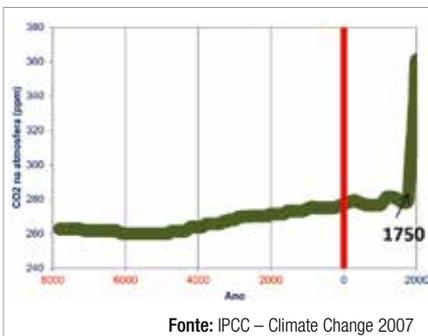


► **Figura 4**  
Cenários de crescimento populacional (ONU)

fornecimento de benefícios gerados pelas obras civis ao crescimento populacional, existe uma necessidade de atendimento a uma parcela significativa da sociedade.

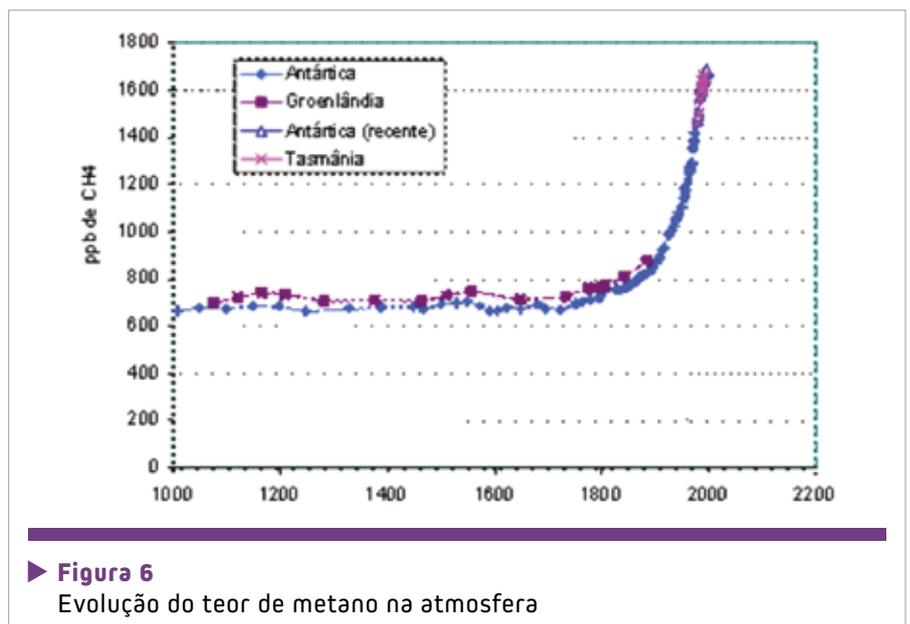
Juntamente com as necessidades anteriormente descritas, a preocupação com as mudanças climáticas indica que as pressões sobre a disponibilidade de recursos hídricos serão crescentes e de previsão complexa. Como mais de

50% da produção de alimento mundial depende de irrigação e as disponibilidades de água para consumo humano, dessedentação de animais e geração energia são essenciais à vida, tem-se a necessidade de estudos sobre as con-



Fonte: IPCC – Climate Change 2007

► **Figura 5**  
Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera



► **Figura 6**  
Evolução do teor de metano na atmosfera

seqüências dessas alterações na dinâmica atmosférica. De forma, semelhante ao gráfico do crescimento populacional apresentado na Figura 3, pode-se, através de estudos climáticos em rochas e em geleiras, obter a evolução da presença de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, cujos resultados mais aceitos pela comunidade técnica internacional estão apresentados nas Figuras 5 e 6.

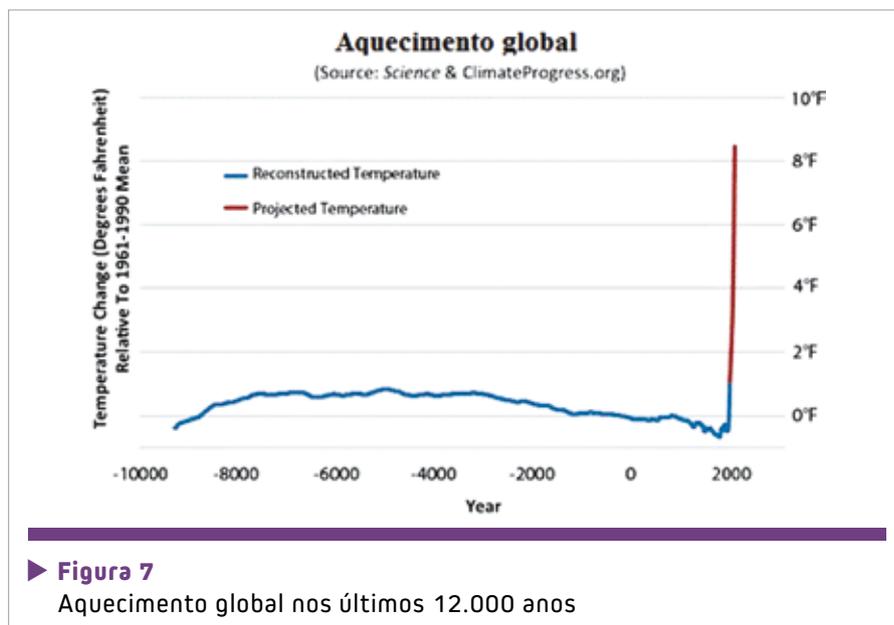
Observa-se um aumento significativo dos gases do efeito estufa, bem como se verifica um aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, como cheias e secas intensas, aumento da intensidade de chuvas e ventos, e, também, um aumento do derretimento do gelo das camadas polares e de várias regiões do planeta. O *International Panel on Climate Change* (IPCC), da ONU, em seu relatório de 2014, indica que já se prova estatisticamente que as mudanças climáticas têm origem antropogênica, prevendo mudanças no regime de chuvas, indicando a necessidade de manejo dos recursos hídricos e proteção da infraestrutura existente.

Em resumo, o crescimento populacional e o aquecimento global (ver

Figura 7) indicam a necessidade de estudos para avaliação de seus efeitos e de novas obras hidráulicas, impulsionando pesquisas e análises de armazenamento, transporte e distribuição de água e de energia sem emissões, bem como devem ser previstas proteções contra cheias de magnitude importante. Essas necessidades impulsionam as atividades da Engenharia Civil e devem orientar o curso para uma visão de sustentabilidade em todas as suas disciplinas.

A necessidade de estudos preventivos com visão de sustentabilidade nas soluções adotadas, aliada a uma visão de crescimento da demanda de empreendimentos civis relevantes, orienta a expectativa da sociedade em relação ao curso de Engenharia Civil. Em contrapartida, as últimas décadas sofreram um impacto importante do desenvolvimento tecnológico e da informática sem precedentes na história da humanidade. Depois do salto na oferta e tipologia de equipamentos colocados à disposição logo após a Segunda Guerra Mundial, o impacto da aplicação da tecnologia nos últimos 30 anos mudou drasticamente os processos de geração de infraestrutura. O conhecimento da microestrutura dos materiais, a nanotecnologia, a tecnologia de aditivos e adições do concreto, a instrumentação do comportamento estrutural, os processos de modelagem numérica, os processos integrados de projeto são ferramentas importantes e serão largamente empregados, devendo ser agregados ao conhecimento disponibilizado ao engenheiro contemporâneo.

Sob o ponto de vista atitudinal, os alunos de engenharia estão imersos numa sociedade com automação crescente, acesso à informação quase imediata, relacionamento interpessoal constante e diverso, mudando a concepção de aprendizagem. Surge o de-



► **Figura 7**  
Aquecimento global nos últimos 12.000 anos

safio da adaptação de novos processos de ensino que sejam eficazes com as novas gerações e que evitem que a mera aplicação de processos automáticos seja o foco do aprendizado, ao invés do conceito físico envolvido.

Com as discussões previamente apresentadas, conclui-se que o processo de Engenharia Civil, e, obviamente incluindo Arquitetura, deve prover soluções com consideração dos princípios básicos da sustentabilidade, com alguns pontos diferenciados, abaixo considerados.

- Soluções minimizando a utilização de materiais não renováveis e a emissão de gases do efeito estufa durante o ciclo de vida dos empreendimentos;
- Aumento da durabilidade, diminuindo a pressão sobre a reconstrução e reutilizando as estruturas existentes, e, obviamente, com projetos que permitam multiusos conforme a necessidade que se apresenta ao longo do tempo;
- Desenvolvimento de novos materiais;
- Reciclagem efetiva de materiais e diminuição do desperdício;
- Otimização dos projetos, com sistemas unificados de informação e verificação de conflitos, com base

de dados comuns desde as investigações preliminares até a operação, passando pelo projeto e construção;

- Gerenciamento de projetos focados nos processos de otimização e minimização de impactos;
- Novos sistemas construtivos, com menor penosidade para os envolvidos e o entorno;
- Minimização de impactos socioambientais;
- Análises hidrometeorológicas com a perspectiva de mudanças ambientais para garantia da segurança hídrica;
- Tratamento de dejetos e resíduos;
- Urbanismo integrado que minimize o impacto ambiental, procurando de forma holística diminuir a pegada ecológica, considerando a questão socioeconômica;
- Visão integrada e holística do desenvolvimento da infraestrutura e suas consequências socioeconômicas;
- Reforço dos conceitos físicos e matemáticos;
- Planejamento integral da infraestrutura considerando os limites ambientais, a pegada ecológica de cada tipo de solução, a melhoria das condições de vida e parâmetros econômico-financeiros.



### 3. SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS DE MERCADO DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL

Uma das maneiras mais eficazes de se analisar as perspectivas da Engenharia para validar seu currículo é comparar a situação do país perante outras nações. A Figura 8 apresenta a proporção de Profissionais de Engenharia e Técnicos em relação à população.

A situação apresentada indica que o posicionamento do país é muito inferior à curva ajustada, mostrando uma deficiência relativa a outras nações. Com a possível correlação entre riqueza e quantidade de engenheiros, verifica-se que, para o atingimento de um equilíbrio sustentável da população, há a necessidade de aumento do número desses profissionais. Essa constatação é agravada, pois a comparação é efetuada com países com infraestrutura mais adequada que a brasileira. Em países onde os processos de

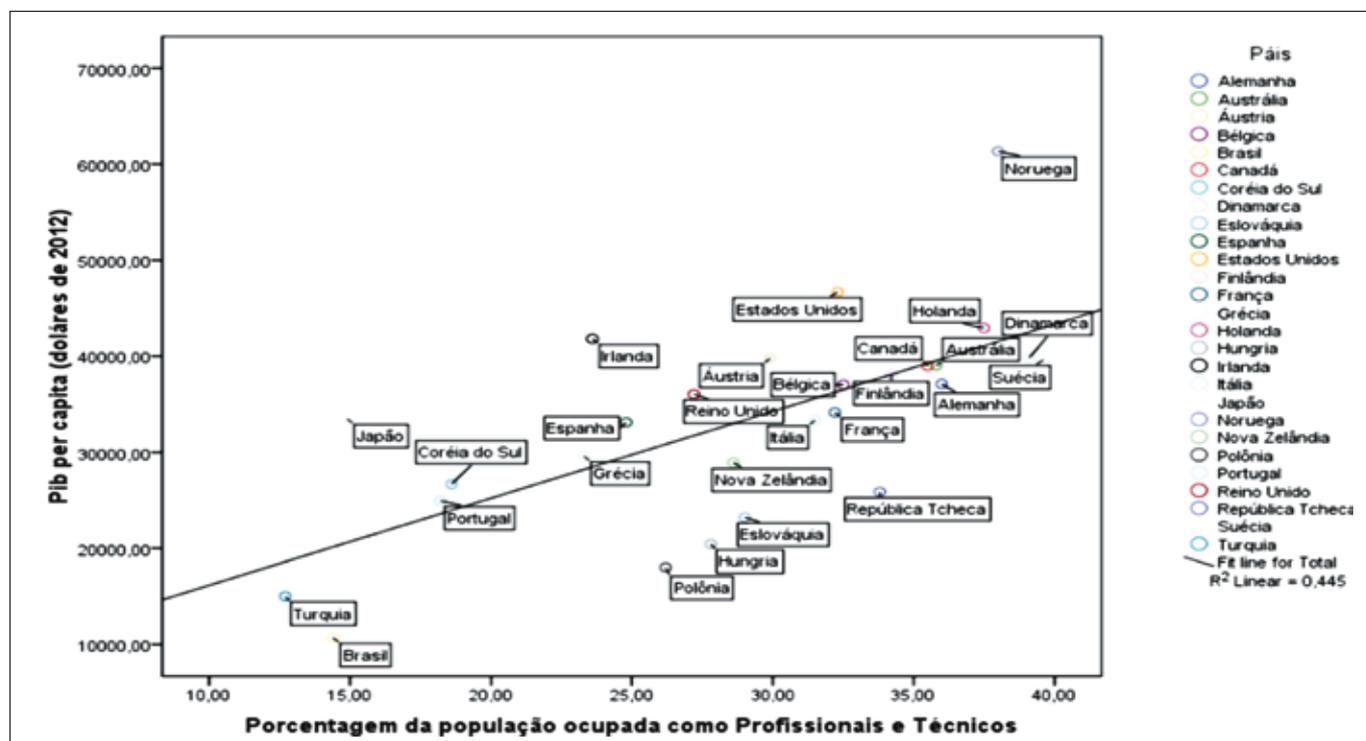
manutenção da infraestrutura são mais importantes que a necessidade de novos empreendimentos, haveria a natural necessidade de menos engenheiros civis por habitante, caso que não ocorre no Brasil. Portanto, a necessidade de formação dos engenheiros em nosso país seria naturalmente diferente dos países desenvolvidos, não se aplicando as regras e escolhas contidas em suas grades curriculares.

O Censo da Educação Superior, produzido pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (INEP) do Ministério da Educação, mostra que discrepância apresentada vem lentamente se corrigindo, pois, em 2000, havia 7,29 engenheiros por 10.000 habitantes e, em 2012, essa razão passou para 13,48 (OIC, 2013). Com a recessão atual, seria interessante avaliar o efeito na relação considerando os profissionais realmente ocupados com a engenharia.

Observa-se que a procura pelos

cursos de engenharia vem aumentando e o mesmo censo anteriormente mencionado mostra que o número de vagas de engenharia subiu entre 2000 e 2012, crescendo 384%, valor maior que os 172% de aumento do total de vagas no ensino superior no mesmo período. No mesmo intervalo, o número de inscritos passou de 6,2% do total de postulantes à universidade para 13,2%, enquanto respectivamente a quantidade de vagas percentuais para as engenharias passou de 5,8% para 10,4%. Esses últimos dados indicam um aumento da atratividade da carreira entre 2000 e 2012.

Em termos absolutos, o Brasil em 2012 possuía 344.425 vagas de engenharia, com 224.087 ingressantes e 54.173 concluintes, sendo que esse último valor indica a formação de 2,79 engenheiros para cada 10.000 habitantes. Comparado com os países desenvolvidos, como ao Coréia do Sul (19,16),



► **Figura 8**  
Relação entre profissionais de engenharia e técnicos em relação à população em 2012

Espanha (10,04), Itália (8,36), Estados Unidos (5,22), a quantidade de engenheiros formados no país é modesta.

Apesar da criação intensa de vagas desde o início dos anos 2000, já se evidencia a existência de evasão significativa nos cursos de engenharia. O Censo do Ensino Superior do INEP apresenta que, em 2012, a taxa de evasão era em torno de 25%, bastante alta quando comparada com os 2,5% dos cursos de medicina, cujo público é mais elitizado pela taxa elevada de candidatos por vaga e a perspectiva de ganhos garantidos ao longo da vida do profissional. A evasão é também muito grande em comparação com outros países. Dados do *World Bank* mostram que, em 2013, no Brasil estavam matriculados 516.287 estudantes, enquanto no Japão haviam 483.120, e nos Estados Unidos 749.295. No mesmo ano concluíram no Brasil 41.112 profissionais contra 90.048 no Japão e 99.455 nos EUA, confirmando a evasão e dificuldade de término do curso.

Esse valor de evasão pode ser, de forma preliminar, gerado pelo desempenho inadequado em matemática do ensino médio, demonstrado pelo Programa Internacional de Avaliação de Alunos de 2012 (PISA), da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Nesse estudo, o Brasil ocupa a 33ª posição entre 38 países com avaliação inferior à metade da média, sendo que a maioria dos países têm maior relação entre a quantidade de engenheiros e sua população.

Em termos de mercado de trabalho, no intervalo de tempo entre 2000 e 2012, o Brasil passou por período de retomada econômica, sendo que a quantidade de engenheiros, a grosso modo, dobrou no período, atingindo em torno de 40.000 profissionais. Após esse período, a situação do país se deteriorou e hou-

ve uma significativa redução da atividade econômica, impactando diretamente na construção civil. No seminário “Formação e Emprego de Engenheiros no Brasil: Tendências Atuais”, em 2014, discutiu-se a necessidade de engenheiros no país para vários cenários de crescimento econômico, e existiria uma probabilidade significativa de excesso de engenheiros no mercado. Essa conclusão merece ser analisada com reservas. A porcentagem de engenheiros na população, comparada com o perfil de outros países, mostra que a aplicação de inovação, utilização de tecnologia e desenvolvimento de produtos é fundamental para a geração de riqueza e mudança do perfil socioeconômico brasileiro.

Assim sendo, como já discutido no evento logo acima mencionado, além da quantidade, a qualidade dos engenheiros formados deve ser observada. Sempre tomando o cuidado com generalizações e sabendo-se da existência de exceções de excelência no país, tomando como base o ENADE (Exame Nacional de Desempenho de Estudantes), verifica-se que as notas dos alunos das universidades públicas concentram-se entre 4 e 5, enquanto os das instituições privadas atingem em sua maioria notas 2 e 3. Em nome da justiça de julgamento, deve ser ressaltado que existem excelentes instituições de ensino superior particulares no país. Nos últimos anos, o aumento da oferta de novos cursos chegou à situação onde mais de dois terços dos cursos existentes estão em instituições privadas. As provas em geral são simples e básicas, com problemas às vezes dissociados da realidade do exercício profissional. Em 2012, dos engenheiros atuando no país, apenas 6% dos engenheiros possuíam mestrado ou doutorado, e desses, grande parte trabalhava

com educação e administração pública. A produtividade de docentes também deve ser observada, sendo que o *World Bank* indicou que, em 2013, para cada 100 professores dos cursos de engenharia, no Brasil publicou-se em média 6 artigos, no Japão 28 e nos Estados Unidos 64. Para uma maior precisão da questão da formação de engenheiros, poderia ser realizada análise complementar avaliando a interação da academia com a indústria e a comunidade técnica, verificando se a academia insere novos profissionais com as características necessárias às diversas modalidades do setor produtivo.

#### 4. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

Nos últimos quarenta anos, o currículo mínimo do curso de Engenharia Civil vem sofrendo mudanças significativas no foco, carga horária e na base formativa, o que, em parte, é natural pela evolução tecnológica e social. Porém, algumas considerações merecem ser apresentadas para uma análise da adequabilidade dos currículos atuais. Nas décadas de 1960 e 1970, os cursos possuíam cargas horárias mais elevadas que as atualmente adotadas.

O Curso que eu fiz possuía em torno de 5.700 horas aulas totais, que é em torno do dobro do currículo mínimo atual, mas somente aulas a mais não formam um parâmetro comparativo. Deve-se avaliar se o que foi retirado no tempo foi importante. O curso tinha caráter formativo com algumas características interessantes, como a existência de dois anos básicos com disciplinas gerais, incluindo matemática e física muito sedimentadas, e os cursos básicos de Desenho e Geometria, Mecânica dos Fluidos,



Resistência dos Materiais, Iniciação aos Materiais de Construção, Mecânica dos Solos e Química. Formava-se um arcabouço científico importante, estruturando a formação tecnológica, deixando o aluno preparado para o entendimento das disciplinas profissionalizantes e suas complexidades, fornecendo tempo para o entendimento do mecanismo envolvido. Os cursos eram abrangentes, mostrando a base de conhecimento para a execução de edificações, pontes, obras protendidas, portos e demais obras de arte, que eram complementados pela execução de projetos com simulação de situações reais durante o curso. Além dessa formação com visão abrangente, o processo de formação era completado nos estágios e durante a vida profissional, num processo de treinamento contínuo que levava inicialmente a uma especialização dentro das diversas áreas do conhecimento da Engenharia Civil.

Entre essa época e os dias atuais, tivemos duas grandes crises econômicas e hoje o país vivencia outra. Houve uma diminuição brusca de investimentos e, com isso, uma diminuição da necessidade de serviços de engenharia e desprestígio da profissão, com fuga de talentos. Simultaneamente, com as restrições orçamentárias, pressão pelo aumento de universitários e limitação do campo de

trabalho, o total de horas e de disciplinas foram diminuindo ao longo do tempo e o curso se concentrando em edificações e pequenas obras. Hoje se observa que várias disciplinas como Concreto Protendido, Pontes e Obras Hidráulicas passaram a ser optativas e as disciplinas formativas foram reduzidas. Os cursos profissionalizantes reduziram a carga teórica, concentrando-se em procedimentos de cálculo e processos.

Essa redução teve como consequência a diminuição da bagagem teórica, com o consequente aumento da insegurança e diminuição da capacidade de inovação e criatividade. Apesar da melhoria significativa da pesquisa nas universidades, principalmente nas públicas, o foco na graduação às vezes diminui pela necessidade de produção docente. Esse fato e o aumento do número de turmas, alunos e orientandos podem ser fatores que fragilizam ainda mais a situação gerada pelas mudanças curriculares das últimas décadas. Sem dúvida, a função primordial dos cursos é a formação de profissionais engenheiros civis que satisfaçam às necessidades da sociedade, e uma discussão maior do assunto é urgente e necessária num país carente de infraestrutura civil.

O perfil dos alunos nas últimas décadas também mudou, seguindo as alterações socioculturais geradas pela concentração urbana, necessidade de

trabalho familiar, disponibilidade de informação e novas tecnologias. Os processos mentais e o comportamento social são diferentes, com algumas novas potencialidades interessantes. Qualquer discussão de currículo deve ter simultaneamente consideradas as abordagens didático-pedagógicas que favoreçam a atenção e a empenhamento com o curso que se transformarão em aprendizado. Também deve considerar o treinamento para as tomadas de decisão contínuas da profissão e a conscientização de sua importância e responsabilidade numa atividade que atua com o patrimônio e a segurança das pessoas. Tarefas complexas numa sociedade hoje com recursos financeiros e humanos limitados

A discussão da grade curricular hoje é necessária para que o esforço gasto na formação de uma categoria indispensável à sociedade atinja plenamente seu potencial e capacidade de geração de benefícios. Também parece fundamental a adaptação e o ajuste contínuo às mudanças tecnológicas e sociais que se desenvolvem exponencialmente e são indissociáveis da capacidade de aprendizado. A criação de condições que favoreçam a inovação aplicada e a criatividade deve ser decorrente da formação integral dos novos profissionais, que são os fatores que geram valor no mundo atual. 

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACEGEOGRAPHY – Population Density, em <http://www.acegeography.com/population-issues.html>, acessado em 02/02/2017.
- [2] CAPELATO, R.; MORELLI, C. – Mapa do Ensino Superior no Brasil 2015 – Sindicato das Mantenedoras de Ensino Superior – São Paulo: 2015.
- [3] CFM - CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA - No Brasil, Número de Escolas Privadas de Medicina Cresce Duas Vezes mais Rápido que o de Cursos Públicos – acessado em 23 de julho de 2017, Brasília: 2015.
- [4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC - Climate Change Fourth Assessment Report, Genebra: 2007.
- [5] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC - Climate Change Fifth Assessment Report, Genebra: 2014.
- [6] OLIVEIRA, V. F.; ALMEIDA, N. N.; CARVALHO, D. M.; PEREIRA, F. A. A. - Um Estudo sobre a Expansão da Formação em Engenharia no Brasil - Revista de Ensino de Engenharia da ABENGE, Brasília – DF: ABENGE, 2013, edição especial.
- [7] SALERNO, M. S.; LINS, L. M.; GOMES, L. A. V.; BOTTAN, T. - Tendências e Perspectivas da Engenharia no Brasil - OIC – Observatório da Inovação e Competitividade IAE/USP, São Paulo: 2014.

# Inovação em estruturas com concreto de ultra-alto desempenho na América do Norte

V.H. PERRY

V.iCONSULT INC.

G. A. PARSEKIAN

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

N. G. SHRIVE

UNIVERSIDADE DE CALGARY – CANADÁ

## I. INTRODUÇÃO

comitê ACI 239 propõe a definição para o concreto de ultra-alto desempenho (CUAD) : “... é um material de cimento, um tipo de concreto que possui resistência a compressão mínima de 150 MPa, com requisitos mínimos de durabilidade, elasticidade, ductilidade e tenacidade; fibras são geralmente incluídas para alcançar os requisitos especificados”. Normalmente, esse material contém areia muito fina (< 400 microns), pó de quartzo moído, cimento Portland, sílica ativa e 2% de fibras (geralmente as fibras de aço de 12 mm e diâmetro de 0,2 mm). Devido à durabilidade e propriedades de ductilidade desses materiais, a utilização do CUAD está aumentando em construções de infraestrutura que exigem alta durabilidade com pouca manutenção.

Uma visão geral sobre a história recente da utilização do CUAD está disponível em Perry (2014) e é brevemente resumida a seguir. Vários casos de construção de pontes são relatados. Todos contêm armaduras



▶ **Figura 1**  
Primeira ponte em CUAD, construída em Sherbooke-Canadá (Perry, 2014)

longitudinais ou cabos de protensão para resistir ao esforço de flexão. No entanto, pontes já foram construídas nas quais o CUAD resiste integralmente ao cisalhamento, sem a necessidade de estribos. No Canadá, apesar de algumas vigas terem sido projetadas exclusivamente com CUAD para construção de pontes para pedestres, em todas as pontes rodoviárias o CUAD foi utilizado apenas nas ligações entre elementos pré-moldados. Nos EUA há pontes rodoviárias construídas utilizando CUAD para tabuleiros em laje nervurada em painéis pré-moldados, vigas pré-moldadas e ligações.

Neste artigo apresenta-se uma breve história sobre o uso do CUAD

no Canadá e nos Estados Unidos, incluindo a descrição de alguns casos notáveis.

## 2. BREVE HISTÓRIA

Desde 1997, quando a primeira ponte em CUAD foi construída em Sherbooke, no Canadá (Figura 1), várias utilizações desse material foram observadas em construções em todo o Canadá e nos Estados Unidos. Os primeiros casos foram elementos pré-moldados leves, como as coberturas para estação de trem em Calgary – Canadá (2004), ou prefabricados de pontes para pedestres, como a de Calgary – Canadá (2007). Esses dois casos foram ensaiados na Universidade de Calgary e são brevemente apresentados adiante.

A primeira ponte rodoviária, a ponte do Condado de Wapello Mars Hill, foi concluída nos Estados Unidos em 2006. O sistema estrutural da ponte usa várias vigas longitudinais, totalmente pré-fabricadas como elementos únicos. A construção dessa ponte e casos subsequentes foram facilitados e acelerados

pela pesquisa iniciada em 2001 pelo *US Federal Highway Administration* (FHWA).

Com o aumento da resistência à compressão e à tração do concreto, aumenta também a resistência de aderência entre o concreto e a armadura. Isto reduz o comprimento de ancoragem da armadura. Assim, o comprimento de traspasse é também reduzido, facilitando ligações entre dois elementos de concreto pré-moldado. Outra aplicação recente é o uso do CUAD para concretagem no local de ligações entre elementos pré-moldados de ponte. Este uso foi investigado pelo Ministério dos Transportes de Ontário (MTO), com o primeiro caso construído em Rainy Lake – Canadá (2006). Desde então, mais de 70 pontes foram concluídas

usando ligações moldadas no local com uso do CUAD, com um número crescente a cada ano, no Canadá e nos EUA.

Mais recentemente lajes nervuradas pré-moldadas com CUAD foram introduzidas na construção de tabuleiros de ponte. O primeiro caso de tabuleiro totalmente executado em CUAD, com painéis de laje nervurada pré-moldados, que também usam ligações moldadas no local em CUAD, é a ponte do Condado de Wapello em Iowa – EUA (2011).

Uma lista de aplicações do CUAD na América do Norte é apresentada nas Tabelas 1a e 1b, adaptadas da publicação FHWA-HRT-13-060. Casos na Europa e Austrália também são apresentados na referência, mas não estão listados aqui.

### 3. CASO I: COBERTURAS DA ESTAÇÃO DE TREM

A cobertura da estação em forma de concha foi concebida como uma série de cascas pré-moldadas de 20 mm de espessura, cada uma apoiada em uma única coluna, também pré-moldada. O desafio do projeto da casca foi balancear a espessura mínima requerida para facilitar a injeção do material num molde de seção fina, tendo em vista que uma espessura menor implicaria menor peso e menos consumo de material.

O protótipo em escala de um painel único (Figura 2) foi testado na Universidade de Calgary para as cargas ponderadas determinadas. A cobertura resistiu a carga de neve máxima e de transporte das peças sem dano. Ensaios dinâmicos

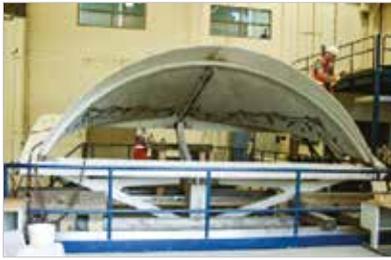
► Tabela 1a – Lista de aplicações do CUAD na América do Norte (publicação nº FHWA-HRT-13-060)

Estados Unidos da América		
Mars Hill Bridge, Wapello County, IA	2006	Três vigas T de 45" de altura
Route 624 over Cat Point Creek, Richmond County, VA	2008	Cinco vigas T de 45" de altura
Jakway Park Bridge, Buchanan County, IA	2008	Três vigas PI de 33" de altura
State Route 31 over Canandaigua Outlet, Lyons, NY	2009	Ligações entre tabuleiros em painéis T
State Route 23 over Otego Creek, Oneonta, NY	2009	Ligações entre tabuleiros pré-moldados
Little Cedar Creek, Wapello County, IA	2011	Catorze lajes nervuradas pré-moldadas de 8" de altura
Fingerboard Road Bridge over Staten Island Expressway, NY	2012	Ligações entre tabuleiros em painéis T
State Route 248 over Bennett Creek, NY	2011	Ligações entre tabuleiros em painéis T
U.S. Route 30 over Burnt River and UPRR bridge, Oregon	2011	Ligações de conectores de cisalhamento e ligação entre painéis longitudinais
U.S. Route 6 over Keg Creek, Pottawatomie County, IA	2011	Ligações longitudinais e transversais entre vigas
Ramapo River Bridge, Slootsburg, NY	2011	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada
State Route 31 over Putnam Brook near Weedsport, NY	2012	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada
State Route 42 Bridges (2) near Lexington, NY	2012	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada e conectores de cisalhamento
I-690 Bridges (2) over Peat Street near Syracuse, NY	2012	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada
I-690 Bridges (2) over Crouse Avenue near Syracuse, NY	2012	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada
I-481 Bridge over Kirkville Road near Syracuse, NY	2012	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada
Windham Bridge over BNSF Railroad on U.S. Route 87	2012	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada e conectores de cisalhamento para vigas

▶ Tabela 1b – Lista de aplicações do CUAD na América do Norte (publicação nº FHWA-HRT-13-060)

Canadá		
Sherbrooke Pedestrian Overpass, Quebec	1997	Treliça espacial protendida e pré-moldada
Highway 11 over CN Railway at Rainy Lake, Ontario	2006	Ligações entre tabuleiros pré-moldados em laje nervurada e conectores de cisalhamento
Glenmore/Legsby Pedestrian Bridge, Calgary	2007	Viga pré-moldada protendida em seção T
Highway 11/17, Sunshine Creek, Ontario	2007	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Highway 17, Hawk Lake, Ontario	2008	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Sanderling Drive Pedestrian Overpass, Calgary	2008	Viga pré-moldada em seção T
Highway 105 over Buller Creek, Ontario	2009	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Highway 71 over Log River, Ontario	2009	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Route 17 over Eagle River, Ontario	2010	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
La Vallee River Bridge, Ontario	2010	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Highway 105 over Wabigoon River, Ontario	2010	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Highway 105 over the Chukuni River, Ontario	2010	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Highway 17, Ontario	2010	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Mathers Creek Bridge on Highway 71, Ontario	2010	Ligações laterais entre vigas
Noden Causeway on Highway 11, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas
Highway 17 over Current River, Ontario	2011	Ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Mackenzie River Bridges (2) on Highway 11/17, Ontario	2011	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Wabigoon River Bridge on Highway 605, Ontario	2011	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Whiteman Creek Bridge on Highway 24, Ontario	2011	Conectores de cisalhamento e ligações longitudinais e transversais entre painéis pré-moldados. Ligações entre estacas H e apoios laterais pré-moldados
Shashawanda Creek Bridge, Ontario	2011	Conectores de cisalhamento e ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Hodder Ave Overpass over Highway 11/17, Ontario	2012	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Hawkeye Creek Bridge on Highway 589, Ontario	2012	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Hawkeye Creek Tributary Bridge on Highway 589, Ontario	2012	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Black River Bridge on Highway 17, Ontario	2012	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Beaver Creek Bridge on Highway 594, Ontario	2012	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Middle Lake Bridge on Highway 17A, Ontario	2012	Ligação de calçada e peitoril pré-moldado e lajes
Jackpine River Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Bug River Bridge on Highway 105, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Beaver Creek Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Sturgeon River Bridge on Highway 11, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Blackwater River Bridge on Highway 11, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Nugget Creek Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Little Wabigoon Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Melgund Creek Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
McCauley Creek Bridge on Highway 11, Ontario	2013	Ligações laterais entre vigas e da ligação de calçada e peitoril pré-moldado
Little Pic River Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Jackfish River Bridge on Highway 17, Ontario	2013	Conectores de cisalhamento e as ligações de painéis
Westminster Drive, Ontario	2014	Ligações longitudinais para conectar os módulos de superestrutura





► **Figura 2**  
Protótipo da cobertura em escala real (Adeeb et al., 2005)

foram realizados para determinar a frequência de vibração natural, que resultou em valores menores previstos por um estudo anterior em elementos finitos. Uma visão geral da cobertura da estação finalizada é mostrada na Figura 3.

#### 4. CASO 2: PONTE PARA PEDESTRES

Uma viga pré-moldada de 33,6m em seção T para uma ponte para pedestres foi construída em Calgary em 2007. A ponte estende-se através de 8 pistas de tráfego. A viga tem 1,1 m de altura no meio do vão com tabuleiro de 3,6 m de largura e pesa cerca de 100 toneladas. Barras de fibra de vidro e de aço inoxidá-



► **Figura 3**  
Cobertura da estação após conclusão (Adeeb et al., 2005)

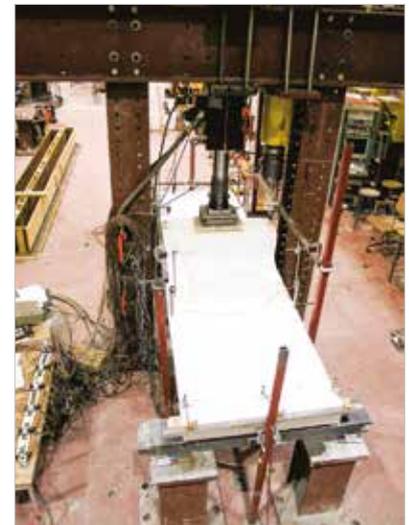
► **Tabela 2 – Propriedades dos materiais**

Propriedade	Resultado	Resultado
Concreto de ultra-alto desempenho – após tratamento térmico	Fibra de aço	
	Porcentagem por volume, %	2,0
	Diâmetro, mm	0,2
	Comprimento nominal, mm	13
	Resistência à tração, MPa	2.500
	Módulo de elasticidade, MPa	205.000
	Resistência à compressão MPa	#1: 222 ± 6 #2: 233 ± 5 #3: 234 ± 6
	Resistência à tração na primeira fissura – MPa	8
	Densidade kN/m <sup>3</sup>	25
	Resistência à tração N/mm <sup>2</sup>	30 to 50

vel foram utilizadas como armadura passiva redundante, reforçando o CUAD. Três seções de ponte foram construídas e testadas estática e dinamicamente (fadiga) na Universidade de Calgary (Figura 4). Uma das três seções foi construída sem qualquer reforço além das fibras. Todos os exemplares tiveram bom desempenho nos ensaios, apresentando o resultado intrigante da rigidez no exemplar sem qualquer barra de armadura ser maior do que a dos outros exemplares ensaiados. Os deslocamentos medidos na seção sem barra de armadura foram cerca de 25% dos medidos nas seções com armaduras. A hipótese é que a presença de armadura pode ter alterado a orientação das fibras, reduzindo a rigidez na direção ensaiada. A Tabela 2 indica algumas características do CAUD utilizado nessa ponte.

A seção sem armadura foi ensaiada a 3 milhões de ciclos de carregamento e descarregamento. Inicialmente a peça foi carregada até fissurar e submetida a um milhão de ciclos de carga na faixa de carregamento esperado para a

ponte na situação de serviço, com carga variando entre 5 e 20% da carga de fissuração. Na sequência, outra série de um milhão de ciclos de carga foi realizada, com valores variando entre 20 a 78% da carga de fissuração. Após esse dois milhões de ciclos, nenhum crescimento na abertura de fissura foi medido. Um terceiro milhão de ciclo de carga entre 30 e 128% da carga



► **Figura 4**  
Seção da ponte sendo ensaiada (Parsekian et al., 2008)



► **Figura 5**  
Ponte para pedestre concluída  
(Parsekian et al., 2008)

de fissuração, levou a um pequeno incremento na abertura de fissura, com uma redução de rigidez de 35% em relação à rigidez não fissurada. Esses valores indicam bom comportamento do material contra fadiga, especialmente com cargas menores que a de fissuração.

A viga pré-fabricada real foi também testada para cargas de serviço concêntricas e excêntricas antes de ser instalada sobre a avenida. A Figura 5 mostra uma foto da ponte concluída.

### 5. CASO 3: PONTE MARS HILL - PRIMEIRO CASO RODOVIÁRIO NOS EUA

Essa ponte rural, concluída em 2005, é a primeira aplicação em



► **Figura 6**  
Viga de CUAD pré-fabricado durante operação de posicionamento  
(Endicott, 2007)

rodovia. Os detalhes do projeto são descritos em Endicott (2007). O sistema estrutural é composto de várias vigas longitudinais pré-fabricadas de 33,5 m de comprimento, executadas em CUAD, posicionadas lado a lado, com capa de concreto moldada no local formando o tabuleiro. As vigas foram protendidas com cabos de relaxação baixa. As únicas armaduras passivas presentes são barras U distribuídas ao longo do topo da viga para a ligação com o tabuleiro moldado no local. Nenhum estribo de cisalhamento ou outro reforço passivo foi necessário. A Figura 6 mostra uma viga pré-fabricada antes de seu posicionamento ao lado de outras vigas. Devido ao uso do concreto de ultra-alta resistência, a altura da seção I da viga foi reduzida para aproximadamente 1,4m, com espessuras da alma e flanges variando entre 7 a 14 cm. Vigas em escala real foram também ensaiadas na Iowa State University antes da construção.

### 6. CASO 4: PASSAGEM SUBTERRÂNEA AVE HODDER - ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS E LIGAÇÕES MOLDADAS NO LOCAL

Essa ponte longa de 67m foi também projetada com vigas pré-moldadas em concreto de ultra-alto desempenho, em dois vãos de 33,5m, com um apoio central, e foi concluída em 2013. O sistema aproveita de algumas propriedades do CUAD no projeto de vários elementos pré-moldados. Para construir as colunas centrais, cascas de CUAD pré-fabricado (Figura 7) foram concebidas como fôrmas



► **Figura 7**  
Casca pré-fabricada em CUAD como molde incorporado dos pilares  
(Murray et al., 2016)

incorporadas, posteriormente preenchidas com concreto de alto desempenho. A casca externa aproveita a baixa porosidade do CUAD, a textura regular de superfície e sua impermeabilidade para criar uma camada protetora e estética para o concreto interno, melhorando a estética e a durabilidade das colunas. Para manter a aparência do tabuleiro como uma laje plana, a viga conectando as três colunas centrais, que também sustentam as vigas longitudinais da ponte, tinha a altura limitado em projeto. Esse elemento foi resolvido usando a alta resistência à compressão do CUAD em uma seção protendida T invertida (Figura 8). As ligações entre



► **Figura 8**  
Viga T invertida protendida e pré-moldada em CUAD  
(Perry, 2013)





► **Figura 9**  
Ligação de continuidade sobre apoio central (Murray et al., 2016)

os elementos pré-moldados tiram proveito do fato de que o CUAD permite reduzido comprimento de traspasse de armaduras e, conseqüentemente, reduzido comprimento da ligação, sendo feitas com a concretagem no local utilizando CUAD. Essas ligações incluíam a continuidade ao longo do apoio central (Figura 9), chaves de cisalhamento conectando as vigas lateralmente e vários outros elementos, como a calçada e parapeito. Figura 10 é uma fotografia mostrando o elemento central da ponte finalizado.

## 7. CASO 5: PONTE WAPELLO EM IOWA - TABULEIRO PRÉ-MOLDADO EM LAJE NERVURADA

Recentemente, foi introduzido no sistema construtivo de pontes o uso de CUAD em lajes nervuradas pré-moldadas, formando o tabuleiro. De acordo com o relatório de FHWA-HRT-13-032, esse tipo de elemento pode reduzir o peso do tabuleiro entre 30 a 40%, reduzindo cargas de fundação e potencial-



► **Figura 10**  
Parte central da ponte finalizada (Murray et al., 2016)

mente permitindo maiores vãos de pontes. O tabuleiro pré-moldado em CUAD é projetado como a superfície de rolamento real, criando uma plataforma de ponte muito durável e de longa vida útil, com baixa manutenção. Uma das primeiras aplicações deste CUAD é a ponte do Condado de Wapello, em Iowa, EUA. O sistema estrutural consiste de várias vigas longitudinais posicionadas lado a lado, com os tabuleiros de laje nervurada posicionados acima desses elementos pré-moldados. As ligações entre o tabuleiro e as vigas de apoio são feitas por meio de nichos de cisalhamento, posicionados no tabuleiro pré-moldado, que são concretados no local com o CUAD após a montagem. As ligações de painel para painel sobre o apoio central também são executadas em CUAD moldado no local, semelhante ao apresentado na Figura 9. Ensaio experimental foi realizado na Iowa State University antes da conclusão da construção em 2011. A ponte posteriormente foi inspeccionada várias vezes. A Figura 11 mostra fotografias da ponte real e do ensaio de penetração de água em

testes de 2012 (Perry, 2014). Não foi observado nenhum sinal de fissuras, vazamentos, eflorescência, lixiviação ou manchas por corrosão.

## 8. CONCLUSÃO

O concreto de ultra-alto desempenho é um material com mais de 150 MPa de resistência à compressão e boa resistência à tração, permitindo seu uso em elementos delgados e leves, a maioria deles pré-moldados e/ou protendidos. Sua alta resistência leva a um menor comprimento de traspasse de armadura, possibilitando o uso do material para concretagem no local de ligações, com a vantagem de



► **Figura 11**  
Tabuleiro em laje nervurada pré-moldada em CUAD do Condado de Wapello, com teste de penetração de água (Perry, 2014)

reduzir o comprimento da ligação. Sua baixa porosidade e permeabilidade aumenta a sua durabilidade, tornando seu uso apropriado em estruturas que exigem longa durabilidade e vida útil, com baixa manu-

tenção. Neste trabalho foram mostrados alguns casos recentes de aplicações inovadoras do material, incluindo: elementos prefabricados leves, vários casos de vigas de ponte, casca pré-moldada como molde

incorporado para pilar de ponte, que serve como camada protetora e estética, tabuleiros pré-moldados de pontes em laje nervurada e vários tipos de ligações com concretagem no local. ➤

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI 239 Committee in Ultra-High Performance Concrete, "Minutes of Committee Meeting, October 2012", ACI Conference, Toronto, Ontario, Canada.
- [2] Adeeb, S.M., Scholefield, B.W.J., Brown, T.G., Shrive, N.G., Kroman, J., Perry, V.H., and Tadros, G. 2005. Modelling, Testing, and Construction of the First Ductal® Canopy in the World. Canadian Journal of Civil Engineering, Canada, V.32, n 6, December, 2005, p 1152-1165.
- [3] Endicott, W.A. A whole new cast. ASPIRE, Summer 2007, p 26-34.
- [4] Murray, P.; Rajlic, B.; Burak, R. Hodder Avenue Underpass – Innovative use of Ultra-High Performance Concrete for Rapid Bridge Construction. Hatch presentation. 2016.
- [5] Parsekian, G. A.; Shrive, N.G.; Brown, T.G.; Seibert, P. J.; Perry, V.; Boucher, A. Innovative ultra-high performance concrete structures. In: International FIB Symposium, 2008, Amsterdam. Proceedings do the International FIB Symposium 2008. Londres: Taylor & Francis Group, 2008. v. 1. p. 325-330.
- [6] Perry, V. Hodder Avenue Underpass. Canadian Civil Engineer. 2013.
- [7] Perry, V.H. 2014. AN EIGHT YEAR REVIEW OF FIELD-CAST UHPC CONNECTIONS FOR PRECAST CONCRETE BRIDGE ELEMENTS & ABC. 9th International Conference on Short and Medium Span Bridges. Calgary, Alberta, Canada, July 15-18, 2014
- [8] Publication No. FHWA-HIF-13-032, Washington, DC, USA, June 2013. "Design Guide for Precast UHPC Waffle Deck Panel System, including Connections".
- [9] Publication No. FHWA-HRT-13-060, Washington, DC, USA, June 2013. "Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community".



# Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

**COORDENADOR** Bernardo Fonseca Tutikian  
**SECRETÁRIO** Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

### DADOS TÉCNICOS

**ISBN / ISSN:** 978-85-98576-25-1  
**Edição:** 1ª edição  
**Formato:** Eletrônico  
**Páginas:** 78  
**Acabamento:** Digital  
**Ano da publicação:** 2015

### Patrocínio



# A utilização de UHPC em obras no Brasil

RODRIGO MENEGAZ MULLER – M.Sc. – HEAD OF DUCTAL® LATINA AMÉRICA

LAFARGEHOLCIM

PAULO KOELLE – DIRETOR

CLAUDIO NASCIMENTO ALMEIDA – GESTOR DE DESENVOLVIMENTO

STONE PRÉ-FABRICADOS

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de Concretos de Ultra-Alto Desempenho (UHPC/CUAD) ou Concretos de Ultra-Alto Desempenho Reforçado com Fibras (UHPRFC) começam a se destacar mundialmente, através de suas utilizações em diversas obras de construção civil, ganhando destaque as utilizações na Europa (principalmente França, Alemanha e Suíça), no Japão e nos Estados Unidos.

O UHPC (ou UHPRFC) é um material inovador e que oferece novas oportunidades de utilização do concreto dentro das obras de construção civil. Esses concretos, além de possuírem resistências à compressão e à flexão extremamen-

te superiores aos convencionais, apresentam outras características importantíssimas para os projetos atuais, como: elevada durabilidade, ductilidade e sustentabilidade.

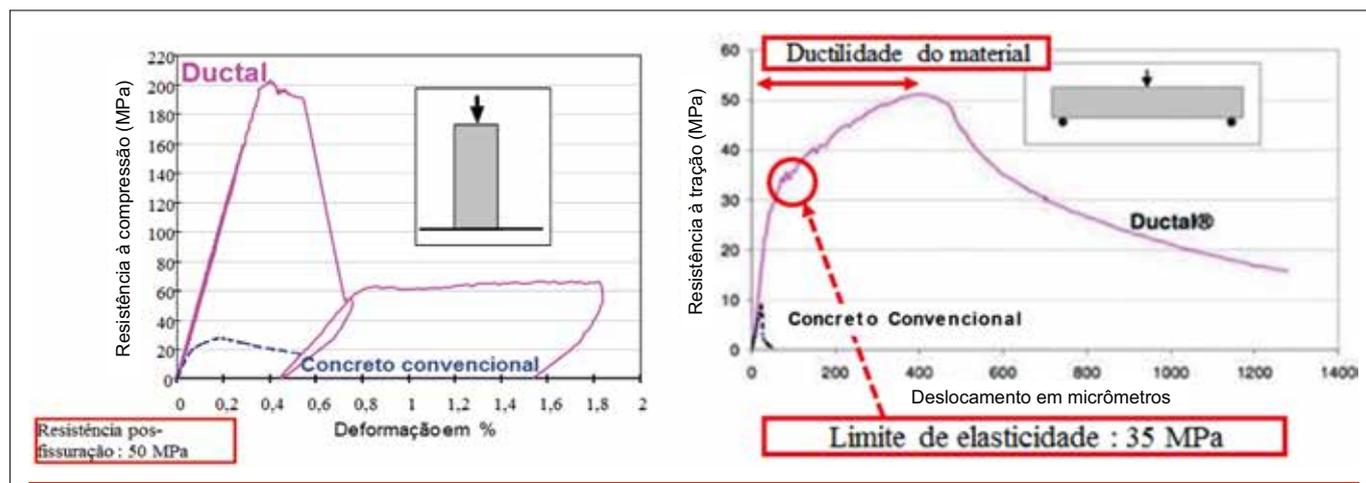
Sua utilização remonta ao desenvolvimento tecnológico pelo qual passaram os materiais de construção no final do século 20. E algumas empresas desenvolveram comercialmente esse material para o mercado consumidor. Um exemplo é o Ductal®, desenvolvido e patentado pela cimenteira LafargeHolcim e comercializado globalmente com esta marca, inclusive no Brasil.

## 2. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E DURABILIDADE

A Associação Francesa de En-

genharia Civil (AFGC/SETRA), em 2002, foi a primeira a definir este tipo de material como um material cimentício com resistências à compressão acima de 150 MPa (chegando a resistências acima de 250MPa). A adição de fibras metálicas garante seu comportamento dúctil quando tracionado e pode dispensar a necessidade de armadura passiva. O UHPC pode também conter fibras poliméricas.

Atualmente, encontra-se no mercado fórmulas disponíveis comercialmente com resistências à compressão superiores a 200 MPa e resistência à tração acima de 35MPa ([www.ductal.com](http://www.ductal.com)), conforme mostrado na Figura 1.



► **Figura 1**

Resistência à compressão e à tração do UHPC Ductal® ([www.ductal.com](http://www.ductal.com))

Podem-se encontrar comercialmente diferentes formulações de UHPC, nas quais, além da variação do comportamento mecânico, também se pode variar o tipo de fibra utilizada. O uso de diferentes tipos de fibras depende da utilização final do produto, seja arquitetônico (onde as peças de UHPC ficam expostas às intempéries e esteticamente não devem apresentar manchas superficiais devido à corrosão), seja estrutural. Os tipos de fibras mais comumente utilizadas são: microfibras metálicas e microfibras poliméricas (ou orgânicas). Outro tipo de fibra utilizada são as de polipropileno, que visam a redução de fissuras de retração e a proteção ao fogo. Na Tabela 1, apresentam-se as classes de resistência à compressão e à flexão versus o tipo de fibra utilizada.

Devido às elevadas resistências dos UHPC, eles possuem um excelente potencial para a mudança de paradigmas de uso do concreto, como na confecção de elementos extremamente esbeltos quando comparados à utilização de concretos convencionais. Entretanto, novas diretrizes de projeto fazem-se necessárias, não apenas levando em conta seu potencial de redução de espessura e peso das estruturas, mas também sua elevada durabilidade. Alguns autores colocam os UHPC entre o concreto convencional e o aço, onde se deve repensar as formas e metodologias de cálculo.

Uma forma de expressar as diferenças de esbeltez e peso que podem ser obtidas apresenta-se na Figura 2, para um mesmo carregamento, quatro perfis estruturais, sendo um de concreto convencional, outro de concreto protendido,

► Tabela 1 – Classes de resistência à compressão e à flexão, e densidade (www.ductal.com)

Resistência à compressão – MPa		
Fibras poliméricas	Fibras metálicas	Fibras de polipropileno
120 – 140	150 – 200	120 – 180
Resistência à flexão – MPa		
Fibras poliméricas	Fibras metálicas	Fibras de polipropileno
10 – 20	15 – 30	10 – 20
Densidade – kg/m <sup>3</sup>		
Fibras poliméricas	Fibras metálicas	Fibras de polipropileno
2350	2500	2350 – 2500

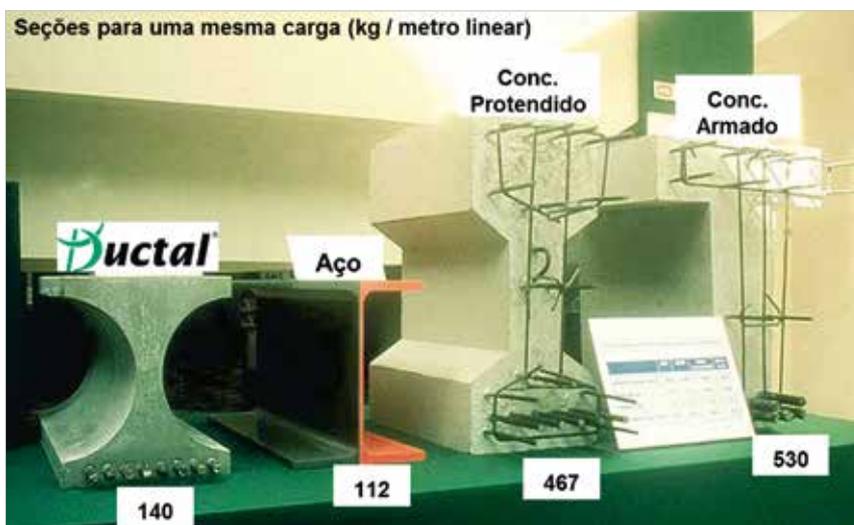
um terceiro de estrutura metálica e o quarto de UHPC. Observa-se visualmente a diferença de esbeltez entre as estruturas e de peso por metro linear.

A diferença existente entre a viga de concreto armado e da viga de UHPC chega a mais de 70% de seu peso por metro linear. Quando comparado a uma estrutura de metálica, o UHPC possui 20% a mais de peso por metro linear.

Quanto se trata da durabilidade oferecida pelos UHPC, seu de-

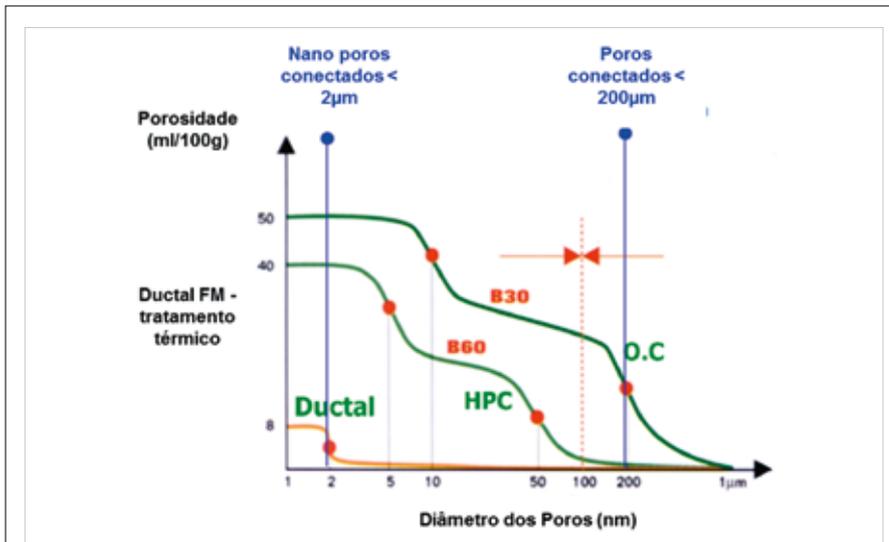
sempenho é extremamente superior quando expostos a diferentes tipos de agressões, sejam elas: ação de gelo e degelo, carbonatação, ataques químicos, abrasão, ação de íons cloretos entre outros.

A ação de íons cloretos pode causar diversas consequências às estruturas de concreto. Nesse sentido, a baixa relação água/cimento utilizada nos UHPC, aliado a estudo granulométrico adequado e de empacotamento dos grãos, conferem a esses uma baixíssima permeabilidade e a



► Figura 2  
Comparação de elementos estruturais – peso (kg)/metro linear





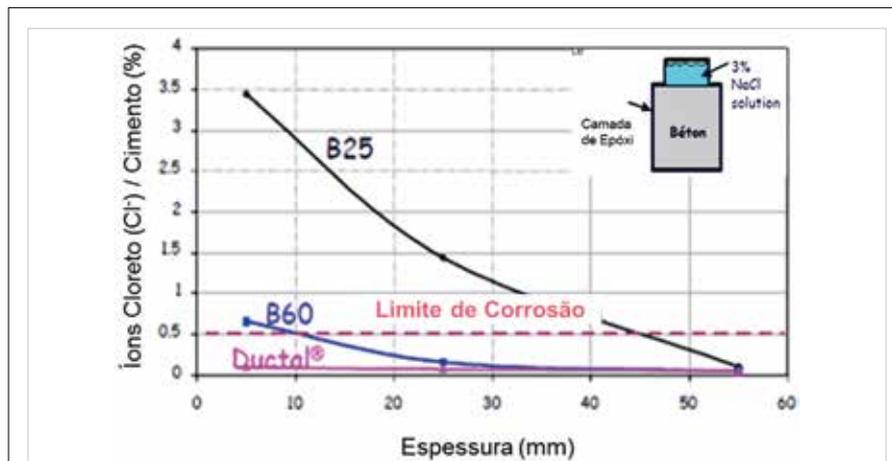
► **Figura 3**  
 Comparação entre a porosidade e diâmetro dos poros em concretos UHPC (Ductal), HPR (concreto de alta performance) e OC (concretos convencionais (www.ductal.com))

formação de poros não conectados, com 80% destes abaixo de 2 μm de diâmetro, frente aos concretos convencionais, onde os poros são tidos como conectados e com 80% destes sendo superiores a 200 μm de diâmetro, conforme mostrado na Figura 3.

O desempenho do UHPC à penetração de íons cloretos é nitida-

mente superior quando comparado com dois concretos, um de 60 MPa e outro de 25 MPa (Figura 4).

Conforme o relatório da FHWA-HRT-13-060, três series de UHPC foram colocadas em um local de exposição marinha na Ilha Treat/EUA. As condições de exposição incluíam: variação da maré (6 m), ciclos de



► **Figura 4**  
 Comparação entre o UHPC Ductal® e dois tipos de concreto convencionais B60 (60 MPa) e B25 (25 MPa) (www.ductal.com)

congelamento e descongelamento, e choque de ondas do mar. Após 15 anos de exposição e mais de 1.500 ciclos de congelamento e descongelamento, 10.500 ciclos de saturação e secagem, não houve evidência de deterioração ou degradação de propriedades mecânicas. A profundidade de penetração de cloretos foi muito menor que a observada para concretos convencionais ou de alto desempenho típicos no mesmo ambiente. Também não foram observadas corrosões nas barras de aço em barras de UHPC com 10 mm de cobertura. A Figura 5 mostra prismas de UHPC submetidos ao teste e o local do experimento.

### 3. APLICAÇÕES ARQUITETÔNICAS

Devido aos resultados apresentados anteriormente, os UHPCs estão sendo amplamente utilizados para criações arquitetônicas e de design diferenciado, pois propiciam uma grande liberdade de criação para os arquitetos e designers.

O material permite reproduzir texturas com precisão, devido a granulometria utilizada, e podendo ser pigmentado, dando liberdade para as diversas criações, mantendo seu aspecto mineral e suas performances. Alguns exemplos de aplicações são:

- Painéis de fachada;
- Brises;
- Marquises
- Fachadas perfuradas;
- Coberturas leves;
- Cobogós.

Na Figura 6, apresentam-se algumas obras de renome mundial realizadas com a utilização do UHPC (www.ductal.com).

Além de novas formas, curvas e

esbeltez proporcionada às criações arquitetônicas, outro nicho bastante difundido de utilização são os mobiliários, tanto urbanos quanto residenciais. Pois, a utilização do UHPC proporciona a criação de elementos extremamente delgados e a possibilidade da realização de estruturas antes não concebíveis com os concretos convencionais. Podem-se observar alguns elementos realizados com o UHPC na Figura 7.

#### 4. APLICAÇÕES ESTRUTURAIS

Dadas às suas características e seu desempenho, o UHPC pode ser utilizado em uma diversa gama de aplicações estruturais, como:

- ▶ Pontes e viadutos;
- ▶ Barragens;
- ▶ Torres eólicas;
- ▶ Reforço de estruturas;
- ▶ Túneis;
- ▶ Pré moldados.

Em termos de construção, os elementos pré-moldados permitem que a montagem na obra seja mais simples em relação à construção tradicional, além de exigir menores equipamentos para a sua execução, devido às suas estruturas leves, com redução de volume de concreto empregado.

Um dos exemplos de grande utilização em obras de infraestrutura do UHPC vem dos EUA. A utilização para a execução de pontes remonta ao final dos anos 90. Com o objetivo de recuperar as suas pontes - segundo relatos da FHWA (*Federal Highway Administration*) mais de 30% das pontes norte-americanas apresentam problemas estruturais e necessitam de manutenção - e visando aumentar sua vida útil para mais de 100 anos, os EUA lançaram um grande programa de reabilitação e recons-



▶ **Figura 5**  
Local dos testes na Ilha Treat e os prismas de UHPC  
(www.ductal.com)

trução de pontes. Até o momento já foram recuperadas mais de 200 pontes utilizando a tecnologia do UHPC. A Figura 8 apresenta a recuperação de duas pontes nos EUA utilizando o UHPC.

#### 5. OBRAS REALIZADAS NO BRASIL

Atualmente, no Brasil, iniciou-se a utilização de concretos UHPC, sendo

utilizado principalmente a marca comercial Ductal® pela Stone Pré-Fabricados Arquitetônicos, atualmente a única empresa licenciada na América Latina pela LafargeHolcim, detentora mundial da patente Ductal®.

##### 5.1 Ministério das Relações Exteriores

No ano de 2016 foi realizada a



MuCEM – Museu das Civilizações Mediterrâneas (Marselha/França) – Arq. Rudy Ricciotti



Hotel Residencial Nakara – França



Estádio Jean Bouin França – Arq. Rudy Ricciotti

▶ **Figura 6**  
Exemplos de aplicações arquitetônicas (www.ductal.com)





Bancos em New York, EUA



Parada de ônibus nos EUA



Escada Zaha Hadid

► **Figura 7**  
Utilização de UHPC em mobiliários ([www.ductal.com](http://www.ductal.com))

primeira obra no Brasil com a utilização do UHPC com a tecnologia Ductal®. O projeto idealizado pelo Escritório de Arquitetura FGMF, dos arquitetos Lourenço Gimenez, Fernando Forte e Rodrigo Marcondes Ferraz. Os arquitetos necessitavam compor a fachada do prédio, que não poderia receber carregamentos excessivos, pois se tratava de uma revitalização do edifício.

O UHPC proporcionou a criação

de um elemento arquitetônico vazado, com aproximadamente 40% de vazios, e composto por 8 placas medindo cada uma 2,5 metros de comprimento por 4,5 metros de altura, com espessura média de 3 cm. O resultado foi um painel arquitetônico de fachada de 10 metros de comprimento por 9 metros de altura, ou seja, 90 m<sup>2</sup>.

A solução proporcionou uma

redução de aproximadamente 1/3 do peso, caso o painel fosse realizado em concretos convencionais, ou seja, proporcionou uma redução de aproximadamente 7 toneladas. Devido a essa redução, não foi necessário reforço estrutural da fachada.

Além da redução de peso na estrutura, sua montagem foi facilitada com uso de equipamentos mais leves e convencionais para a execução da obra, ponto importante devido à localização da obra. A Figura 9 mostra algumas fotos da fachada do escritório do Ministério das Relações Exteriores.

## 5.2 Casa Japão

No ano de 2017, como parte de uma iniciativa do governo japonês, foi inaugurada a Casa Japão em um dos principais endereços do Brasil, a Avenida Paulista, em São Paulo.

O projeto é assinado pelo arquiteto japonês Kengo Kuma, responsável também pelo projeto do estádio olímpico do Japão, e pelo escritório de Arquitetura FGMF. O painel arquitetônico da fachada foi concebido em elemento vazado, com 50% de vazios, possibilitando destaque a casa no intenso ambiente urbano que está inserida.

O painel de 116 m<sup>2</sup> foi composto por 220 placas sobrepostas, cada placa medindo 0,70 metros por 0,80 metros, com espessura média de 2 cm.

A utilização do UHPC foi a escolhida por proporcionar a execução do design desenvolvido pelos arquitetos, antes apenas proporcionado com uso de placas de aço cortadas a laser. Além disso, o UHPC utilizado para a execução foi desenvolvido na cor branca, sem a utilização de pigmentos ou pinturas externas.



Ponte Gen. Pulaski Skyway – Nova Jersey



Ponte do Rio Nipigon – Ontário

► **Figura 8**  
Exemplos de algumas obras de pontes realizadas com UHPC ([www.ductal.com](http://www.ductal.com))

Os arquitetos solicitaram que o painel, além de possuir uma durabilidade às intempéries, também proporcionasse a sensação de um elemento rígido, porém delicado.

O UHPC escolhido para esta execução foi o Ductal® Branco com fibras polimérica, com 120 MPa de resistência à compressão. As fibras poliméricas foram utilizadas com o intuito de evitar a formação de corrosão nas fibras que ficam em contato com a superfície e, por consequência, pudessem manchar os painéis.

## 6. COMENTÁRIOS FINAIS

A utilização de concretos de ultra-alto desempenho já é uma realidade na indústria da construção civil brasileira e deve-se passar a analisar sua utilização com outros olhos. Com a inovação constante por que passa o mercado, onde a redução de custos globais de um empreendimento é cada vez mais importante, o UHPC começa a ganhar um mercado anteriormente intransponível devido ao custo inicial do produto, pois a comercialização e a fabricação em escala nacional começam a ser uma realidade.

Ligado a esses, outros itens relevantes que irão facilitar a introdução do UHPC em nosso mercado são os de sustentabilidade e durabilidade das estruturas, vistos anteriormente não como valores, mas sim medidos como custos, que passam a compor uma análise fundamental dentro da engenharia das construções.

Ainda devemos nos aprofundar



► **Figura 9**  
Ministério das Relações Exteriores (São Paulo)

mais na elaboração de normas técnicas nacionais para acelerar o desenvolvimento e a utilização do UHPC, criando no meio acadêmico, técnico e profissional, tanto da tecnologia dos

materiais quanto do dimensionamento de estruturas, centros de análise e comprovação da eficácia de sua utilização, como já é realizado em diversos países mundialmente. ↻



► **Figura 10**  
Casa Japão (São Paulo)

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AFGC/SETRA – Association Française de Génie Civil (Associação Francesa de Engenharia Civil) e Service d'études techniques.
- [2] FHWA-HRT-13-060 - Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community – EUA, 2013.
- [3] \_\_\_\_www.ductal.com.



# Práticas para qualificação de macrofibra no concreto

ROBERTO DAKUZAKU

ADRIANA FALCOCHIO RIVERA

S. TAKASHIMA CONSULTORIA E ASSESSORIA

DENER ALTHEMAN

LEONARDI CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

## I. INTRODUÇÃO

O emprego de concreto reforçado com fibras (CRF) vem tendo avanços significativos na engenharia nacional. Com isso, torna-se necessário avançar nas práticas de seu desenvolvimento e controle para diversas aplicações. Além da trivial aplicação em pisos, há maior demanda para aplicações no sistema de paredes de concreto, revestimentos de túneis (como revestimento primário projetado e revestimento secundário moldado) e elementos estruturais de maior volumetria, como pisos especiais e paredes e lajes espessas.

O CRF com função estrutural foi executado em trechos dos túneis rodoviários das obras de revitalização da Área de Especial Interesse Urbanístico (AEIU) da Região Portuária da Cidade do Rio de Janeiro (Porto Maravilha), usado na fabricação de segmentos de

concreto pré-moldado para o revestimento de túnel escavado por máquina tuneladora (TBM) nas obras de metrô da Linha 5 Lilás do Metrô de São Paulo e da Linha 4 Sul do Metrô do Rio de Janeiro e, mais recentemente, está sendo aplicado na concretagem do túnel de blindagem do acelerador de partícula do Projeto Sirius do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (CNPq-MCT), em Campinas, interior de São Paulo.

Esta obra, executada pela Racional Engenharia, conta com túnel de blindagem sobre piso monolítico de 0,90 m de espessura de concreto armado reforçado com fibras, sendo suas paredes e coberturas espessas também em CRF, com espessura variável entre 0,80 m e 1,50 m. O túnel será construído sem juntas de dilatação e se cons-

tituirá, no término da concretagem, em uma peça única com mais de 500m de comprimento médio.

No revestimento de túneis do Porto Maravilha, o concreto reforçado com macrofibra polimérica substituiu as armaduras no concreto moldado do revestimento secundário e as fibras metálicas no concreto projetado aplicado no revestimento primário (Figuras 1 e 2).

Na fabricação dos segmentos de concreto pré-moldados armados para revestimento dos túneis do metrô, a finalidade de reforçar o concreto foi de minimizar a quebra de cantos das peças, durante o manuseio na fabricação, e a fissuração em trechos curvos, durante a colocação dos segmentos pela tuneladora.

No túnel de blindagem do acelerador de partícula do Projeto Sirius, o uso da



► Figuras 1 e 2

Concretagem de revestimento secundário de túnel com traço de concreto bombeável reforçado com macrofibra polimérica em obra do Porto Maravilha.



► Figura 3

Piso especial do Projeto Sirius – CNPEM (Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais) / Racional

macrofibra polimérica foi para minimizar a fissuração por retração do concreto aplicado nas concretagens do piso especial (Figura 3), das paredes e cobertura do túnel. Estudos térmicos dos traços de CRF refrigerado com gelo foram previamente realizados e indicaram que a fissuração de retração térmica teria mínimas chances de ocorrer.

## 2. PROCEDIMENTO EXECUTIVO

O procedimento desenvolvido para estudar, adequar às necessidades (de projeto e execução) e aprovar os traços de CRF são descritos a seguir.

### 2.1 Qualificação das macrofibras

A qualificação das macrofibras começa pela seleção de fornecedores e

análise dos boletins técnicos de cada produto e fabricante. São avaliadas comparativamente as características e propriedades da macrofibra. Fator de forma, números de fibras por unidade de massa (n/kg) e dosagem típica para atendimento a taxa de tenacidade necessária são pontos impactantes para avaliar em teoria a trabalhabilidade e a adequabilidade do compósito (CRF). A Tabela 1 demonstra a variabilidade de algumas fibras disponíveis no mercado.

### 2.2 Ensaios de durabilidade para qualificação da macrofibra

Conhecer a qualidade da macrofibra sintética é fundamental para aprovar e qualificar o produto, bem como para verificar a viabilidade de seu em-

prego em substituição ao emprego das fibras metálicas e das armaduras, nos casos em que a fibra tem função estrutural. O emprego de uma fibra não durável diminuirá a vida útil da estrutura. Outras finalidades, como minimizar a fissuração causada pela retração do concreto endurecido e aumentar a resistência ao impacto causador de quebra de bordas em elementos pré-moldados, são também avaliadas nesta etapa de qualificação.

O procedimento para avaliar a durabilidade em meio alcalino e as características das macrofibras poliméricas, confrontando resultados de ensaios com as informações dos boletins técnicos do fabricante e especificações disponíveis, tem sido executado conforme as metodologias:

► Tabela 1 – Quadro comparativo entre tipos de fibras trivialmente disponível no mercado nacional

Características	MF 1	MF 2	MF 3	MF 4	MF 5
Composição	Copolímero de polipropileno	Polipropileno Polietileno	Polipropileno	Polipropileno	Vidro álcali resistente
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,90 a 0,92	0,92	0,90 a 0,92	–	2,68
Número de fibras por kg (un)	37.000	–	> 31.000	330.000	–
Comprimento da fibra (mm)	54	51	45	54	36
Fator de Forma	–	74	–	–	67
Fio	Rígido, monofilamento	Flexível, fibrilado	Misto rígido e flexível	Flexível, fibrilado	Rígido
Resistência à Tração (MPa)	640	600 a 650	> 600	600 a 650	1700
Módulo de Elasticidade (GPa)	10	9,5	> 7	7	67
Ponto de amolecimento (°C)	159 a 179	130	165	–	860
Ponto de ignição	> 450°C	330°C	> 550°C	–	–
Absorção de água	–	Desprezível	Nula	–	Nenhuma demanda adicional de água
Resistência aos álcalis e ácidos	Resistente	Excelente	Alta	100% resistente	Muito alta
Cor	Branca	Branca	Cinza e branca	Cinza	Branca
Dosagem típica (kg/m <sup>3</sup> )	4 a 6	1,8 a 1	2 a 6	–	5 a 15

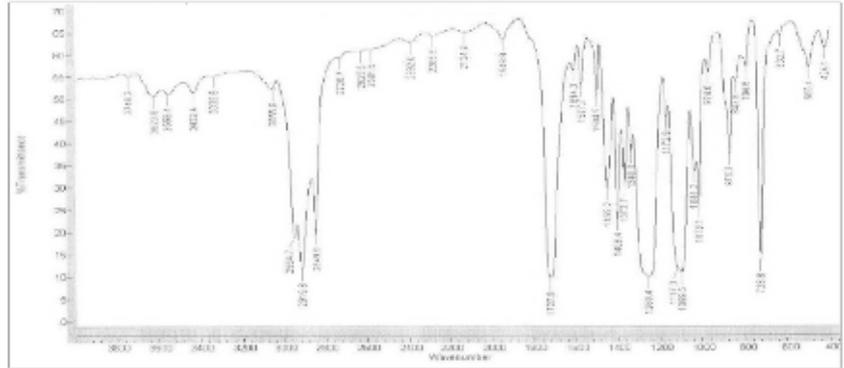




► **Figura 4**  
Amostra nº 1 de macrofibra polimérica

- ANAPRE CF 001/2011 – Revisão 1 – 03/09/2012 – Macrofibras Sintéticas para Pisos Industriais – Especificações;
- C-001-QS / 02 – Identificação Química por Infravermelho – Procedimento interno do laboratório de ensaio;
- ASTM E 2550:2011 – *Standard Test Method for Thermal Stability by Thermogravimetry*;

PARÂMETRO	RESULTADO	ESPECIFICAÇÃO	
		INTERESSADO	CF 001/2011
Tipo de Polímero	Poliétileno tereftalato (PET)	Polipropileno aditivado	Polipropileno, poliamida ou polietileno



► **Figura 5**  
Amostra nº 1 - Resultado do ensaio de absorção por infravermelho (especificação ANAPRE CF 001/2011) da amostra considerada não conforme em função de composição diferente da especificada

- ASTM D 3418:2012e1 – *Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by*

► **Tabela 2 – Amostra nº 1 - Resultado de ensaios de qualificação das características físicas e mecânicas, com valores não conformes aos especificados**

Características	Resultado obtido	Especificação	
		Boletim técnico	ANAPRE CF 001/2011
Comprimento unitário (mm)	48,36 com variação de 1,52%	50	Superior a 40, com tolerância de $\pm 5\%$ , não sendo tolerado desvio superior a 5% do comprimento declarado
Diametro equivalente (mm)	0,61mm com variação de 26,29%	0,75	Superior a 0,3, com tolerância de $\pm 50\%$ , não sendo tolerado desvio superior a 50% do declarado
Durabilidade – resistência química a álcalis, perda de massa (%)	64	–	Máximo 2,0
Forma da fibra – Avaliação visual	Material homogêneo	–	Não há restrições, porém devem ter aspecto homogêneo
Propriedades térmicas – Temperatura de transição vítrea (°C)	Não determinado	–	–
Propriedades térmicas – Temperatura de decomposição (°C)	Não determinado	–	–
Propriedades térmicas – Ponto de amolecimento (°C)	104,3	165	–
Propriedades térmicas – Ponto de ignição (°C)	437,39	> 550	–

► Tabela 3 – Amostra nº 2 - Resultado de ensaios de qualificação das características físicas e mecânicas, com valores conformes aos especificados

Características	Resultado obtido	Especificação	
		Boletim técnico	ANAPRE CF 001/2011
Comprimento unitário (mm)	52,58 com variação de 14,89%	54	Superior a 40, com tolerância de $\pm 5\%$ , não sendo tolerado desvio superior a 5% do comprimento declarado
Diametro equivalente (mm)	0,80mm com variação de 9,26%	–	Superior a 0,3, com tolerância de $\pm 50\%$ , não sendo tolerado desvio superior a 50% do declarado
Durabilidade – resistência química a álcalis, perda de massa (%)	0,16	–	Máximo 2,0
Forma da fibra – Avaliação visual	Material homogêneo	–	Não há restrições, porém devem ter aspecto homogêneo
Propriedades térmicas – Temperatura de transição vítrea (°C)	Não determinado	–	–
Propriedades térmicas – Temperatura de decomposição (°C)	Não determinado	–	–
Propriedades térmicas – Ponto de amolecimento (°C)	119,6	159 a 179	–
Propriedades térmicas – Ponto de ignição (°C)	450,1	450	–

*Differential Scanning Calorimetry.*

Exemplos de resultados encontrados nos ensaios realizados são apresentados nas figuras 4 a 7 e nas Tabelas 2 e 3.

para estudar traços de CRF segue metodologias de rotina para a definição e escolha dos materiais disponíveis na

gião da obra. Esses são submetidos a ensaios de caracterização para avaliar suas propriedades físicas e químicas,

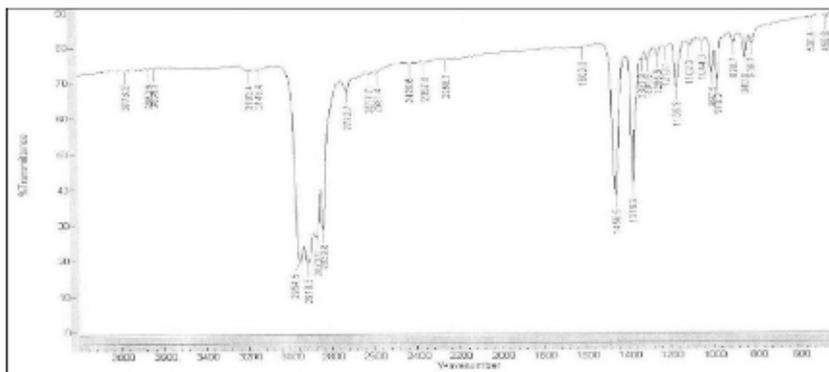
### 2.3 Estudos de traços de CRF no processo de qualificação da macrofibra

O procedimento em laboratório



► **Figura 6**  
Amostra nº 2 de macrofibra polimérica

PARÂMETRO	RESULTADO	ESPECIFICAÇÃO	
		INTERESSADO	CF 001/2011
Tipo de Polímero	Polipropileno	Copolímero de polipropileno	Polipropileno, poliamida ou polietileno



► **Figura 7**  
Amostra nº 2 - resultado do ensaio de absorção por infravermelho (especificação ANAPRE CF 001/2011) da amostra conforme a especificação



► **Figuras 8 e 9**  
Ninhos de macrofibras conhecidos como “ouricos”

como sendo a última etapa do preparo do concreto (as premissas para validação em laboratório são descritas na ABNT NBR 12821:2009), para evitar a formação dos ninhos de fibras, conhecidos como “ouricos” (Figuras 8 e 9).

Em laboratório, na qualificação da macrofibra, a formação dos ouricos no processo de mistura é um dos requisitos para desqualificar a fibra. A não observação desse requisito fará com que haja problemas durante a mistura e o bombeamento, ou patologia no concreto adensado.

Outro requisito importante para aprovação da fibra é o do concreto fresco atender à trabalhabilidade na faixa especificada, sem segregar ou exsudar (Figura 10). Ajustes do teor de argamassa e adequação da faixa de agregados graúdos são necessários para adequar o CRF (Figura 11).

incluindo ensaios de reatividade potencial entre álcali e agregados, desenhados para verificar o atendimento aos requisitos de durabilidade e às especificações de projeto, bem como, à boa e

longa manutenção de trabalhabilidade, desde o início da mistura na central até o término do lançamento, e às resistências especificadas para cada etapa construtiva.

A adição das macrofibras em laboratório e na central sempre foi realizada



► **Figura 10**  
Segregação no concreto CRF



► **Figura 11**  
Abatimento do traço de concreto convencional reforçado com  $6 \text{ kg/m}^3$  de macrofibra polimérica, com fio monofilamento rígido, lançado no revestimento secundário de túnel no Porto Maravilha



► **Figura 12**  
Abatimento do traço de concreto convencional reforçado com  $4 \text{ kg/m}^3$  de macrofibra polimérica, com fio monofilamento fibrelado flexível, aplicado no piso especial da obra Projeto Sirius – CNPEM/RACIONAL

O objetivo da inspeção visual é avaliar se há cobertura adequada pela fração fina (argamassa) das fibras, ou ainda o ajuste na composição dos aditivos para regular o efeito de dispersão, sob adequada coesão da pasta, na mistura.

Outro ponto relevante é como o aspecto reológico é impactado pela adição de macrofibras. É de amplo conhecimento técnico que a estruturação em compósito alterando sua matriz faz com que a trabalhabilidade seja prejudicada. E, assim, no uso do trivial ensaio de abatimento (cone de Abrams), realizado pela ABNT NBR NM 67:1998, a trabalhabilidade é medida sob a tensão de escoamento do material sob peso próprio. As fibras promovem travamento dos agregados, reduzindo assim a medida do abatimento do cone (recalque). Tem-se então como fatores influentes a quantidade de fibras por metro cúbico, a rugosidade da fibra, seu índice de forma, etc., sendo estritamente necessária a validação em dosagem experimental.

Durante os estudos de dosagem de concreto projetado reforçado com 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra polimérica, para revestimento primário de túneis na obra de duplicação da rodovia Tamoios (SP 099), no interior de São Paulo, foi avaliada a influência na trabalhabilidade do concreto fresco de cinco diferentes fibras de fornecedores distintos. As Figuras 13 e 14 demonstram os tipos de fibras e os resultados de abatimento com a adição dessas fibras em concreto sem fibras com 240 mm de abatimento.

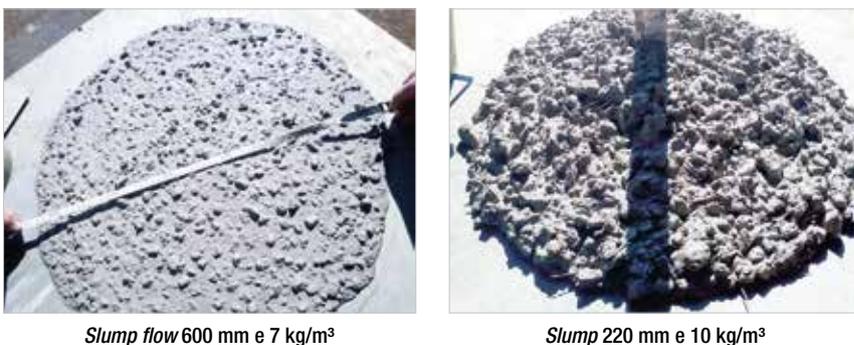
A influência da macrofibra estrutural de vidro tem demonstrado menor impacto na trabalhabilidade do concreto (Figuras 15 e 16), sendo possível dosar traços de concreto autoadensável, com espalhamento classe SF II (ABNT NBR 15823-Partes 1 e 2:2010), e



► **Figura 13**  
Exemplo de diversos tipos de macrofibras utilizadas no desenvolvimento do CRF

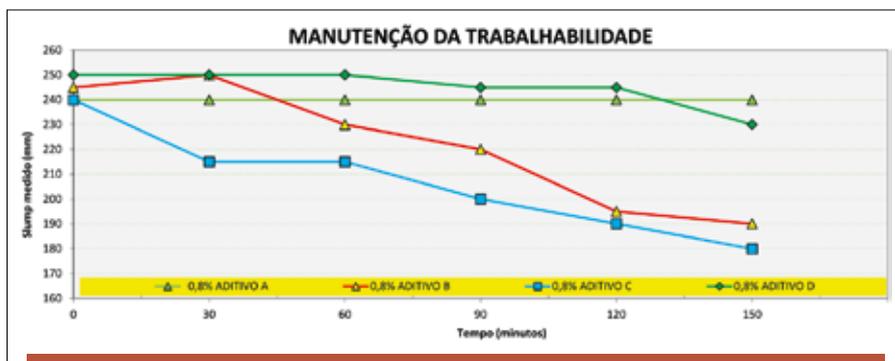


► **Figura 14**  
Influência do tipo de macrofibra com mesmas dosagens na trabalhabilidade do CRF



► **Figuras 15 e 16**  
Impacto do teor de fibras de vidro estrutural em concreto de alta trabalhabilidade





► **Figura 17**  
Curvas de manutenção da trabalhabilidade do concreto fresco reforçado com 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra polimérica obtidas nos ensaios de qualificação de aditivos

traços fluidos, com abatimento S220, adicionando maiores consumos de fibras por m<sup>3</sup>.

## 2.4 Desenvolvimento de aditivos

A preferência pelo tipo de aditivo empregado nesses concretos tem sido pelo uso exclusivo do superplastificante à base de éter policarboxilato, com características para obter elevada redução de água, longa manutenção da trabalhabilidade com valores superiores a >2h de manutenção do abatimento, e alta resistência em idades precoces quando submetidos a processos de cura acelerada e cura ao ar nas idades de 1 a 3 dias.

Escolher um bom aditivo é uma das etapas mais exigentes dos estudos de dosagem de CRF, pois po-

dem ocorrer grandes variações de desempenho (Figura 17). Atribui-se ao desempenho e compatibilidade do aditivo no concreto a obtenção de boa trabalhabilidade, sem segregar, sem exsudar, para ser bem lançado e adensado.

Embora as normas internacionais e alguns especialistas recomendem para ensaiar a trabalhabilidade do concreto fresco reforçado com fibra o ensaio de Vebe, a opção nacional tem sido a de manter a metodologia da norma brasileira ABNT NBR NM 67. Na boa prática, os resultados obtidos têm sido satisfatórios para avaliar a trabalhabilidade para qualificar as macrofibras. O ensaio de Vebe em obra para receber o CRF fresco é incomum e exige um equipamento bem mais sofisticado do que o aparelho de aba-

timento do cone de Abrams. Há ainda a opção da mesa de Graff (*flow table concrete*), que prevê o espalhamento do cone modificado sob a ação de 15 golpes de 5 cm de queda. O uso deste método tem sido difundido nos países que empregam as normas EN, pois pode prover maior adequabilidade com a inserção de dada energia.

## 2.5 Ensaios de desempenho mecânico

Nos projetos onde o concreto reforçado com macrofibra tem função estrutural, as moldagens, em laboratório e na obra, de corpos de prova cilíndricos e prismáticos têm sido em mesa vibratória (Figura 18), conforme procedimento japonês JSCE-SF 2 – *Method of making specimens for strength and toughness tests of steel fiber reinforced concrete*.

Na falta de mesa vibratória, a moldagem manual de prismas de CRF, com o uso da haste de adensamento, com os golpes definidos pela ABNT NBR 5738:2015, pode-se usar a própria haste como apoio da forma para poder finalizar o adensamento adequado do concreto com vibração manual (Figura 19).

O concreto projetado para validação do desempenho com uso ou não de aditivo acelerador e do efeito da



► **Figura 18**  
Processo de moldagem de corpos de prova em mesa vibratória



► **Figura 19**  
Moldagem de corpos de prova com haste sendo empregada para finalização da primeira camada em corpo de prova prismático



► **Figura 20**  
Moldagem de placas de concreto projetado no processo de qualificação da macrofibra polimérica e validação de traço na obra



► **Figura 21**  
Ensaio de tenacidade conforme procedimento de ensaio japonês JSCE-SF4, em testemunho extraído de placa de concreto projetado reforçado com macrofibra polimérica

projeção, deve ser avaliado em testemunhos extraídos de placas moldadas *in loco* conforme ABNT NBR 13070:2012 – Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados (Figura 20). Importante destacar que os quesitos da norma devem ser criteriosamente seguidos, pois falhas ou equívocos na projeção irão impactar diretamente os resultados dos ensaios.

Pode-se afirmar que o principal comportamento mecânico a ser definido num CRF, para avaliar as diferentes tipologias de macrofibras, é a tenacidade do CRF. Os métodos validados pela literatura internacional são executados a partir da flexão de prismas, monitorando a deformação sob carga controlada (Figura 21). Os métodos preveem obter as car-

gas após o pico de ruptura na fase plástica do compósito de CRF. A má qualidade da moldagem (incluindo aqui desde a amostragem) irá impactar nos resultados, sendo muito bem indicado para essa moldagem o emprego de mesas vibratórias.

## 2.6 Validação do teor de macrofibras incorporado no concreto CRF

A determinação dos teores de macrofibra (polimérica ou metálica) em amostra de concreto fresco adaptado da metodologia de ensaio 2.1 – *Washout Analysis Test Method* do procedimento japonês JSCE SF7 – *Methods of tests for fiber content steel fiber reinforced concrete*, é uma determinação importante, de forma a conferir o teor real de fibra aplicado na massa do concreto. A Figura 22 expõe as etapas seguidas.

## 3. CONCLUSÃO

Os procedimentos aqui descritos para qualificar as macrofibras para CRF têm sido praticados pela equipe da S Takashima desde 2013, quando houve crescente interesse

de uso em obras metroviárias e viárias, bem como, probabilidade de estar havendo comercialização em nosso mercado de fibras não duráveis em meio alcalino.

Neste contexto, é compreensível a busca por procedimentos de ensaios mais adequados para controlar a qualidade do concreto reforçado com macrofibras poliméricas, desde a qualificação do material até quando se deseja avaliar o desempenho quanto às propriedades mecânicas.

Para obtenção de parâmetros confiáveis de tenacidade através da determinação da resistência residual, é recomendado o uso de máquina de ensaio com sistema fechado de controle da velocidade de deslocamento, dessa forma, os resultados serão mais acertados, elevando a acurácia,



e serão mais confiáveis do que os que têm sido apresentados pela maioria

dos laboratórios capacitados para executar esses ensaios.

Em junho de 2015, o IBRACON e a ABECE criaram o Comitê Técnico CT 303 – Uso de Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, sendo um de seus objetivos desenvolver e elaborar Práticas Recomendadas para Controle da Qualidade do Concreto Reforçado com Fibras. Dentro desse Comitê, o grupo de trabalho responsável por essa tarefa é o GT 4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural, que vem reunindo as boas práticas, com base no conhecimento já acumulado nacional e internacionalmente, de forma a repassá-las para o meio técnico e propor a adequação de procedimentos normativos nacionais. 📄



► **Figura 22**

Coleta de amostra de concreto CRF na ponta do mangote de bombeamento, lavagem e separação da macrofibra para determinar o teor de fibra no concreto fresco

## Sistemas de Fôrmas para Edifícios

Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos



**ANTONIO CARLOS ZORZI**

## SISTEMAS DE FÔRMAS PARA EDIFÍCIOS: RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DA QUALIDADE E DA PRODUTIVIDADE COM REDUÇÃO DE CUSTOS

**Autor:** Antonio Carlos Zorzi

O livro propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira

As propostas foram embasadas na vasta experiência do autor, diretor de engenharia da Cyrela, sendo retiradas de sua dissertação de mestrado sobre o tema.

### DADOS TÉCNICOS

**ISBN** 9788598576237

**Formato:** 18,6 cm x 23,3 cm

**Páginas:** 195

**Acabamento:** Capa dura

**Ano da publicação:** 2015

Patrocínio



**Aquisição:**

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

(Loja Virtual)

# Projeto de bases de equipamentos industriais em concreto reforçado com fibras

VIVIANE VISNARDI VAZ – PROFESSORA M.Sc

MARCO ANTONIO CARNIO – PROFESSOR DOUTOR

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL – PUC CAMPINAS  
EVOLUÇÃO ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

## I. INTRODUÇÃO

Os equipamentos industriais normalmente são instalados em bases específicas, construídas independentemente dos pisos de concreto. Em geral essas bases são construídas isoladas do piso visando seu isolamento para que não haja transmissão de vibrações entre os equipamentos. Na maioria dos casos a fundação é direta, no entanto podem existir situações em que seja necessário algum tipo de fundação profunda. No dimensionamento devem ser levadas em consideração ações estáticas e dinâmicas. As ações dinâmicas acarretam em geral a necessidade de grandes maciços de concreto, visando minimizar o efeito da vibração da base. Dessa forma, depara-se em muitos casos com grandes volumes de concreto nessas bases que necessitam ser armados à tração. Habitualmente, para o reforço desses elementos, utilizam-se armaduras posicionadas nos de esforços de tração, bem como em toda periferia do volume do bloco. Como o concreto reforçado com fibras apresenta resistência residual após a fissuração da matriz de concreto, a utilização de fibras no concreto pode atuar nos maciços de con-

creto das bases dos equipamentos, combatendo os esforços de tração que ocorrem, bem como reforçar todo o volume da base, aumentando dessa forma a vida útil desse elemento estrutural por meio do controle de abertura e propagação de fissuras. Em muitos casos, de acordo com as necessidades do equipamento, esses grandes volumes apresentam recortes que geram cantos com pontos de concentração de tensões de tração. Nessa situação, quando se utiliza o concreto reforçado com fibras deve-se prever o posicionamento de armaduras localizadas, visando combater esses picos de tensão de tração. Deve-se ressaltar também que o processo de execução das bases de equipamentos com concreto reforçado com fibras é mais rápida, uma vez que há minimização dos trabalhos de corte, dobra e montagem das armaduras de aço. Este artigo tem por finalidade apresentar conceitos gerais sobre o projeto de bases de equipamentos em blocos de CRF. Esses podem ser considerados como placas apoiadas em meio elástico, com momento fletor como esforço predominante, e são usuais em indústrias para equipamentos de menor complexidade. O roteiro de dimensionamento no Esta-

do Limite Último tem como referência a Prática Recomendada IBRACON/ABE-CE: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

## 2. ASPECTOS GERAIS DAS BASES DE EQUIPAMENTOS

De modo geral, segundo Machado (2010) pode-se dividir os tipos de equipamentos industriais segundo seu funcionamento em:

- a) Equipamentos de movimento periódico (rotação uniforme): geradores, motores elétricos e bombas, cuja frequência é alta ( $\geq 1000$  rpm);
- b) Equipamentos de movimento periódico (rotação uniforme simultânea a um movimento retilíneo alternativo): motores a pistão e compressores a pistão cuja frequência pode ser baixa (até 300 rpm) ou média (entre 300 rpm e 1000 rpm);
- c) Equipamentos de movimento não periódico (vai e vem seguido de choque): martelos de prensa e forja.

Existem também outros tipos de equipamentos que têm especificidades que podem não se enquadrar nos tipos apresentados anteriormente e que devem ser analisados de forma específica. Como exemplo tem-se os tornos



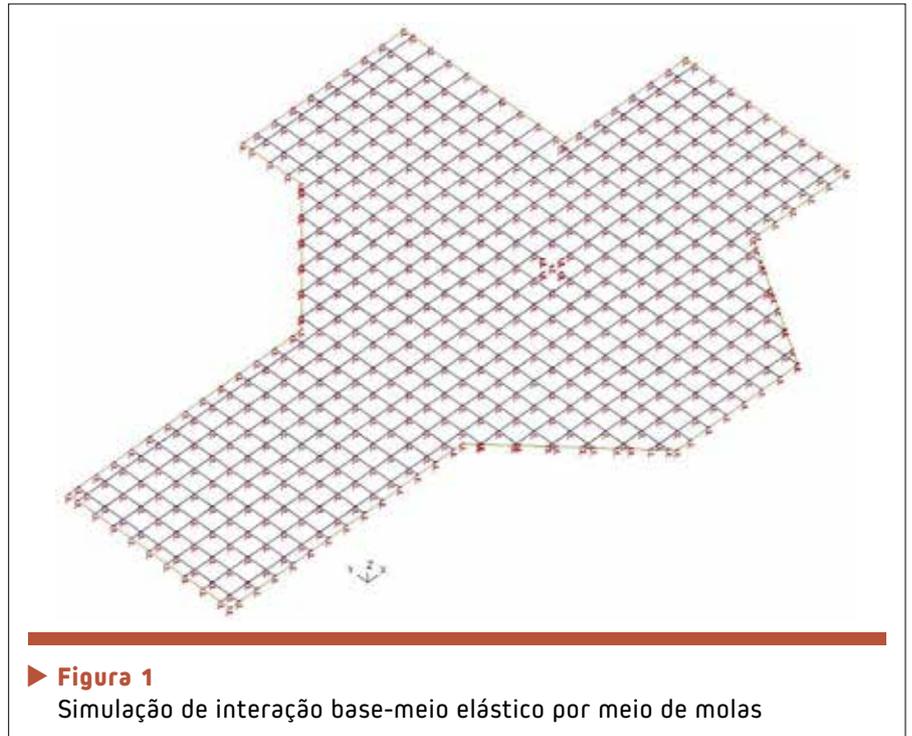
com comando CNC, que apresentam grande sensibilidade e que precisam de cuidados especiais em sua análise.

De acordo com a N-1848 (2011), o projeto das bases dos equipamentos, onde são consideradas suas fundações, que, em geral podem ser divididas em:

- a) Fundações superficiais;
- b) Fundações profundas;
- c) Fundações para equipamentos elevados.

Para elaboração dos projetos das fundações para os equipamentos são necessários as seguintes informações:

- 1) Parâmetros do solo: posição e natureza das camadas/perfil do solo; cota máxima do lençol freático; resistência à penetração, definida pelo ensaio SPT; massa específica do solo ( $\rho$ ); módulo de cisalhamento do solo ( $G$ ); coeficiente de Poisson ( $\nu$ ); e módulo de elasticidade do solo ( $E$ );
- 2) Documentos de fabricação do equipamento contendo: suas dimensões principais; posição do centro de gravidade do conjunto ou das partes componentes; fixação do equipamento à base/fundação (chumbadores, insertos); peso do conjunto ou dos elementos componentes do conjunto; frequências operacionais dos elementos componentes do conjunto; cargas dinâmicas (forças centrífugas, forças de inércia das massas móveis e momentos); frequências críticas de operação da máquina; amplitudes máximas permitíveis de vibração e momento de curto-circuito (para motores elétricos ou geradores);
- 3) Parâmetros geométricos da fundação: centroide da área da base, centro de gravidade do conjunto fundação + máquina, momento de inércia da área da base, momento de mas-



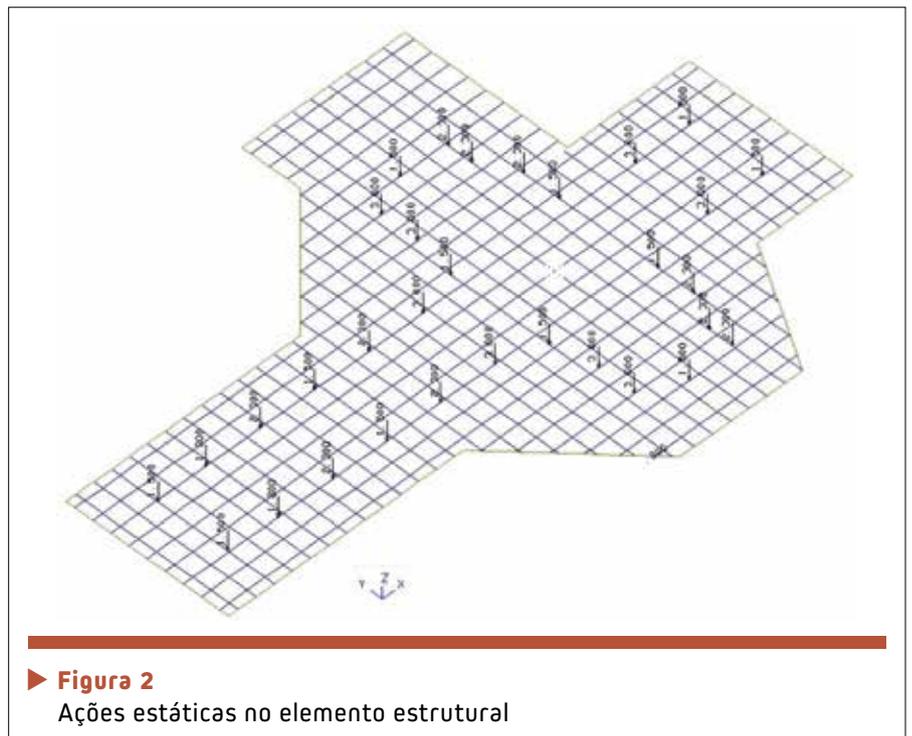
► **Figura 1**  
Simulação de interação base-meio elástico por meio de molas

sa do conjunto fundação + máquina.

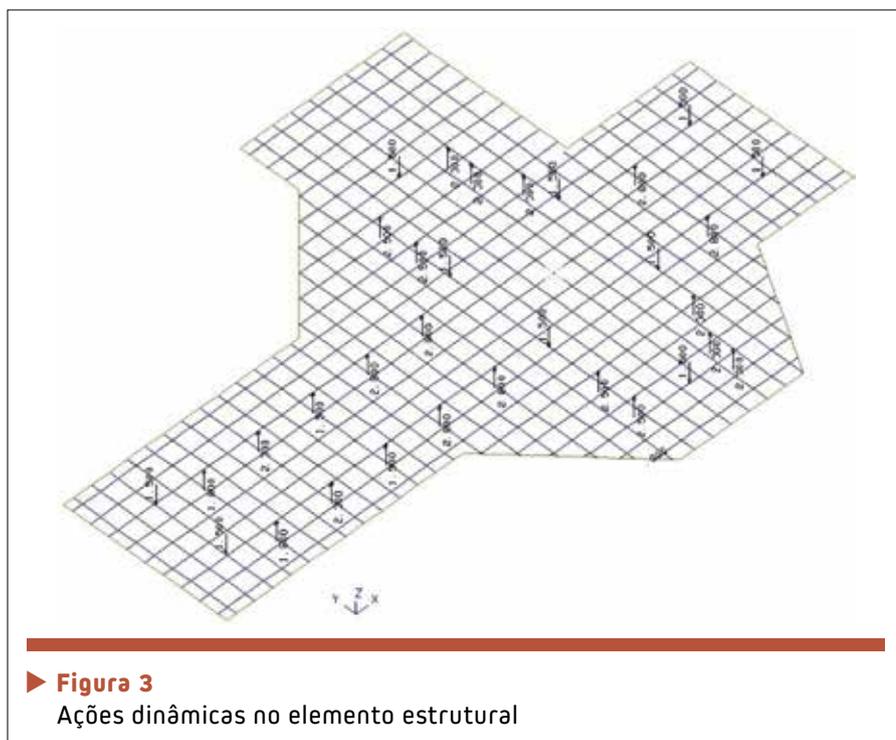
### 3. ANÁLISE ESTRUTURAL

O objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações na estrutura, visando encontrar os esforços

solicitantes nos elementos estruturais. Dessa forma, modelos realísticos devem ser tomados para essa análise, sendo necessário em muitos casos assumir mais de um modelo estrutural para realizar a análise dos esforços.



► **Figura 2**  
Ações estáticas no elemento estrutural

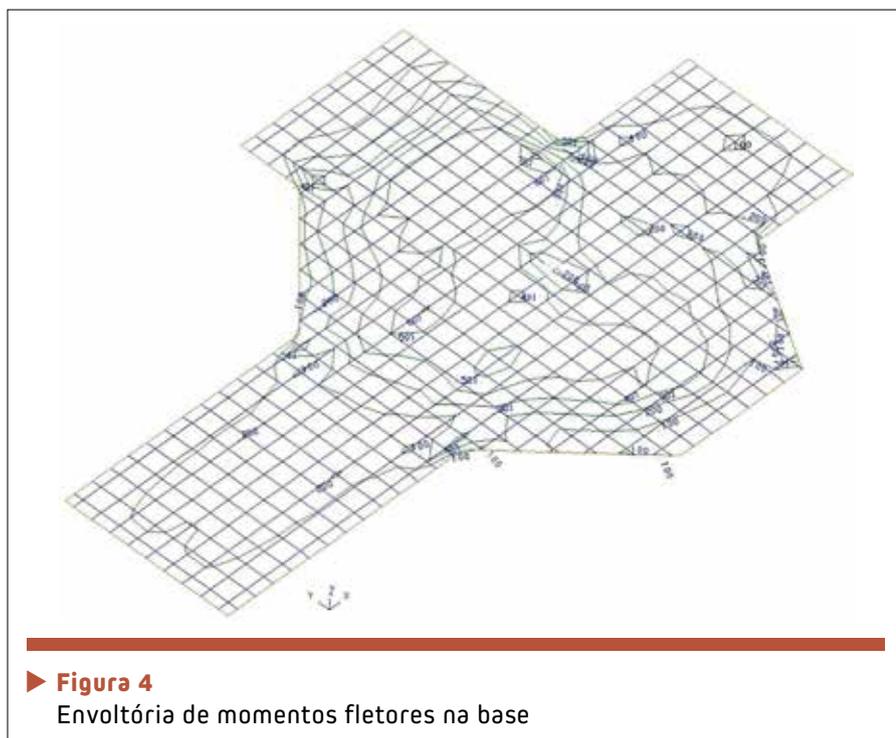


► **Figura 3**  
Ações dinâmicas no elemento estrutural

No caso de equipamentos com fundações superficiais, o modelo de placas apoiadas sobre meio elástico pode ser considerado um modelo realístico que permite uma análise estrutural adequada.

Nesse caso uma análise linear em

modelo de elementos finitos (barras) pode ser feita, considerando a real geometria da base e levando em consideração sua interação com o meio elástico através de apoios com molas, conforme mostra a Figura 1.



► **Figura 4**  
Envoltória de momentos fletores na base

Admite-se comportamento elástico-linear do CRF, utilizando o valor para o módulo de elasticidade e para o coeficiente de Poisson de acordo do concreto simples, sem adição de fibras. Assim, obtêm-se os esforços solicitantes no elemento estrutural para, então, fazer o dimensionamento do CRF.

Nessa hipótese, a consideração das ações na estrutura deve ser feita por meio de representações de ações consideradas estáticas sobre o elemento estrutural, conforme mostra a Figura 2, bem como de ações consideradas dinâmicas sobre o elemento estrutural mostradas na Figura 3.

Os esforços solicitantes predominantes são os momentos fletores, sendo necessário, então, conhecer a envoltória desses esforços, conforme se observa na Figura 4.

#### 4. DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Tendo como referência a Prática Recomendada IBRACON/ABECE “Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras”, no caso de placas com cargas perpendiculares ao seu plano (lajes), sem armadura longitudinal e com predominância de solicitação de flexão, a verificação da capacidade resistente pode ser feita com base no momento resistente  $m_{Rd}$  avaliado, considerando comportamento rígido-plástico do material CRF.

No Modelo Rígido-Plástico é utilizado como valor de referência único o valor de  $f_{Ftud}$ , que representa a resistência residual última de cálculo à tração do CRF, sendo dado pela seguinte expressão:

$$f_{Ftud} = \frac{f_{R3}}{3} \quad [1]$$

O valor de  $f_{R3}$  é obtido a partir ensaio de flexão (EN 14651, 2007), sendo



definido pela resistência residual à tração do CRF correspondente a abertura da boca de fissura igual a 2,5 mm (CMOD<sub>3</sub>), conforme mostram as Figuras 5 e 6. A partir da força F<sub>3</sub>, correspondente à aberta CMOD<sub>3</sub>, calcula-se a resistência à tração residual  $f_{R3} = \frac{3 \cdot F_3 \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$ , onde l, b e h são as dimensões do corpo de prova.

A partir do ensaio de flexão obtêm-se a relação Carga vs Deformação expressa pela abertura da boca da fissura CMOD (Crack Mouth Opening Displacement), conforme pode-se observar na Figura 6.

Assim, segundo a Prática Recomendada IBRACON/ABECE “Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras”, considerando a análise linear, o momento solicitante de cálculo deve ser inferior a m<sub>Rd</sub> obtido por meio da seguinte expressão:

$$m_{Rd} = \frac{f_{Ftud} \cdot t^2}{2} \quad [2]$$

O dimensionamento no ELU consiste em garantir que, no mínimo, o momento resistente de cálculo seja igual ao momento solicitante de cálculo, obtendo-se então o valor mínimo de f<sub>Ftud</sub>.

Com o valor de f<sub>Ftud</sub>, é possível estabelecer o valor de f<sub>R3</sub> para então ser possível a especificação do CRF.

## 5. EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

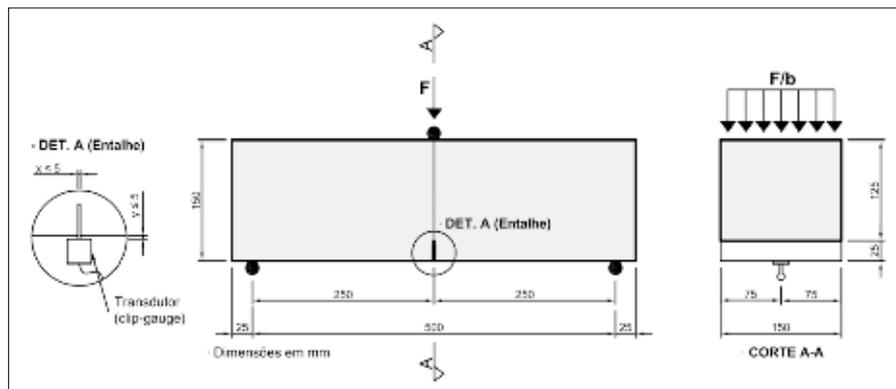
### a) Momento solicitante máximo

Considerando uma base para torno com comando CNC, a partir do cálculo da envoltória dos esforços solicitantes obtêm-se o momento fletor máximo (m<sub>Sk</sub>).

$$m_{Sk} = 6,53 \text{ tf} \cdot \text{m/m} = 65300 \text{ N} \cdot \text{mm/mm} \quad [3]$$

### b) Dimensionamento no ELU

b.1) Cálculo do valor da resistência



► **Figura 5**  
Ensaio de flexão em 3 pontos

residual última à tração do CRF (f<sub>Ftud</sub>).

$$m_{sd} = m_{Rd} = \frac{f_{Ftud} \cdot (t^2)}{2} \rightarrow 1,4 \cdot 65300 = \frac{f_{Ftud} \cdot (1100^2)}{2} \quad [4]$$

$$f_{Ftud} = 0,15 \text{ N/mm}^2 = 0,15 \text{ MPa}$$

b.2) Cálculo do valor da resistência residual característica à tração do CRF (f<sub>R3k</sub>).

$$f_{Ftud} = \frac{f_{R3d}}{3} \rightarrow 0,15 = \frac{f_{R3d}}{3} \rightarrow f_{R3d} = 0,45 \text{ MPa} \quad [5]$$

$$f_{R3d} = \frac{f_{R3k}}{1,5} \rightarrow 0,45 = \frac{f_{R3k}}{1,5} \rightarrow f_{R3k} = 0,68 \text{ MPa}$$

b.3) Cálculo dos valores da resistência característica à tração (f<sub>Lk</sub>) e da resistência residual característica

à tração (f<sub>R1k</sub>) do CRF.

Segundo a Prática Recomendada da IBRACON/ABECE “Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras”:

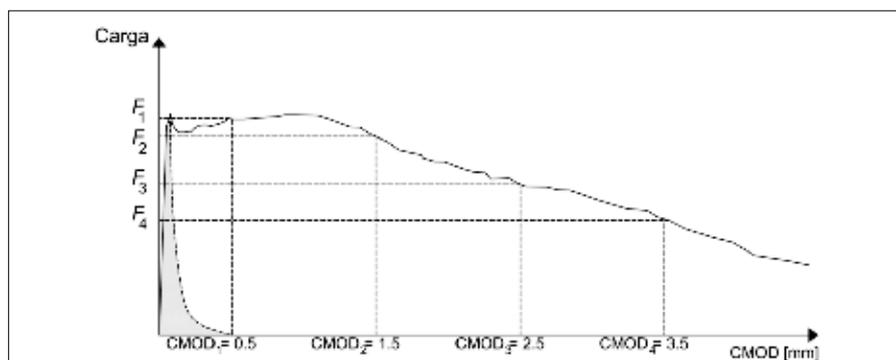
$$\frac{f_{R1k}}{f_{Lk}} \geq 0,40 \text{ e } \frac{f_{R3k}}{f_{R1k}} \geq 0,50 \quad [6]$$

Para um concreto C30, o valor de f<sub>Lk</sub> pode ser adotado igual a 3,00 MPa, então:

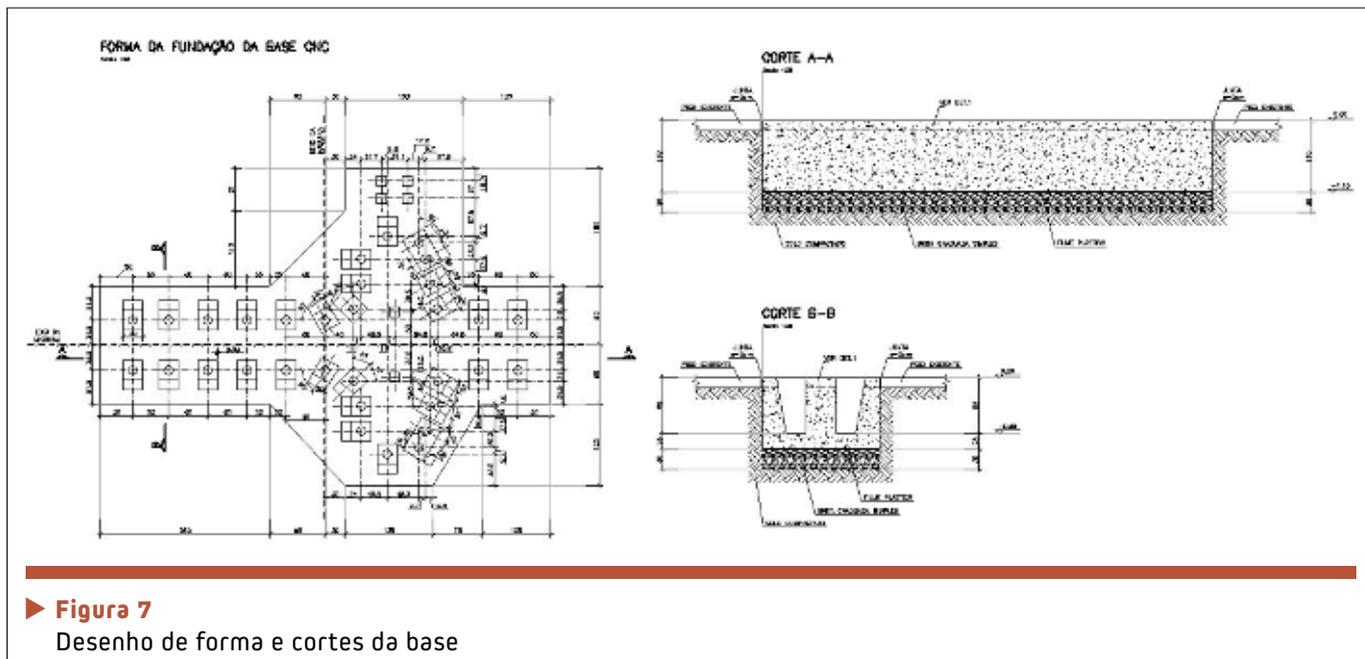
$$\frac{f_{R1k}}{3,00} \geq 0,40 \rightarrow f_{R1k} \geq 1,20 \text{ MPa} \quad [7]$$

Verificando a relação  $\frac{f_{R3k}}{f_{R1k}}$ :

$$\frac{0,68}{1,20} = 0,57 \geq 0,50 \cdot \text{OK!} \quad [8]$$



► **Figura 6**  
Curva carga – CMOD



► **Figura 7**  
Desenho de forma e cortes da base

### c. Especificação do CRF

#### c.1) Resistências características.

$$\begin{aligned} f_{Lk} &\geq 3,00 \text{ MPa} \\ f_{R1k} &\geq 1,20 \text{ MPa} \\ f_{R3k} &\geq 0,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

[9]

#### c.2) Resistências médias.

É usual que as informações sobre

resistências do CRF sejam em valores médios. Os valores médios podem ser considerados da seguinte forma:

$$f_{Rm} = \frac{f_{Rk}}{0,7} \quad [10]$$

Assim tem-se:

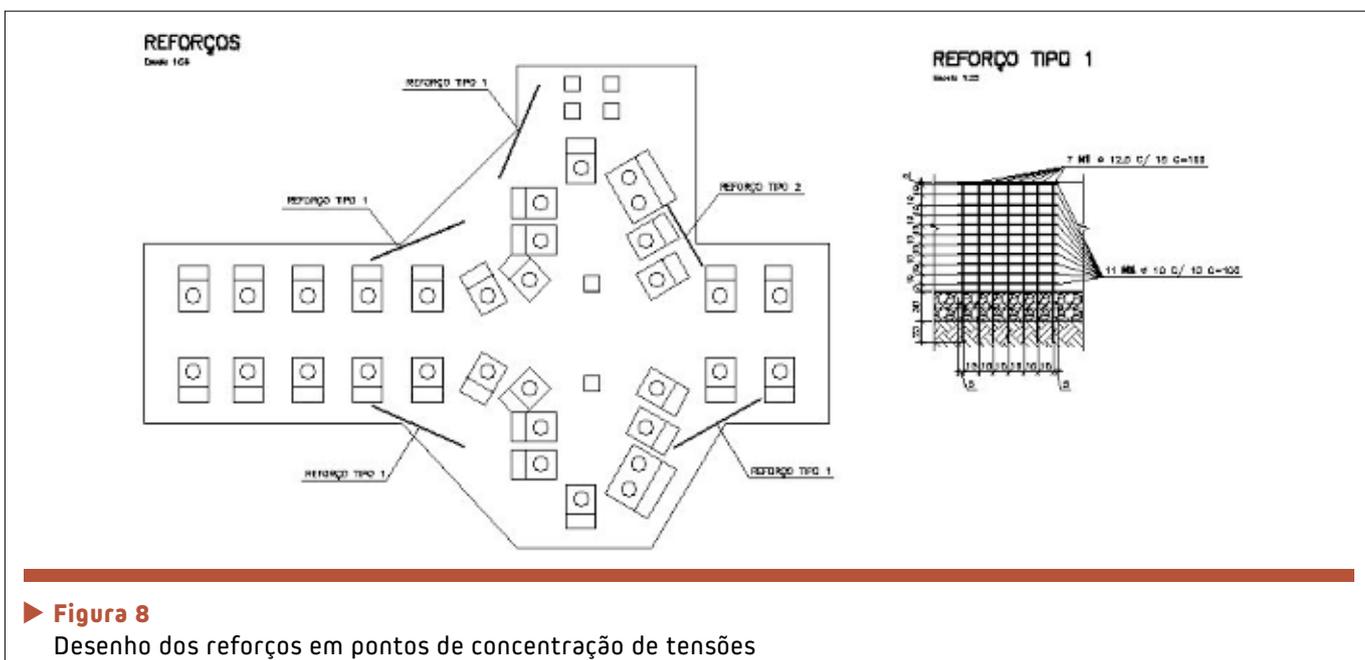
$$\begin{aligned} f_{Lm} &\geq 4,0 \text{ MPa} \\ f_{R1m} &\geq 1,71 \text{ MPa} \\ f_{R3m} &\geq 0,97 \text{ MPa} \end{aligned} \quad [11]$$

De acordo com a Prática Reco-

mendada IBRACON/ABECE o CRF deve ser especificado segundo sua Classe e Relação de Resistência Residual, seguindo o seguinte formato:

**CRF / Classe / Relação de Resistência Residual**

- CRF – Concreto Reforçado com Fibras;
- Classe – Resistência Residual



► **Figura 8**  
Desenho dos reforços em pontos de concentração de tensões





► **Figura 9**  
Base executada

Característica –  $f_{R1k}$ , representando o intervalo de resistência;

- Relação de Resistência Residual - Letras a, b, c, ou d, representando a razão entre a Resistência Residual Característica Última e a Resistência Residual Característica de Serviço –  $f_{R3k} / f_{R1k}$ .

Assim, para o exemplo tem-se:

**CRF Classe 1,5a**

- CRF – Concreto Reforçado com Fibras
- Classe – Resistência residual característica  $f_{R1k}$ , representando o intervalo de resistência entre 1,5 MPa e 2,0 MPa.

- Relação de resistência residual – Letra **a** ( $0.5 < f_{R3k} / f_{R1k} \leq 0.7$ ).

**d) Desenhos da base**

Os desenhos do projeto da base devem contemplar o desenho de forma (com locação de nichos para chumbadores e detalhes), conforme Figura 7, e o desenho da armadura se resume ao detalhamento dos reforços que eventualmente sejam necessários, conforme Figura 8. Na Figura 9 é possível observar a base executada. ◀

► **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] MACHADO, F. G. Estudo do comportamento de fundações submetidas a vibrações de máquinas. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.  
 [2] Prática Recomendada IBRACON/ABECE: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras. Ed. IBRACON/ABECE, 2016.  
 [3] Projeto de Fundações de Máquinas. CONTEC. N-1848, Petrobrás, 2011.

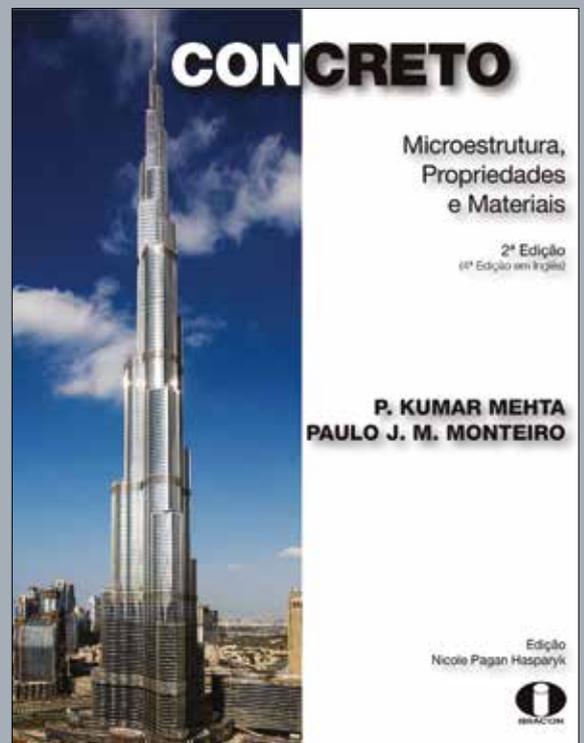
# Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais

- **Autores** P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro (Universidade da Califórnia em Berkeley)
- **Coordenadora da edição em português** Nicole Pagan Hasparyk (Eletrobras Furnas)
- **Editora** IBRACON • 4ª edição (inglês) • 2ª edição (português)

Guia atualizado e didático sobre as propriedades, comportamento e tecnologia do concreto, a quarta edição do livro "Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais" foi amplamente revisada para trazer os últimos avanços sobre a tecnologia do concreto e para proporcionar em profundidade detalhes científicos sobre este material estrutural mais amplamente utilizado. Cada capítulo é iniciado com uma apresentação geral de seu tema e é finalizado com um teste de conhecimento e um guia para leituras suplementares.

→ **Informações:** [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

**DADOS TÉCNICOS**  
 ISBN / ISSN: 978-85-98576-21-3  
 Edição: 2ª edição  
 Formato: 18,6 x 23,3cm  
 Páginas: 782  
 Acabamento: Capa dura  
 Ano da publicação: 2014



Patrocínio



# Especificações e recomendações técnicas do concreto reforçado com fibras para pisos

Criado em 2011 por representantes de fornecedores de fibras e de escritórios de projeto de pisos de concreto, o Comitê Técnico de Concreto Reforçado com Fibras da Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (Anapre) teve o objetivo de discutir questões técnicas e lançar recomendações sobre o concreto reforçado com fibras para pisos industriais.

Do trabalho do Comitê saíram quatro recomendações técnicas: especificações de fibras de aço para concreto em pisos industriais; especificações de macrofibras sintéticas para pisos industriais; recomendações para aplicação de macrofibras sintéticas ou de fibras de aço para pisos industriais; e glossário dos termos associados ao tema.

As especificações das fibras de aço trazem a conceituação das fi-

bras de aço, suas características, classificação, tolerância dimensional e propriedades segundo a ABNT NBR 15530:2007. Além disso, são especificados no documento os parâmetros de tenacidade, durabilidade, amostragem, embalagem e armazenamento.

Já, as especificações para as macrofibras sintéticas indicam as características obrigatórias de serem fornecidas pelos fabricantes,



com suas respectivas tolerâncias (diâmetro, comprimento, módulo de elasticidade, tipos de polímeros, tratamento superficial, forma e propriedades térmicas) e as características mínimas de seu desempenho no concreto (tenacidade e durabilidade), além de dividir responsabilidades entre projetistas e fornecedores no uso das macrofibras no concreto. Merece destaque o anexo dessas especificações, que traz os procedimentos para o ensaio de durabilidade dessas macrofibras sintéticas em meio alcalino.

Por sua vez, as recomendações para aplicação das fibras de aço ou macrofibras sintéticas são um conjunto de recomendações para recebimento, armazenagem e adição à betoneira das fibras ou macrofibras, por um lado, e para o recebimento, descarga do caminhão, adensamento, compactação, acabamento superficial do concreto reforçado com fibras, por outro, inclusive as recomendações para a moldagem de corpos de prova.

### MERCADO ONTEM E HOJE

Os documentos, publicados em 2012 no site [www.anapre.org.br](http://www.anapre.org.br), são dirigidos aos fornecedores de fibras estruturais, concreteiras, construtoras, executores de pisos, projetistas e clientes finais de obras de pisos.

“As especificações e recomendações do Comitê de Fibras da Anapre surgiram num momento em que o mercado estava imerso numa profusão de novos materiais, carecendo de informações técnicas imparciais e orientadoras. Por isso, a iniciativa foi importante para orientar o mercado de pisos quanto à correta especificação de produtos e os meios



adequados para sua incorporação no concreto”, contextualiza o diretor administrativo da Anapre, Eng. Júlio Portella Montardo, que foi um dos coordenadores do Comitê Técnico, desfeito em 2014.

Na sua avaliação, por se basearem principalmente nas normas em vigor ABNT NBR 15530 (2007), ASTM C 1609 (2006) e JSCE-SF04 (1984), os documentos continuam válidos para o mercado de pisos industriais.

Com a consolidação do entendimento sobre os limites para o uso de cada fibra e com a movimentação no setor para a publicação de normas técnicas nacionais específicas para essas fibras e para a revisão da ABNT NBR 15530:2007, a iniciativa pioneira do Comitê Técnico de Fibras da Anapre foi retomada e expandida pelo Comitê Técnico 303 do IBRACON e da Abece sobre o uso de materiais não convencionais para estruturas de concreto, fibras e concreto reforçado com fibras. “O CT 303 passou a conduzir os trabalhos para recomendações técnicas num arcabouço mais amplo de critérios de dimensionamentos

estruturais, não abrangendo apenas as estruturas continuamente apoiadas, como os pisos industriais, mas também as estruturas aporricadas, recobrimo por completo as aplicações do concreto reforçado com fibras”, explica Montardo.

No ano passado, o CT 303 lançou a Prática Recomendada “Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras”, com diretrizes para o desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto reforçado com fibras, apoiadas ou não em meio elástico. Para este ano, o Comitê prevê publicar mais seis práticas recomendadas sobre o assunto (ver “Coluna Institucional” nesta edição).

“A Prática Recomendada IBRACON/Abece ampliou o escopo de utilização do CRF para fins estruturais, ao possibilitar soluções combinadas – estruturas com armaduras convencionais associadas com fibras – que aproveitam a sinergia de ambos elementos de reforço, acompanhando uma tendência de âmbito globalizado, sendo uma atualização necessária para a Engenharia Civil Brasileira”, finaliza Montardo. 🏗️

# Contribuição das fibras de aço para o dimensionamento à flexão de viga armada

LÍGIA VITÓRIA REAL – DOUTORANDA  
 ANDRÉ BALTAZAR NOGUEIRA – MESTRANDO  
 LUANA SIMÃO – MESTRANDA  
 ANTONIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO – PROFESSOR DOUTOR

ALINE DA SILVA RAMOS BARBOZA – PROFESSORA DOUTORA  
 CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA  
 DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

## I. INTRODUÇÃO

concreto reforçado com fibras (CRF) vem sendo utilizado com o intuito de reduzir a fragilidade e evitar a ruptura brusca de elementos estruturais. As fibras agem como pontes de transferência de tensão através das fissuras, possibilitando que o concreto apresente maiores deformações na carga de pico, bem como tenha maior capacidade de carga pós-fissuração. Ou seja, há aumento da ductilidade e da resistência residual à tração do material (FIGUEIREDO, 2011).

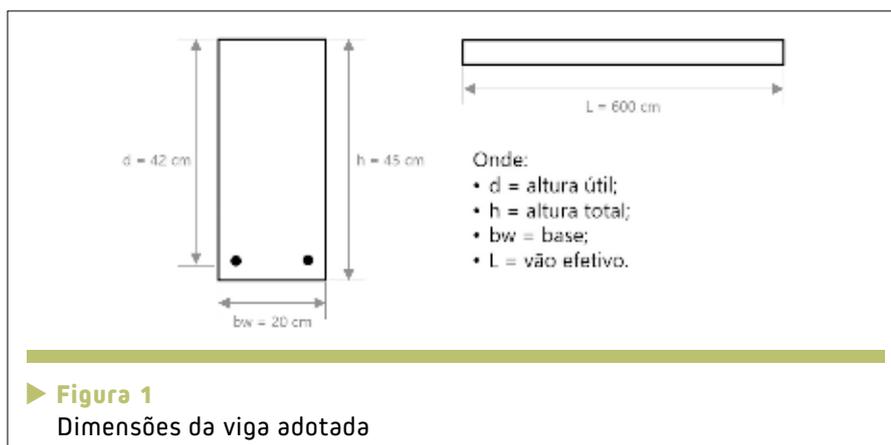
Com a adição de fibras no concreto também há aumento da tenacidade

do material, ou seja, aumento da capacidade de absorção de energia até a ruptura, e o controle da fissuração com o aumento da capacidade de deformação antes da plastificação (tanto o mecanismo de abertura quanto a espessura das fissuras são limitados). Consequentemente, há redução da entrada de agentes agressivos e consequente aumento da durabilidade.

Apesar do material já ter sido muito aplicado no Brasil em pavimentos e em concreto projetado, ainda existe a carência de um código ou norma nacional que norteie os engenheiros e demais profissionais envolvidos quanto ao dimensionamento e aplicação do

CRF para uso estrutural de maior responsabilidade. Com o intuito de ampliar a aplicação do material, o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), através do Comitê 303, vem desenvolvendo práticas recomendadas e projetos de normas técnicas que prescrevem tanto um modelo de dimensionamento para estruturas em CRF quanto métodos de controle tecnológico do material. Esses estão fortemente alinhados com as diretrizes para projeto de concreto reforçado com fibras de aço definidas pelo *fib* Model Code 2010 (2013). O documento possui capítulo dedicado ao controle tecnológico que leva em consideração a resistência residual pós-fissuração do concreto ( $f_{R3}$ ) como parâmetro básico de dimensionamento. O valor de  $f_{R3}$  é determinado através da ruptura de prismas à tração na flexão, método normatizado pela EN 14651 (2007).

Para avaliar o equacionamento proposto pelo *fib* Model Code 2010 (2013) e a contribuição das fibras de aço para os esforços de flexão, desenvolveu-se um roteiro simplificado de dimensionamento de uma viga de concreto armado



► **Figura 1**  
 Dimensões da viga adotada

submetida à flexão, o qual se encontra apresentado neste trabalho.

## 2. PARÂMETROS E CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

Para a análise foi considerada uma viga de concreto armado simplesmente apoiada, submetida à flexão, com características geométricas indicadas na Figura 1.

As cargas consideradas para efeito de dimensionamento, apresentadas no Quadro 1, foram definidas seguindo as recomendações da ABNT NBR 6120 - Cargas em edificações (1980).

O dimensionamento da armadura longitudinal à flexão foi realizado em três considerações distintas:

- ▶ Área de aço ( $A_s$ ) para concreto armado sem fibras pela ABNT NBR 6118 (2014);
- ▶ Área de aço ( $A_s$ ) para concreto armado sem fibras pelo *fib Model Code* 2010 (2013) e;
- ▶ Área de aço ( $A_s$ ) para concreto armado reforçado com fibras de aço para três teores distintos (20, 30 e 45 kg/m<sup>3</sup>) pelo *fib Model Code* 2010 (2013).

O aço utilizado para o dimensionamento foi o CA-50 e a resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) do concreto foi igual a 45 MPa. Para determinar as resistências residuais à tração ( $f_{Rd}$ ), necessárias para o dimensionamento do CRF, foram realizados ensaios de tração na flexão (EN 14651, 2007) para os traços apresentados na Tabela 1, com fibras de aço normalmente utilizadas em concretos produzidos no Brasil, em teores iguais a 20, 30 e 45 kg/m<sup>3</sup>. As fibras são do tipo A1 (ABNT NBR 15530, 2007), baixo teor de carbono, fator de forma e comprimento 80/60, com resistência nominal à tração igual a 1.225 MPa e módulo de elasticidade igual a 210.000 MPa.

Para o dimensionamento do elemento viga foram realizados estudos prévios de dosagem para caracte-

rização do CRF, de modo a atender às recomendações de boas práticas. No caso específico do programa

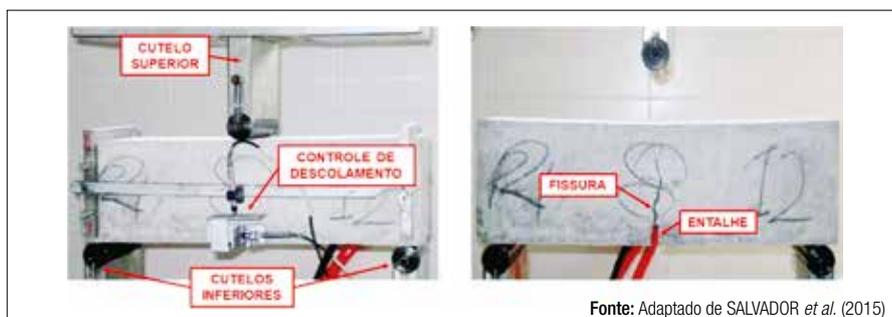
▶ Quadro 1 – Cargas consideradas para dimensionamento (indicar os valores adotados para os carregamentos em kn/m considerados sobre a viga)

Cargas permanentes		
Item	Dimensões	Observação
Alvenaria de fechamento em blocos de concreto	Altura: 280 cm Espessura: 23 cm	Considerada sobre a viga
Laje maciça quadrada	Altura: 16 cm Vão efetivo: 600 cm	Simplemente apoiada em quatro vigas de borda
Contrapiso em argamassa	Espessura: 3 cm	–
Revestimento cerâmico	Espessura: 1 cm	–
Revestimento simples em argamassa de cal	Espessura: 2 cm	No teto (fundo da laje)

Carga acidental: 5,0 kN/m<sup>2</sup> (locais com alta concentração de pessoas)

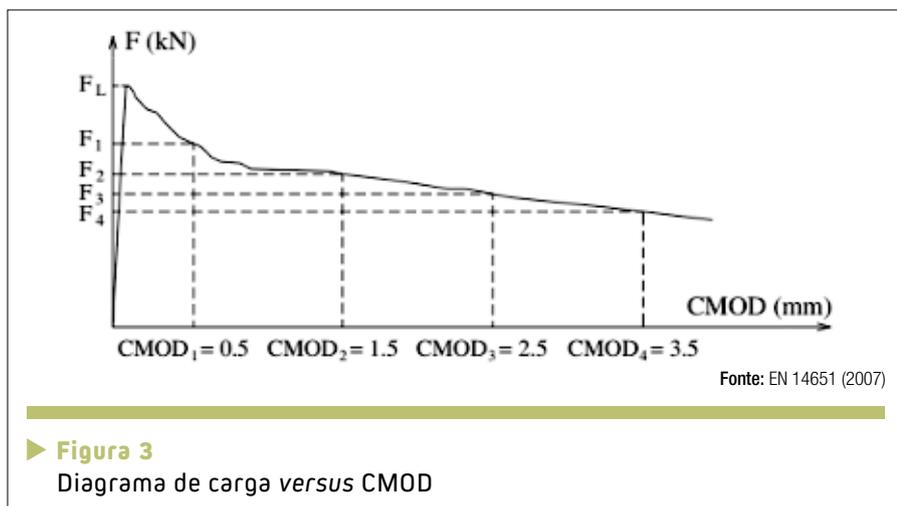
▶ Tabela 1 – Traços de concreto utilizados para definição da resistência residual

Materiais		Traços (por m <sup>3</sup> )		
		T20	T30	T45
Cimento	CP V ARI RS	400 kg	400 kg	400 kg
Areia 1	Quartzo (Concesand)	406 kg	404 kg	401 kg
Areia 2		271 kg	269 kg	267 kg
Brita 0	Artificial (Embú Perus)	330 kg	330 kg	330 kg
Brita 1		770 kg	770 kg	770 kg
Água	Rede Sabesp	172 L	172 L	172 L
Aditivo	Viscocrete 20 HE (Sika)	2,11 L	2,12 L	2,30 L
Fibra	Aço 60/80 (Dramix RC 80/60 BN)	20,0 kg	30,0 kg	45,0 kg
Silica	Ativa (Silmix)	22,0 kg	22,0 kg	22,0 kg



Fonte: Adaptado de SALVADOR *et al.* (2015)

▶ Figura 2  
Esquema do ensaio de flexão de prisma conforme EN 14651 (2007)



► **Figura 3**  
Diagrama de carga versus CMOD

experimental deste estudo, o deslocamento vertical foi controlado através de LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), conforme pode ser observado no esquema apresentado na Figura 2.

O resultado típico obtido no ensaio de tração na flexão do CRF é expresso por uma curva carga versus deformação, representada pela abertura da fissura e expressa pelo CMOD (*Crack*

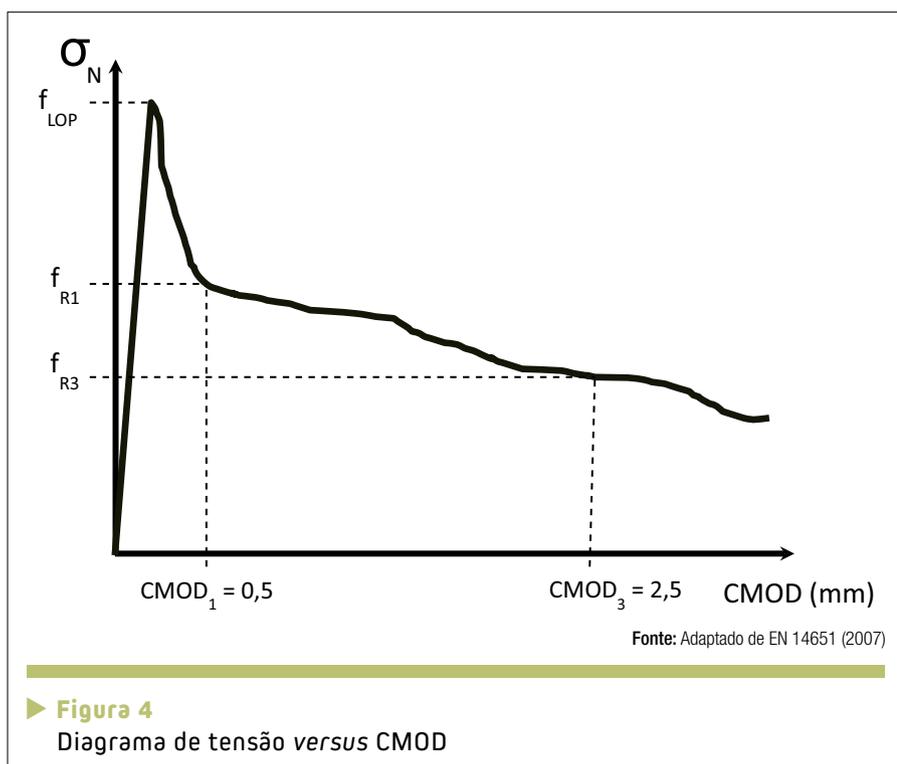
*Mouth Opening Displacement*), conforme exposto na Figura 3.

A partir desse diagrama apresentado na Figura 2 (Carga versus CMOD), obtém-se a resistência residual à tração através da Equação (1):

$$f_{R,j} = \frac{3.F_j.l}{2.b.h_{sp}^2} \quad [1]$$

Onde:

$f_{R,j}$ : é a resistência residual à tração



► **Figura 4**  
Diagrama de tensão versus CMOD

do CRF correspondente CMODj (MPa);  $F_j$ : é a carga correspondente ao CMODj (N);

$l$ : é o vão de ensaio do corpo de prova (mm);

$b$ : é a largura do corpo de prova (mm);

$h_{sp}$ : é a distância entre a ponta do entalhe e a face superior do corpo de prova (mm).

Para a determinação das resistências pós-fissuração, assume-se um comportamento elástico linear de modo a simplificar as determinações e, a partir dos resultados obtidos para deformação (expressos em CMOD) e das resistências calculadas conforme a Equação (1), é possível determinar a resistência residual característica de serviço ( $f_{R1k}$ ) e resistência residual última ( $f_{R3k}$ ). Conforme pode ser observado na Figura 4, o  $f_{R1k}$  corresponde à resistência respectiva ao CMOD = 0,5 mm e o  $f_{R3k}$  ao CMOD = 2,5 mm.

### 3. EQUAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO DA VIGA

O dimensionamento da seção de concreto armado, seja pela ABNT NBR 6118 (2014), seja pelo fib Model Code 2010 (2013), considera o modelo apresentado na Figura 5, que propõe uma distribuição retangular de tensão de compressão (dimensões do diagrama de compressão de 0,8.x por  $\sigma_{cc}$ ) e resistência à tração nula para o concreto. O equilíbrio de forças impõe que resultantes de tração ( $R_{st}$ ) e compressão ( $R_{cc}$ ) sejam iguais. O equilíbrio de deformações impõe que o alongamento na armadura tracionada ( $\epsilon_{sd}$ ) e o encurtamento do concreto comprimido ( $\epsilon_{cd}$ ) sejam delimitados pela posição da linha neutra (LN).

O modelo da Figura 5 considera que as resultantes de compressão devem estar em equilíbrio com as resultantes de tração, ou seja:



$$R_{cc} = R_{st} \quad [2]$$

Ou, escrevendo em função da tensão:

$$\sigma_{cd} \cdot A_c = \sigma_{st} \cdot A_s \quad [3]$$

Onde:

$\sigma_{cd}$ : tensão de compressão no concreto (MPa);

$A_c$ : área de concreto (mm<sup>2</sup>);

$\sigma_{st}$ : tensão de tração no aço (MPa);

$A_s$ : área de aço (mm<sup>2</sup>).

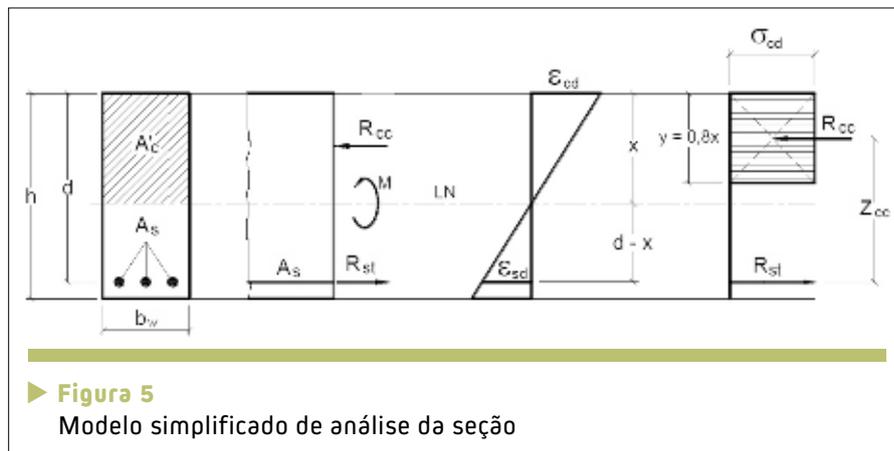
Dessa forma, é possível realizar o equilíbrio entre momentos solicitantes ( $M_{solic}$ ) e momentos resistentes ( $M_{resist}$ ), que deve ser igual ao momento solicitante de cálculo ( $M_{Sd}$ ).

$$M_{solic} = M_{resist} = M_{Sd} \quad [4]$$

Por meio da Figura 5, deduz-se que o braço de alavanca ( $Z_{cc}$ ) é igual a  $(d-0,4X)$ , tornando possível achar as equações que determinam a altura da linha neutra ( $X$ ) e a área de armadura ( $A_s$ ).

### 3.1 Dimensionamento do concreto armado – ABNT NBR 6118 (2014)

A ABNT NBR 6118 (2014), para combinações de ações normais, estabelece coeficiente de ponderação das ações normais no ELU igual a 1,4. O coeficiente de ponderação da resistência no ELU é definido igual a 1,4 para o concreto e 1,15 para o aço (combinação normal). Outro aspecto relevante prescrito pela norma brasileira é a adoção do coeficiente de redução de resistência ao longo do tempo igual a 0,85 sobre o valor de  $\sigma_{cd}$  para concretos com  $f_{ck} \leq 50$  MPa. Essa minoração é devido à carga ser de longa duração, ocasionando o efeito Rusch, combinados com o efeito de escala e o ganho de resistência após os 28 dias de idade (Fusco, 2012). A determinação do momento resistente de cálculo, posição



► **Figura 5**  
Modelo simplificado de análise da seção

da linha neutra e área de armadura é baseada na Equação (5).

$$M_{Rd} = 0,68b_w x f_{cd} (d - 0,4X) \quad [5]$$

### 3.2 Dimensionamento do concreto armado – fib Model Code 2010 (2013)

No *fib Model Code 2010* (2013) os coeficientes ponderação das ações e da resistência concreto são diferentes da norma brasileira. Para ações permanentes, o coeficiente é igual a 1,35 e para cargas acidentais, 1,5. Para determinar a resistência cálculo, o coeficiente de minoração é igual a 1,5 para o concreto e 1,15 para o aço.

Outro ponto divergente é o fato do *fib Model Code 2010* (2013) não adotar o coeficiente de 0,85 para minorar o valor de  $\sigma_{cd}$ . Segundo o código, para dimensionamentos convencionais, assume-se que o aumento na resistência à compressão após 28 dias pela hidratação contínua do cimento compensa os efeitos provocados por cargas de longa duração. Além disso, prevê-se no *fib Model Code 2010* (2013) o efeito de sismos, que, de certa forma, anula o efeito geométrico e diminui a importância relativa das cargas estáticas para a segurança global das estruturas, o que não ocorre no Brasil.

Por último, o *fib Model Code 2010* (2013) adota, ainda, a resultante  $R_{cc}$  fora do centro do diagrama de compressão, com distância entre a fibra mais comprimida e a força de compressão igual a  $0,45 \cdot x$ . Assim, o momento último é determinado através da Equação (6).

$$M_{Rd} = 0,8b_w x f_{cd} (d - 0,45x) \quad [6]$$

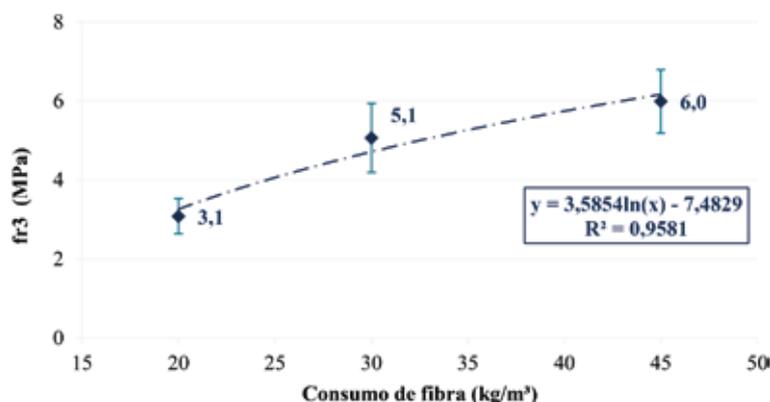
### 3.3 Dimensionamento do concreto armado reforçado com fibras – fib Model Code 2010 (2013)

De acordo com o dimensionamento proposto pelo *fib Model Code 2010* (2013), a contribuição da fibra para uma viga de concreto armado se dá no momento de cálculo somando-se o momento resistente devido ao uso do CRF ( $M_u$ ) com o momento resistente devido à armadura ( $M_{resist}$ ), alterando a Equação (3) para a Equação (7), exposta a seguir.

$$M_{solic} = M_{resist} + M_u = M_{Rd} \quad [7]$$

O momento resistente devido ao uso do CRF ( $M_u$ ) depende da resistência residual à tração direta do CRF e é determinado através da Equação (8):

$$M_u = \frac{f_{Flu} b h_{sp}^2}{2} \quad [8]$$



► **Figura 6**  
Resultados de resistência residual à tração no ELU ( $f_{R3}$ )

Onde:

$b$ : base da viga (mm);

$h_{sp}$ : a altura da viga (mm);

$f_{Flu}$ : resistência residual à tração direta do CRF (MPa).

É válido destacar que há basicamente três tipos de ensaios para determinação da resistência à tração do concreto: tração direta, tração indireta e tração na flexão. Nos ensaios de tração direta, toda a seção do corpo de prova é submetida apenas a esforços de tração uniaxial, de forma que os valores obtidos de tensão-deformação não são superestimados, como ocorre no ensaio de tração na flexão.

O ensaio de tração direta permite a identificação da relação tensão-deformação, ao mesmo tempo que exige uma geometria específica para a amostra de ensaio como prevenção para um modo de ruptura indesejado. Já o ensaio de flexão em três ou quatro pontos, utilizando amostras de vigas,

proporciona uma maior facilidade de ensaio. Entretanto, na prática, as fibras são solicitadas por tração direta. Por isso, o fib Model Code 2010 (2013) propõe uma compatibilização da resistência à tração residual no estado limite último ( $f_{Flu}$ ) a partir da resistência residual ( $f_{R3}$ ), que é determinada a partir do ensaio de tração na flexão prescrito pela norma EN 14651 (2007), a partir da Equação (9).

$$f_{Flu} = \frac{f_{R3}}{3} \quad [9]$$

Essa compatibilização é proveniente de uma simplificação algébrica, igualando equações de cálculo de momento considerando uma distribuição uniforme de tensões, que ocorre no ensaio de tração direta, e uma distribuição linear de tensões, que ocorre no ensaio de flexão. Essa compatibilização é apresentada na Equação (10) (fib MODEL CODE, 2013).

$$M_u = \frac{f_{R3} b h_{sp}^2}{6} = \frac{f_{Flu} b h_{sp}^2}{2} \quad [10]$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resistência residual à tração no Estado Limite Último

A dosagem que apresentou o maior valor de  $f_{R3}$ , como pode ser observado na Figura 6, foi a de 45 kg/m³, sendo 1,94 vezes superior ao  $f_{R3}$  obtido para o teor de 20 kg/m³. Em comparação a do CRF com 30 kg/m³ de fibras, houve um acréscimo de 17%. Os experimentos para os traços T20, T30 e T45, respectivamente, apresentaram coeficientes de variação iguais a 14%, 17%, 13%.

É possível identificar a partir dos resultados apresentados que à medida que se aumentou o teor fibras, a resistência residual  $f_{R3}$  também aumentou, conforme esperado. Observa-se na Figura 6 que esse ganho não foi linear, mas sim logarítmico, com um coeficiente de determinação igual a 96%, em concordância com o apresentado por Salvador & Figueiredo (2013).

### 4.2 Armadura

A partir das Equações (5) e (6) foram determinadas as alturas das linhas neutras e verificada a armadura de flexão necessária para cada caso dimensionado da viga. Com os resultados de  $f_{R3}$  obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão foi possível determinar os valores de  $f_{Flu}$  (resistência à tração direta) com base na Equação (9). A partir daí, calculou-se a contribuição do CRF no momento resistente através da Equação (8). O resumo dos resultados obtidos está apresentando na Tabela 2.

É possível notar que tanto pela ABNT NBR 6118 (2014) quanto pelo

► **Tabela 2 – Dimensionamento da viga**

Referência	Teor de fibras	$M_{sd}$ (kN.cm)	$M_{Ru}$ (kN.cm)	x (cm)	$A_s$ (cm²)
ABNT NBR 6118 (2014)	0	19.940	–	12,3	12,4
	0	19.734	–	10,9	12,1
fib Model Code 2010 (2013)	20 kg/m³	19.734	2.079	10,9	10,8
	30 kg/m³	19.734	3.416	10,9	10,0
	45 kg/m³	19.734	4.043	10,9	9,6



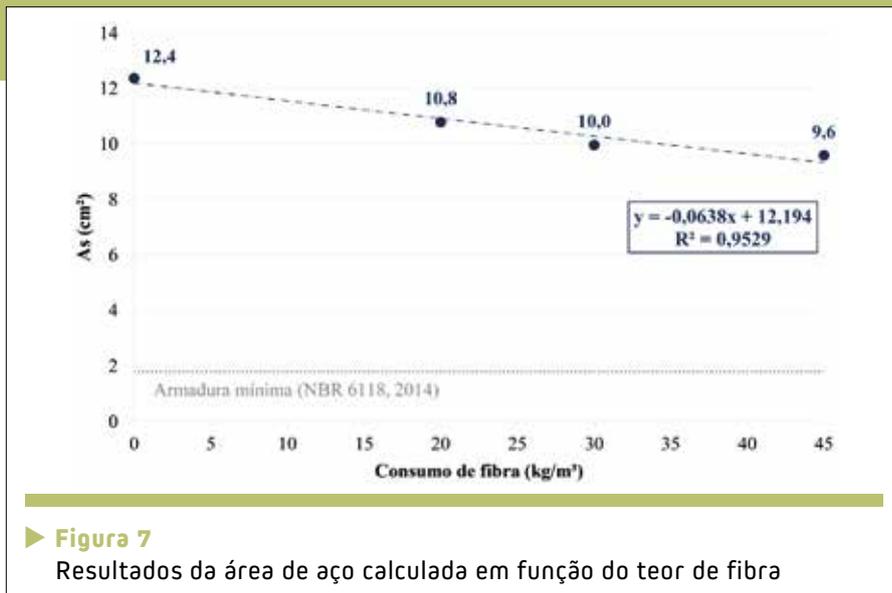
*fib* Model Code 2010 (2013), os resultados do momento resistente ( $M_{Rd}$ ) e da área final de armadura foram bem próximos entre si, para o caso do dimensionamento sem considerar as fibras.

Ao se comparar a viga dimensionada a partir da ABNT NBR 6118 (2014) com as reforçadas com fibras, tem-se reduções na área de aço iguais a 11, 17 e 21%, para os traços T20, T30 e T45, respectivamente. Observa-se na Figura 7 que houve uma tendência linear na redução da armadura ao se aumentar o teor de fibras do compósito, com coeficiente de determinação, a partir de regressão linear, igual a 0,95. Essa regressão linear é um ponto positivo, pois poderia facilitar uma interpolação de dados para outras dosagens de fibras, tornando admissível prever e estimar a área de aço necessária para resistir à flexão ao se utilizar outros teores de fibras, dentro da faixa dos teores inicialmente ensaiados em laboratório.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo avaliar o equacionamento proposto pelo *fib* Model Code 2010 (2013) e a contribuição das fibras no dimensionamento a flexão de uma viga de concreto armado submetida. Após a avaliação, tem-se como considerações finais:

► A correlação entre a dosagem de fi-



► **Figura 7**  
Resultados da área de aço calculada em função do teor de fibra

bras e o aumento do  $f_{R3}$  foi dada por uma equação logarítmica, indicando que, para haver ganhos de resistência estatisticamente significativos, é necessário incorporar um alto teor de fibras ao CRF (tais avaliações prévias ao dimensionamento de estruturas de CRF são fundamentais);

- Observaram-se baixas reduções na área de armadura convencional ao se incorporar fibras ao dimensionamento; assim, a viabilidade econômica do uso do CRF para estruturas fletidas não ocorre pela mera consideração de sua contribuição na flexão;
- Ainda são necessários estudos no processo de dimensionamento e modelagem do CRF, de modo a incorporar modelos que melhor representem a resistência à tração nas equações e dimensionamento – a estratégia apre-

sentada pelo *fib* Model Code 2010 (2013), compatibilizando um ensaio para avaliar a resistência à tração na flexão com a tração direta pode estar reduzindo a eficiência do uso de fibras em um sistema híbrido com o concreto armado para reforço estrutural;

- É necessário avaliar os benefícios em se aplicar o CRF no Estado Limite de Serviço, verificando deformações e aberturas de fissuras;
- Ressalta-se que esse estudo foi realizado para uma viga simplesmente apoiada, sendo verificado apenas o esforço de flexão; ainda são necessárias avaliações que levem em consideração a peça em uma estrutura global, considerando outros esforços, como torção e cisalhamento, redistribuição de esforços e transferências de cargas, bem como solicitações dinâmicas. 📧

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] \_\_\_\_\_. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- [3] EN – EUROPEAN STANDARD. EN 14651 - 07 - Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual). Edition: 2007-12-01.
- [4] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland, 2013. 402p.
- [5] FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras. 248p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [6] FUSCO, P. B. Tecnologia do Concreto Estrutural. 2ª. Edição. Editora PINI. 2012. 200p.
- [7] GUIMARÃES, M. C. N. FIGUEIREDO, A. D. Análise da repetibilidade e reprodutividade do ensaio de tenacidade à flexão dos concretos. In: 44º Congresso Brasileiro de Concreto, Belo Horizonte, 2002.
- [8] SALVADOR, R. P.; FIGUEIREDO, A. D. Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço. In: Revista Matéria, artigo 11498, pp.1273-1285, 2013.
- [9] WUA, M. JOHANNESSON, B.; GEIKER, M. A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material. In: Construction and Building Materials, v. 28, pp. 571–583, 2012.

# Os desafios da avaliação da trabalhabilidade do concreto com fibras

ANTONIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO  
RICARDO DOS SANTOS ALFERES FILHO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

MARCOS ROBERTO CECCATO

TRIMA ENGENHARIA E CONSULTORIA

## I. INTRODUÇÃO

É bem conhecido o fato das fibras serem adicionadas ao concreto com a finalidade de reforçar a matriz e lhe proporcionar um comportamento mais dúctil (Figueiredo, 2011). O fato da fibra ser adicionada diretamente na mistura do concreto gera uma facilitação do processo construtivo por reduzir ou mesmo eliminar os serviços associados ao uso da armadura convencional (montagem e instalação), o que reduz o tempo de execução das obras e também a área demandada

para o canteiro (montagem e estocagem de armaduras). Com isso, o concreto reforçado com fibras (CRF) passa a ser muito atrativo para várias aplicações. No entanto, já é sabido há bom tempo que, apesar de incrementos no comportamento mecânico, as fibras causam uma redução da mobilidade do material, podendo prejudicar sua trabalhabilidade e, conseqüentemente, dificultar sua condição de aplicação (Johnston, 1984). Dessa maneira, o ganho obtido em termos de resistência pós-fissuração e de logística para a obra poderá trazer consigo um efeito cola-

teral de perda de resistência da matriz proporcionada por dificuldades de compactação.

As dificuldades proporcionadas pelas fibras em termos de trabalhabilidade podem prejudicar inclusive as condições de mistura. A homogeneização da fibra é essencial para o bom comportamento do material. No entanto, a homogeneidade pode ser prejudicada pelas condições de mistura, que devem receber um grau de atenção maior do que o despendido para o concreto simples. Um dos problemas típicos que ocorre nesta fase é a formação de bolas de fibras, popularmente conhecidos como “ouríços” (Figura 1a). Esses embolamentos podem prejudicar muito a condição de moldagem de elementos, como é o caso do tubo de concreto com reforço híbrido ilustrado na Figura 1b. No caso da bola de fibras não ser removida, a mesma irá comprometer completamente a funcionalidade do componente porque prejudicará gravemente sua condição de estanqueidade. Por essa razão, a mistura deve ser feita de maneira cuidadosa, adicionando-se a fibra de maneira contínua. Para evitar esse problema, há fabricantes que



► **Figura 1**  
Embolamento de fibras (a) e como ele pode se posicionar na produção de um tubo com reforço híbrido (b)

fornecem fibras de aço coladas em pentes ou tabletes (Figura 2). Este sistema de pentes evita o embolamento que ocorre já dentro da própria embalagem da fibra solta. As fibras formam emaranhados que, quando adicionada ao concreto, acabam por se consolidar com a pasta que fica aderida em sua volta. Portanto, é recomendado que a fibra solta não seja lançada de uma única vez na mistura, mas distribuída progressivamente, o que diminui o risco dos embolamentos. Nesse mesmo sentido, alguns fabricantes de macrofibras poliméricas as fornecem em roletes (Figura 3a) ou trançadas como aparece na Figura 3b. No entanto, mesmo bem homogeneizada, a fibra reduz a mobilidade da mistura e pode dificultar as condições de aplicação. Portanto, é importante conhecer como a fibra afeta o comportamento do concreto no estado fresco e como se pode realizar um controle adequado do material. Assim, este artigo tem por objetivo apresentar uma análise do trabalhabilidade do CRF focando no comportamento e nos procedimentos para controle da produção do material.

## 2. O EFEITO DA FIBRA NO COMPORTAMENTO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

O primeiro fato a considerar é que as fibras não ocupam todo o volume do concreto. Na verdade, elas são inseridas no volume de argamassa que envolve os agregados graúdos. Ou seja, as fibras acabam por reforçar a “argamassa” do concreto. A mobilidade do concreto depende de um volume de argamassa tal que garanta um certo afastamento dos agregados graúdos e sua



► **Figura 2**  
Fibras de aço longas (a) e curtas (b) fornecidas em pente

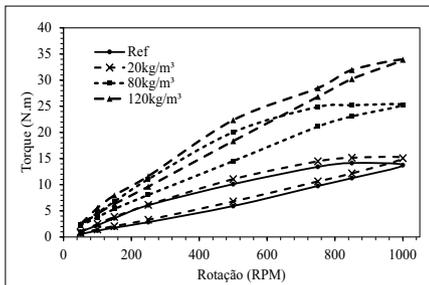
mobilidade relativa. No entanto, é usual recomendar que as fibras tenham um comprimento que seja, pelo menos, o dobro da dimensão máxima do agregado graúdo (Maidl, 1991). Com isso se potencializaria o poder de costura das fissuras que poderão vir a ocorrer no concreto (Figueiredo, 2011). No entanto, isto significará que os agregados terão que se mover relativamente “forçando a passagem” pelas fibras presentes na argamassa. Logo, as fibras poderão prejudicar a mobilidade da mistura, dificultando a mobilidade relativa dos agregados graúdos. Nesse sentido, quanto maior o teor de fibras, tanto maior será a dificuldade de mobilidade relativa entre os agregados.

No estudo desenvolvido por Alferes

Filho et al. (2016) foi variado o teor de fibras para o reforço de um concreto autoadensável. O material foi avaliado através de ensaios realizados com um reômetro rotacional, o que permitiu gerar os perfis de cisalhamento constantes da Figura 4. A partir dessas curvas foi possível obter uma avaliação do torque de escoamento e da taxa de aumento de torque com o aumento da tensão de cisalhamento, que corresponderiam, respectivamente, à tensão de escoamento e à viscosidade plástica do material, considerando-o como um fluido de Bingham (Romano et al., 2011). A partir dos resultados, foi possível correlacionar o torque de escoamento e a viscosidade relativa com o teor de fibras o que está apresentado na Figura 5. Isto implica uma perda de mobilidade inicial do material, o que



► **Figura 3**  
Macrofibras poliméricas fornecidas em roletes (a) e trançadas (b)

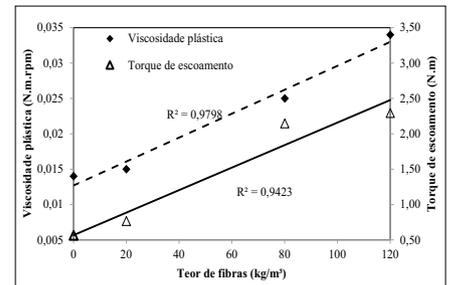


**Figura 4**  
Perfis de cisalhamento dos concretos em função da velocidade de rotação (Alferes Filho *et al.*, 2016)

corresponde à diminuição de seu abatimento, bem como uma maior dificuldade de bombeamento, dado que o material exigirá maiores esforços para se obter mobilidade para maiores taxas de cisalhamento, sempre que se aumentar o teor de fibras.

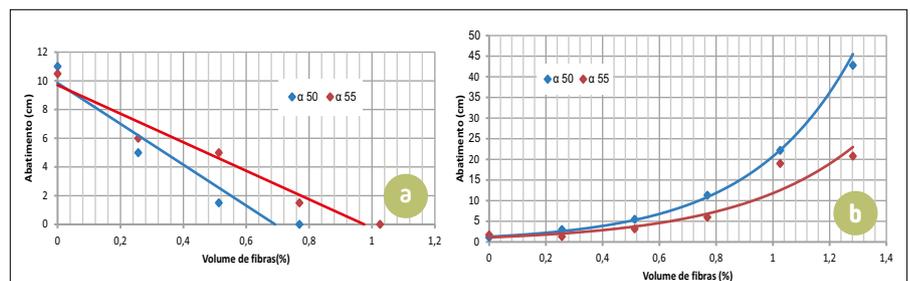
Uma consequência natural desse raciocínio é esperar que, quanto maior for o teor de argamassa, tão mais fácil será garantir a mobilidade da mistura. No estudo de Figueiredo e Ceccato (2015) foi feita a avaliação do efeito do teor de argamassa na trabalhabilidade do CRF, medida através do ensaio de abatimento e tempo Ve-Be, o que pode ser vislumbrado na Figura 6. No estudo, apenas fibras de aço foram utilizadas. Percebe-se, pelo gráfico, que, para um maior teor de argamassa ( $\alpha = 55\%$ ), a redução do abatimento com o aumento do teor de fibras é menos intensa com o aumento do teor de fibras, considerando-se um abatimento inicial igual ao do concreto com teor menor de argamassa menor ( $\alpha = 50\%$ ). Além disso, o maior teor de argamassa demonstrou maior facilidade de compactação no ensaio Ve-Be, demandando menores tempos de remoldagem.

A perda de mobilidade do CRF com o aumento do teor ou volume de fibras também poderá ser minimizada no caso de se diminuir a dimensão máxima do agregado graúdo. Naturalmente, é de se esperar que agregados de menores dimensões tenham maior mobilidade entre as fibras do que agregados maiores. Isto também foi comprovado no estudo de Figueiredo e Ceccato (2015) que comparou o efeito do teor de fibras no abatimento e tempo Ve-Be de dois concretos de mesmo abatimento inicial, mas com agregados de distintas dimensões máximas. Nota-se claramente que menores dimensões máximas dos agregados graúdos apresentam menor impacto na perda de abatimento ou no tempo Ve-Be dos

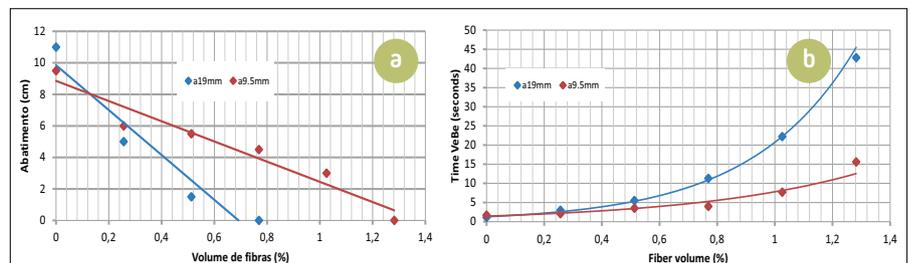


**Figura 5**  
Viscosidade plástica e torque de escoamento dos concretos em função do teor de fibras (Alferes Filho *et al.*, 2016)

CRFs. Assim, optar por concretos mais argamassados e com agregados de menores diâmetros irá minimizar a perda de trabalhabilidade gerada pela incorporação de fibras. No entanto, deve-se ter em mente que sempre



**Figura 6**  
Efeito do teor de fibras de aço indicado pelo volume relativo no abatimento (a) e tempo Ve-Be (b) de concretos com teor de argamassa seca de 50% ( $\alpha 50$ ) e 55% ( $\alpha 55$ ) (Figueiredo e Ceccato, 2015)



**Figura 7**  
Efeito do teor de fibras de aço indicado pelo volume relativo no abatimento (a) e tempo Ve-Be (b) de concretos com agregados graúdos de dimensão máxima de 9,5 mm ( $\alpha 9,5$ mm) e 19 mm ( $\alpha 19$ mm) (Figueiredo e Ceccato, 2015)



haverá um certo prejuízo para a mobilidade da mistura com o aumento do teor de fibras. Por outro lado, como os resultados demonstram, baixos teores de fibras de aço pouco prejudicam nas medidas de trabalhabilidade. Nesses casos, um pequeno aumento do teor de aditivo dispersante (polifuncional ou plastificante) pode ser o suficiente para mitigar o problema.

### 3. OS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE DO CRF

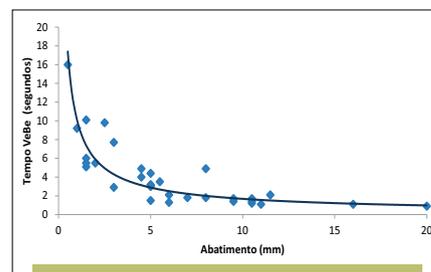
Idealmente, seria interessante utilizar ensaios reológicos para uma avaliação mais ampla do comportamento do CRF no estado fresco (Alferes Filho et al., 2016). No entanto, são muito raros os laboratórios que contam com um reômetro para realizar uma avaliação desse tipo. Assim, os métodos de avaliação devem ser aqueles adequados à consistência do CRF. Ou seja, CRFs de consistência plástica são, normalmente, avaliados a partir do ensaio de abatimento de tronco de cone. Esse ensaio apresenta boa sensibilidade quando o nível de abatimento está entre 40 mm e 140 mm. Há alguns ensaios desenvolvidos especificamente para avaliar o CRF, como é o caso do cone invertido (ASTM C995), mas a sua aplicabilidade apresenta uma série de dificuldades e pode ser substituído sem problemas pelo ensaio de abatimento convencional como apontou o estudo realizado por Ceccato (1998).

Para concretos de consistência seca, o risco de prejudicar a avaliação da trabalhabilidade é grande. Tal é o caso dos concretos utilizados para a produção de algumas peças pré-moldadas, como tubos para obras de saneamento. Neste caso, o ensaio Ve-Be apresenta boa capa-

cidade de diferenciação de comportamentos. No estudo de Figueiredo e Ceccato (2015), foi feita uma correlação entre os resultados obtidos por ensaios Ve-Be e de abatimento, o que pode ser observado na Figura 8. Confirmou-se que o ensaio Ve-Be apresenta melhor sensibilidade para os concretos com abatimento inferior a 20 mm e, em especial, para os concretos que apresentaram abatimento zero. Abatimento nulo significa apenas que o método de ensaio atingiu o seu limite e, portanto, deve-se utilizar outro que não dependa apenas da ação da gravidade para mobilizar o concreto, tal como o Ve-Be. Por outro lado, abatimentos superiores a 60 mm não apresentaram qualquer diferenciação em termos de resultado Ve-Be, mostrando que este ensaio não é adequado para CRFs com consistência plástica.

No caso de concretos com consistência fluída, como é o caso dos concretos autoadensáveis, deve-se empregar métodos de ensaio específicos para essa avaliação, tal como os preconizados na série de normas ABNT NBR15823:2010, quais sejam, o método do espalhamento e do tempo de escoamento, o anel J, a caixa L e o funil V. Vale ressaltar que a avaliação da habilidade passante é de grande importância quando da utilização de reforço híbrido de fibras e vergalhões. Assim, se pode verificar condições de risco de bloqueio, como o caso ilustrado na Figura 9. Por outro lado, caso o concreto seja utilizado apenas com o reforço de fibras, este tipo de avaliação é desnecessário.

Há vários trabalhos abordando a análise de trabalhabilidade do concreto autoadensável reforçado com fibras, como é o caso dos desenvol-



► **Figura 8**  
Correlação entre os resultados obtidos com os ensaios de abatimento e tempo Ve-Be de concretos reforçados com fibras (Figueiredo e Ceccato, 2015)

vidos por Sahmaran *et al.* (2005), Ferrara et al (2007) e Ding *et al.* (2008). Isto ocorre porque há um grande número de vantagens aplicativas do concreto autoadensável reforçado com fibras que, portanto, passa a ser muito atrativo. No entanto, ele exige um elevado grau de controle de execução para se evitar orientações preferenciais desfavoráveis originadas pelo próprio fluxo. No trabalho de Alferes Filho (2016), foi demonstrado que pode haver prejuízo significativo de comportamento mecânico de elementos planos em função de



► **Figura 9**  
Bloqueio do fluxo de concreto com alto teor de fibras de aço durante a realização do ensaio de caixa L (Alferes Filho, 2016)



► **Figura 10**  
Exemplo de segregação de fibras observável durante o ensaio de espalhamento (Alferes Filho et al., 2016)

variações no posicionamento do lançamento. Além disso, há sempre o risco de segregação. A segregação pode ser avaliada visualmente durante o ensaio de espalhamento, como o exemplo ilustrativo da Figura 10, ou melhor ainda, pelo ensaio específico da norma ABNT NBR 15823-6:2010. A segregação ocorre por algumas razões. A primeira é pela possibilidade da pasta e/ou argamassa escoarem mais facilmente pelas fibras e agregado graúdo, causando uma forte separação de fases (Romano et al.,

2011). Ela também pode ocorrer no elemento moldado pelo simples fato de haver grande diferença de densidade entre a fibra e a matriz e, caso não haja uma rigidez ao movimento da matriz em repouso, haverá a tendência de concentração de fibras de aço no elemento moldado. Por outro lado, as macrofibras de polipropileno têm densidade inferior à  $1 \text{ kg/dm}^3$ , o que gera um grande risco de flutuação das mesmas. Em ambos os casos a dosagem do CRF deve levar em conta este risco e se deve utilizar algum recurso para correção do problema, como é o caso dos aditivos ampliadores de viscosidade, por exemplo.

#### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

Deve-se ter em mente que o controle do CRF é mais complexo do que o realizado para o concreto armado. Do ponto de vista mecânico, o CRF deve ser controlado avaliando-se a interação entre fibra e matriz, de maneira distinta do concreto armado, onde avalia-se separadamente o concreto em si e o aço. O mesmo ocorre para o controle da trabalha-

bilidade: as vantagens aplicativas do CRF vêm acompanhadas de uma necessidade maior de controle. Isto é particularmente importante pelo fato de haver sempre o risco de tentar melhorar as condições de fluidez do compósito, aumentando-se a quantidade de água, como ocorre na correção do abatimento por adição de um maior volume de água. Isto pode gerar prejuízos para o concreto em termos de comportamento mecânico e durabilidade. O CRF, por sua peculiar propensão à perda de mobilidade apresenta um risco ainda maior nesse aspecto. Portanto, é fundamental a realização de estudos prévios de dosagem, onde as condições de trabalhabilidade e seu controle sejam bem parametrizadas (Figueiredo et al., 2000). A mera adoção de um teor de fibras adicionado a uma matriz pré-existente não é um procedimento adequado. No caso específico do concreto autoadensável é muito interessante utilizar a combinação de ensaios, como preconizado na normalização brasileira e internacional, de modo a se evitar avaliações muito restritas. 🏠

#### ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALFERES FILHO, R. S.; MOTEZUKI, F. K.; ROMANO, R. C. O.; PILEGGI, R. G.; FIGUEIREDO, A. D. Evaluating the applicability of rheometry in steel fiber reinforced self compacting concretes. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 9, p. 969-988, 2016.
- [2] CECCATO, M.R. Estudo da trabalhabilidade do concreto reforçado com fibras de aço. São Paulo, 1998, 98p. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [3] DING, Y.; LIU, S.; ZHANG, Y.; THOMA, A. The investigation on the workability of fibre cocktail reinforced self-compacting high performance concrete. *Construction and Building Materials* 22 (2008) 1462–1470.
- [4] FERRARA, L.; PARK, Y-D.; SHAH, S. P. A method for mix-design of fiber-reinforced self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research* 37 (2007) 957–971
- [5] FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras, Tese de Livre-Docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [6] FIGUEIREDO, A. D.; CECCATO, M. R. Workability Analysis of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Slump and Ve-Be Test. *Materials Research*, p. 1, 2015.
- [7] FIGUEIREDO, A. D.; NUNES, N. L.; TANESI, J. Mix design analysis on steel fiber reinforced concrete. In: Fifth International RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), 2000, Lyon. *Fibre-Reinforced Concretes (FRC) - BEFIB'2000*, 2000. p. 103-118.
- [8] JOHNSTON, C.D. Measures of the workability of steel fiber reinforced concrete and their precision. *Cement, Concrete, and Aggregates*. CCAGDP, v.6 n.2, Winter 1984. p.74-83.
- [9] MAIDL, B. *Stahlfaserbeton*. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1991.
- [10] ROMANO, R. C. O.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Propriedades do Concreto no Estado Fresco. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). *Concreto: Ciência e tecnologia*. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 1, p. 453-500.
- [11] SAHMARAN, M.; YURTSEVEN, A.; YAMAN, I. O. Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete. *Building and Environment* 40 (2005) 1672–1677



# Ensaio não destrutivo para determinar a quantidade e a orientação média das fibras em CRFA por meio da indução eletromagnética

ARTHUR HENRIQUE VIEIRA DE MELO  
GRADUANDO EM ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

RENATA MONTE  
PESQUISADORA DOUTORA

ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALINE DA SILVA RAMOS BARBOZA  
PROFESSORA DOUTORA

CENTRO DE TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

## I. INTRODUÇÃO

O desempenho mecânico dos elementos produzidos em concreto reforçado com fibras (CRF) depende da quantidade e da dispersão das fibras. Desta forma, para o desenvolvimento tecnológico do CRF, são necessários métodos de controle de qualidade que mensurem a atuação das fibras como reforço da matriz (FIGUEIREDO, 2011).

Nas últimas décadas foram desenvolvidos vários métodos objetivando determinar a quantidade e a orientação das fibras, eles são classificados em: manuais, diretos e indiretos. O primeiro é totalmente destrutivo e consiste na reconstituição de traço de concreto endurecido por meio da contagem e pesagem das fibras triturando ou lavando os corpos de prova. O segundo é dito não destrutivo quando se utiliza a análise de imagens, porém são necessários equipamentos de alto custo e não usuais em laboratórios de concreto, como os de raios X e tomografia. O último tipo

é não destrutivo, no entanto, ao contrário dos outros, todos os métodos dentro dessa categoria necessitam de uma calibração prévia. Esses últimos são fundamentados nos conceitos de impedância, resistência elétrica, micro-ondas e indutância (TORRENTS et al, 2012; CAVALARO et al, 2014;).

Para o concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) torna-se vantajosa a utilização dos métodos indiretos já que, dentre os constituintes do concreto, apenas as fibras possuem propriedade ferromagnética. Torrents et al (2012) propuseram o método indutivo fundamentados nas Leis de Faraday para estimar a quantidade e a distribuição das fibras num corpo de prova de CRFA por meio da variação da indutância medida. Esse método utiliza basicamente duas bobinas geradoras de campo magnético como elemento sensor e um medidor de indutância.

Segundo os fundamentos do eletromagnetismo, a indutância (L) é dire-

tamente proporcional a permeabilidade magnética do meio ( $\mu$ ) e ao coeficiente de geometria (k), conforme a Equação 1.

$$L = \mu \cdot k$$

[1]

Mantendo-se as geometrias das bobinas e dos corpos de prova constantes é possível afirmar que a variação na indutância, medida quando as peças de CRFA são introduzidas no campo magnético, deve-se apenas à presença das fibras de aço. Torrents et al (2012) submeteram corpos de prova cúbicos de CRFA de 150 mm de aresta, com percentuais de adição de fibras diferentes (15, 30, 45 e 60 kg/m<sup>3</sup>), ao ensaio indutivo. Após o ensaio, foram triturados e a massa de fibras aferidas e constatou-se a relação linear entre a soma da variação da indutância medida nos três eixos principais e a massa de fibra de aço na amostra.

Cavalaro et al (2015) aperfeiçoaram o método levando em consideração outros formatos da bobina e do corpo de prova, tornando-o aplicável a

► Tabela 1 – Caracterização dos agregados

	Miúdo	Graúdo
Massa específica [g/cm³]	2,48	2,68
Absorção (%)	0,80	0,64
Graduação granulométrica	média	0
Módulo de finura	2,91	–

corpos de prova cilíndricos. A equação definida é mostrada abaixo, onde:  $C_f$  é a quantidade de fibra,  $L_i$  é a variação da indutância em relação ao eixo  $i$ ,  $B_{v,i}$  é um coeficiente que está relacionado com a geometria,  $\beta$  é uma constante e  $L_e$  é a indutância equivalente em relação ao eixo  $i$ .

$$C_f = \beta \cdot \sum \frac{L_i}{B_{v,i}} = \beta \cdot L_e \quad [2]$$

Caso as fibras estejam paralelas às linhas do campo magnético, a sua permeabilidade magnética é máxima. Com isso a variação da indutância aferida será máxima também. Caso as fibras estejam perpendiculares ao campo, a sua permeabilidade e a variação da indutância serão mínimas. Torrents et al (2012) utilizaram placas de poliestireno expandido na produção de dois corpos de prova, um com as fibras coladas paralelas ao eixo  $x$  e outro sem fibras. O corpo foi ensaiado com

► Tabela 2 – Caracterização da fibra de aço

Comprimento (mm)	33	60
Diâmetro (mm)	0,75	0,75
Fator de forma	44	80
Resistência à tração (MPa)	>1100	>1100
Módulo elástico (MPa)	21000	21000

as fibras paralelas e perpendiculares ao campo magnético e, quando comparado com a amostra sem adição de fibras, a indutância medida teve um incremento de 87% e 13%, respectivamente.

Cavalero et al (2014) definiram e equacionaram dois parâmetros para análise da orientação das fibras pelo método indutivo: número de orientação ( $\eta_i$ ) e contribuição relativa ( $C_i$ ) das fibras em relação ao eixo  $i$ . Onde:  $\alpha_i$  é o ângulo formado entre a orientação média das fibras e o eixo  $i$  e  $\gamma$  é o fator de aspecto da fibra de aço utilizada. Sendo  $\vartheta$  e  $\mu$  fatores de correção quando as fibras estiverem orientadas de forma aleatória no corpo de prova.

$$\cos \alpha_i = \eta_i = \vartheta \cdot \sqrt{\frac{L_i(1+2\gamma) - L_e B_{v,i} \gamma}{L_e B_{v,i} (1-\gamma)}} - \mu \quad [3]$$

$$C_i = \frac{\eta_i}{\sum_{i=x,y,z} \eta_i} \quad [4]$$

Este artigo analisa os resultados do programa experimental realizado no intuito de validar aplicabilidade do método indutivo e do equacionamento proposto por Cavalero et al (2015) na determinação da quantidade e da orientação média das fibras. Foram avaliados corpos de prova cúbicos de CRFA, moldados sem indução da orientação das fibras, como forma de simular uma situação real de concretagem.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Moldagem dos corpos de prova

A dosagem utilizada foi estudada por Silva et al (2012) e adaptada pelos autores para produzir concreto reforçado com fibras de aço (CRFA)

► Tabela 3 – Dosagem do concreto

Materiais	Massa (kg/m³)
Cimento	415,00
RBMG	207,50
Areia	734,31
Brita	790,98
Água inicial	166,00
Água complementar	36,66
Água de absorção	11,03
Superplastificante	6,92
Fibras de aço FF 44	47,36
Fibras de aço FF 80	26,05

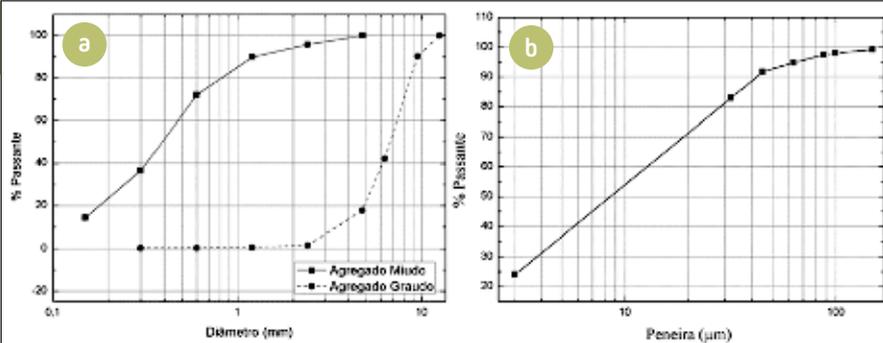
com característica fluída. Utilizou-se cimento CII Z-32, agregado miúdo e graúdo naturais e resíduo do beneficiamento do mármore e granito (RBMG) passante na peneira de 300  $\mu m$  como adição mineral. Esses materiais são caracterizados na Tabela 1 e nas Figuras 1(a) e 1(b). Empregou-se aditivo superplastificante à base de éter policarboxílico e fibras de aço com ancoragem em gancho nos fatores de forma (FF) 44 e 80. A caracterização das fibras é apresentada na Tabela 2. As relações definidas por Silva et al (2012) foram mantidas e a dosagem é mostrada na Tabela 3.

O procedimento de mistura seguiu o proposto por Silva et al (2012), com as fibras adicionadas no último estágio e dispersas na mistura. Fibras com fatores de forma diferentes não foram misturadas, com isso foram moldados 6 corpos de prova cúbicos com 15cm de aresta, sendo 3 com cada fibra estudada.

### 2.2 Ensaio indutivo

O ensaio indutivo utiliza como elemento sensor uma bobina circular com duplo enrolamento do tipo Helmholtz. Este arranjo produz campo magnético

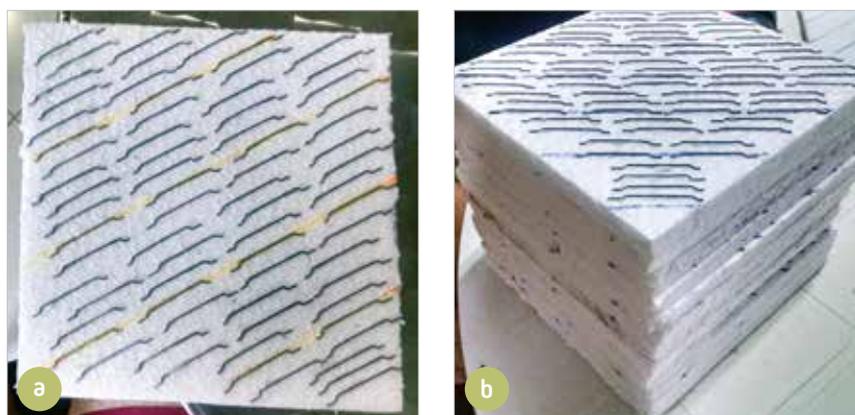




► **Figura 1**  
Curva granulométrica dos agregados (a) e do RBMG (b)



► **Figura 2**  
Ensaio indutivo (a) e marcação dos elementos de calibração e corpos de prova (b)



► **Figura 3**  
Produção das placas (a) e dos cubos (b) e os cubos prontos (c)

uniforme de baixa intensidade num volume relativamente grande. Seguindo as recomendações de Cavalaro et al (2014) cada enrolamento foi montado com 1.200 voltas de fio de cobre de 0,3 mm e possui diâmetro de 250 mm. Levando em conta a espessura das bordas os enrolamentos foram colocados a uma distância de 130 mm entre si e também foram ligados paralelamente. Para aferir a variação da indutância optou-se por utilizar o medidor LCR portátil da Agilent modelo U1732C. A aparelhagem de ensaio é mostrada na Figura 2(a).

A preparação do ensaio ocorre marcando-se os três eixos coordenados no corpo de prova como mostra a Figura 2(b). Por conveniência definiu-se o eixo Z como eixo vertical e o plano XY como plano de lançamento do concreto. Posteriormente os terminais de entrada e saída são conectados a entrada positiva e negativa do medidor LCR, respectivamente. O procedimento de ensaio consiste na colocação dos corpos de prova de acordo com os três eixos principais, X, Y e Z, e a medição da indutância para cada. Utilizando um corpo de prova sem fibras como parâmetro é possível determinar a variação da indutância em relação ao eixo X, Y e Z, respectivamente,  $\Delta L_x$ ,  $\Delta L_y$  e  $\Delta L_z$ .

### 2.3 Calibração dos parâmetros

Por ser um método indireto, faz-se necessário a calibração dos parâmetros antes dos ensaios com corpos de prova de concreto. Nesse intuito foram produzidos elementos de calibração que atuam como corpos de prova padrão utilizando placas de poliestireno expandido em duas espessuras (5 e 10 mm) e amostra das fibras de aço utilizadas no programa

► Tabela 4 – Características dos elementos de calibração

Fibras de aço com fator de forma 44						
Espessura (mm)	10	10	10	05	05	05
Orientação (graus)	30	45	60	30	45	60
Referência	PD-44-1	PD-44-2	PD-44-3	PD-44-4	PD-44-5	PD-44-6
Fibras de aço com fator de forma 80						
Espessura (mm)	10	10	10	05	05	05
Orientação (graus)	30	45	60	30	45	60
Referência	PD-80-1	PD-80-2	PD-80-3	PD-80-4	PD-80-5	PD-80-6

experimental (FF44 e FF80). A confecção foi iniciada cortando as placas de poliestireno expandido em quadrados de aresta 15cm e as fibras, de cada FF separadamente, foram coladas sobre as placas numa orientação predefinida (30, 45 ou 60°) em relação ao eixo X. Posteriormente, as placas com fibras de mesmo FF e orientadas na mesma direção foram coladas umas sobre as outras formando um cubo com aresta de 15 cm. O procedimento de produção dos elementos de calibração é mostrado na Figura 3.

No total foram produzidos 13 cubos e suas características estão na Tabela 4. A quantidade de fibras de cada cubo foi estimada tomando como referência a densidade do concreto igual a 2400 kg/m³ e o percentual de adição de fibras de 47,36 e 26,05 kg/m³ para os FF 44 e 80, respectivamente. Esta quantidade foi dividida nas 14 placas, portanto adotou-se 70 e 30 fibras por placa, para os FF 44 e 80, respectivamente.

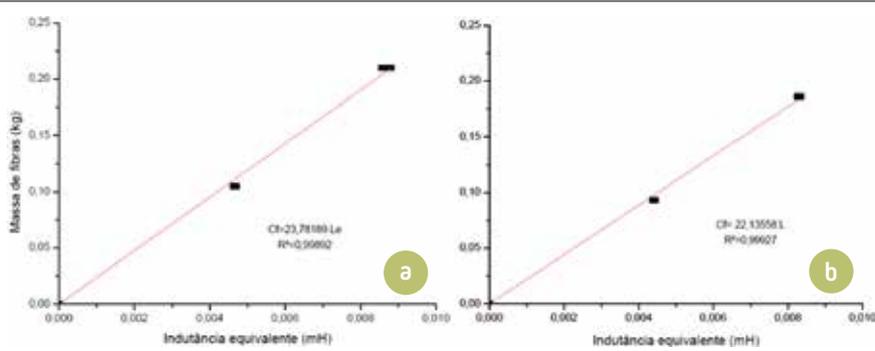
Para estimar a quantidade de fibras num corpo de prova de CRFA

necessita-se determinar a reta de calibração da fibra utilizada. Nesse sentido, utilizou-se os elementos de calibração, visto que a quantidade de fibras é conhecida. Com a Equação 2, a indutância equivalente foi calculada adotando  $B_{v,z} = 2.342$  (CAVALARO et al, 2015). Na Tabela 5 é mostrada a variação da indutância por eixo, a indutância equivalente e a massa de fibra do corpo. Nas Figuras 4(a) e 4(b) são mostradas as retas de calibração para as fibras com fator de forma 44 e 80, respectivamente.

► Tabela 5 – Variação da indutância nos elementos de calibração

Eixo	Variação da indutância (mH)					
	PD-44-1	PD-44-2	PD-44-3	PD-44-4	PD-44-5	PD-44-6
Z	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
Y	3,0	5,3	6,2	5,5	9,6	14,0
X	7,6	5,1	4,5	13,8	10,3	5,7
Le	4,65E-03	4,61E-03	4,72E-03	8,56E-03	8,82E-03	8,73E-03
Fibras (kg)	0,105	0,105	0,105	0,210	0,210	0,210
Eixo	Variação da indutância (mH)					
	PD-80-1	PD-80-2	PD-80-3	PD-80-4	PD-80-5	PD-80-6
Z	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7
Y	2,8	5,0	7,3	5,3	9,2	13,5
X	7,4	5,0	2,7	13,6	9,4	5,3
Le	4,46E-03	4,36E-03	4,40E-03	8,35E-03	8,24E-03	8,33E-03
Fibras (kg)	0,093	0,093	0,093	0,186	0,186	0,186





► **Figura 4**  
Reta de calibração para fibras de FF 44 (a) e FF 80 (b)

É observado que a relação entre as grandezas é linear ( $R^2 \approx 1$ ) como demonstrado por Torrents et al (2012). Portanto, as Equações 5 e 6 expressam a equação da reta de calibração para as fibras com fator de forma 44 e 80, respectivamente.

$$C_f = 23,78189 \cdot L_e \quad [5]$$

$$C_f = 22,13558 \cdot L_e \quad [6]$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Determinação da quantidade de fibras

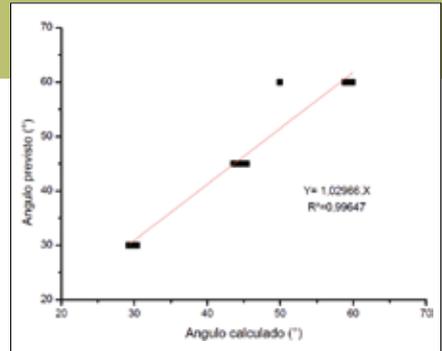
No intuito de estimar a quantidade de fibras de aço, os corpos de prova de concreto foram submetidos ao ensaio indutivo padronizado. Com a indutância equivalente calculada utilizando a Equação 2, a massa de fibras foi calculada aplicando as Equações 5 e 6. Sabendo que os teores de adição das fibras foram 47,36 e 26,05 kg/m<sup>3</sup> para os FF 44 e 80, respectivamente, nota-se que a distribuição das fibras ocorreu de forma uniforme em

todos os corpos. Essa uniformidade é alcançada devido a fluidez do concreto utilizado.

#### 3.2 Determinação da orientação média das fibras

De maneira a comprovar a Equação 3 proposta por Cavalaro et al (2015), utilizou-se os elementos de calibração, pois suas fibras foram orientadas (30, 45 ou 60° em relação ao eixo X e perpendiculares ao eixo Z). Para os parâmetros  $\mathcal{G}$ ,  $\mu$  e  $\gamma$  foram adotados, respectivamente, os valores de 1,03, 0,10 e 0,05, conforme indicado por Cavalaro et al (2015).

A contribuição das fibras em relação aos eixos principais é calculada pela Equação 4 e mensura a contribuição das fibras orientadas em paralelo ao eixo analisado para variação total da indutância aferida, uma vez que as fibras quando em paralelo com o campo magnético têm contribuição máxima na variação da indutância. A Figura 5 apresenta o gráfico que relaciona o ângulo medido no en-



► **Figura 5**  
Relação entre os ângulos previstos e os calculados nos elementos de calibração

saio indutivo com o ângulo teórico de orientação das fibras.

Os elementos de calibração foram fabricados manualmente, portanto a pequena variação nos ângulos calculados era esperada. Porém, os resultados comprovam a aplicabilidade das equações para estimar a orientação média das fibras.

Os ensaios foram realizados com os corpos de prova de CRFA e os parâmetros de orientação para cada corpo foi determinado utilizando as Equações 3 e 4. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Segundo a literatura, nos concretos com característica fluída, as fibras de aço tendem a alinhar-se com o fluxo de lançamento. Ao analisar os dados obtidos para os cubos de CRFA, é observada a tendência das fibras se orientarem perpendicularmente ao eixo Z. Isto evidencia que a fluidez do concreto proporcionou o alinhamento das fibras ao fluxo de lançamento. Em relação aos eixos X e Y, é notório que os valores calculados do número

► **Tabela 6 – Cálculo do teor de fibras**

	CP-44-1	CP-44-2	CP-44-3	CP-80-1	CP-80-2	CP-80-3
Indutância equivalente (mH)	6,8E-03	6,4E-03	7,6E-03	3,5E-03	4,2E-03	4,5E-03
Massa das fibras (kg)	0,162	0,153	0,181	0,077	0,092	0,099
Teor de fibras (kg/m <sup>3</sup> )	48,13	45,42	53,54	22,96	27,43	29,39

► Tabela 7 – Determinação dos parâmetros de orientação dos corpos de prova de concreto

Eixo	CP-44-1				CP-44-2				CP-44-3			
	$\Delta L$ (mH)	$\eta$	$\alpha$ (°)	C	$\Delta L$ (mH)	$\eta$	$\alpha$ (°)	C	$\Delta L$ (mH)	$\eta$	$\alpha$ (°)	C
Z	2,9	0,31	72,0	0,21	3,3	0,36	68,8	0,25	3,6	0,33	71,0	0,23
Y	6,0	0,54	57,6	0,37	6,2	0,57	55,3	0,39	7,7	0,57	55,3	0,41
X	7,1	0,60	53,2	0,42	5,6	0,53	57,8	0,36	6,5	0,51	59,4	0,36
Le	6,83E-03				6,45E-03				7,60E-03			

Eixo	CP-80-1				CP-80-2				CP-80-3			
	$\Delta L$ (mH)	$\eta$	$\alpha$ (°)	C	$\Delta L$ (mH)	$\eta$	$\alpha$ (°)	C	$\Delta L$ (mH)	$\eta$	$\alpha$ (°)	C
Z	2,1	0,41	65,9	0,28	2,3	0,38	67,5	0,26	1,7	0,28	73,8	0,19
Y	3,2	0,55	56,6	0,37	4,0	0,57	55,4	0,39	4,8	0,61	52,3	0,43
X	2,9	0,52	59,0	0,35	3,5	0,52	58,7	0,35	4,0	0,54	57,2	0,38
Le	3,50E-03				4,18E-03				4,48E-03			

de orientação e do ângulo médio para cada eixo aproximam-se. Isso mostra a tendência de as fibras alinharem-se a 45° no plano XY. Na Figura 6 é mostrado o percentual da contribuição das fibras nos três eixos.

Com o percentual de contribuição das fibras aos eixos coordenados, constata-se nos seis corpos a tendência, no plano XY, de as fibras orientarem-se a 45° em relação ao eixo X. Segundo a literatura, as fibras tendem a alinhar-se paralelamente ao maior comprimento (quando trata-se de uma seção quadrada o maior comprimento é a diagonal). Portanto,

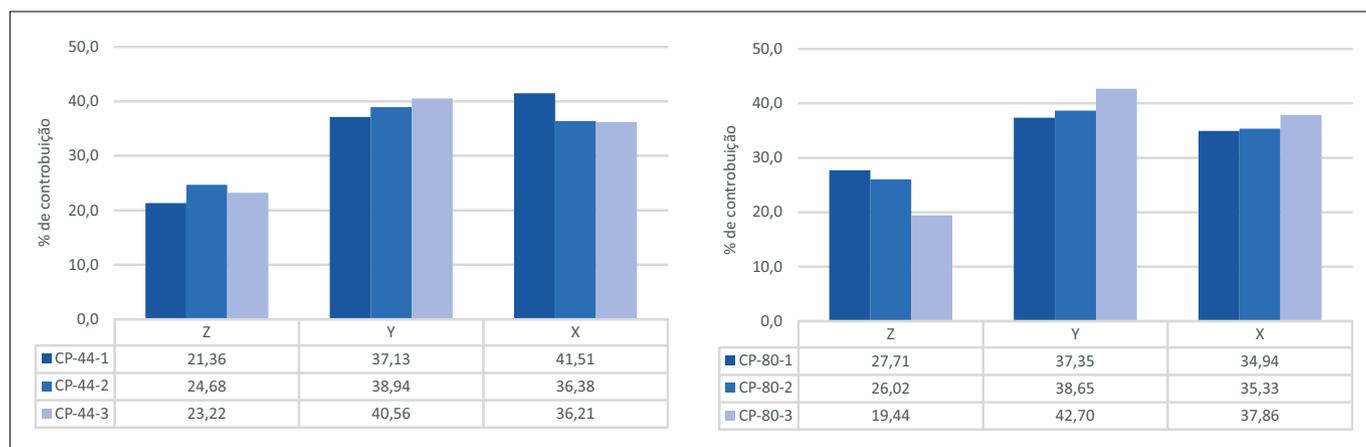
o calculado corrobora com a literatura, evidenciando a importância da fluidez do concreto para uma dispersão eficiente das fibras nas peças de CRFA.

As paredes do molde exercem grande influência na orientação das fibras, o chamado efeito de borda. Por se utilizar um molde de pequenas dimensões, quando comparado ao comprimento das fibras, esse efeito foi atenuado. Isso é constatado no elevado valor do percentual de contribuição das fibras ao eixo Z, no entanto em peças robustas esse efeito é minimizado.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método indutivo mostra-se qualificado para o controle de qualidade do concreto reforçado com fibras de aço. É um método de fácil execução, de baixo custo e capaz de estimar a quantidade e a dispersão das fibras de forma não destrutiva. Dessa maneira, o mesmo pode ser aplicado em conjuntos com outras determinações, como a verificação da resistência à compressão do concreto, ampliando a abrangência do sistema de controle com pequena majoração dos custos.

O processo de determinação da



► **Figura 6**  
Gráfico do percentual de contribuição por eixo



reta de calibração para ambas as fibras se mostrou simples e comprovou-se a relação linear entre a indutância equivalente e a massa de fibras, de modo que o coeficiente de determinação  $R^2$  foi próximo a 1,0. Portanto, essa reta pode ser utilizada como parâmetro de referência para o controle de qualidade do CRFA quando produzida para o tipo de fibra utilizada.

O equacionamento proposto por Cavalaro et al (2015) para determinação do ângulo médio foi validado e a estimativa da orientação das fibras em corpos de prova de concreto mostrou-se oportuna. Verificou-se a tendência das fibras se orientarem perpendicular ao eixo Z devido à fluidez do concreto utilizado. No entanto, nota-se que efeito de borda tem grande influência na orientação final das

fibras, principalmente em peças de pequenas dimensões como a utilizada. Além disso, é observado que, no plano XY, as fibras tendem a alinhar-se com a diagonal do molde, ou seja, a 45° em relação aos eixos X e Y.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro disponibilizado ao projeto. 📧

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAVALARO, S.; LÓPEZ, R.; TORRENTS, J.; AGUADO, A. Improved assessment of fibre content and orientation with inductive method in SFRC. *Materials and Structures*, 2014.
- [2] CAVALARO, S.; LÓPEZ, R.; TORRENTS, J.; AGUADO, A.; GARCÍA, P. Assessment of fibre content and 3D profile in cylindrical SFRC specimens. *Materials and Structures*, 2015.
- [3] FIGUEIREDO, A. D. Concreto com Fibras. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. G. C. Isaia. 1. Ed. São Paulo. 2v, Cap. 37. IBRACON, 2011.
- [4] SILVA, E. B.; OLIVEIRA, D. T. DA S.; NUNES, M. C.; BARBOZA, A. S. R. Análise da influência das fibras no comportamento no estado fresco de argamassas fluidas. 5º Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais. Fortaleza, 2012.
- [5] TORRENTS, J.; BLANCO, A.; PAJUDAS, P.; AGUADO, A.; JUAN-GARCIA, P.; SÁNCHEZ-MORAGUES, M. Inductive method for assessing the amount and orientation of steel fibers in concrete. *Materials and Structures*, 2012.

Curso	Instrutores	Data	Carga horária	Local	Realizador
Diagnóstico e Reabilitação de Estruturas de Concreto	Eliana Monteiro, Enio Pazini Figueiredo e Paulo Helene	31 de agosto	4 horas	Auditório da Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco/ UPE	IBRACON Regional
Execução de Estruturas de Concreto – Engenhosidades e Soluções	Paulo Helene, Carlos Brites e Jéssika Pacheco	3 de outubro	15 horas	Av. Paulista, 509, 13º andar	PhD, IDD, IBRACON
Curso RILEM/IBRACON sobre Especificações de Projeto em Concreto Reforçado com Fibras	Marco di Prisco, Thomaz Buttignol, Barzin Mobasher	31 de outubro e 1º de novembro	12 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON
Curso sobre Pré-fabricados	Iria Doniak	1º de novembro	4 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON
Dimensionamento de Vigas Isostáticas protendidas	Fábio Albino	2 de novembro	8 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON
Artefatos de Concreto Vibroprensado	Idário Fernandes	3 de novembro	4 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON

# Resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçadas com fibras de aço

PAULA C.P. VITOR – MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

ANTÔNIO CARLOS D. SANTOS – PROFESSOR DOUTOR

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

## I. INTRODUÇÃO

O uso de fibras de aço aumenta substancialmente a capacidade de resistência ao esforço cortante de vigas, sendo tais fibras utilizadas como complemento ou como substituição da armadura de cisalhamento convencional (ACI 544.4R, 2009).

DINH, PARRA-MONTESINOS e WIGHT (2010) concluíram que o uso de fibras com gancho nas extremidades com teor de fibras ( $V_f$ ) maior ou igual a 0,75% (60 kg/m<sup>3</sup> de concreto) aumenta a resistência ao cisalhamento de vigas sem armadura transversal, podendo essas fibras ser utilizadas como armadura mínima de cisalhamento.

A norma brasileira ABNT NBR 6118: Projetos de Estruturas de concreto não estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto com a utilização de fibras. No entanto, a Prática Recomendada “Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com fibras”, elaborada pelo comitê IBRACON/ABECE (2016), aborda o dimensionamento de elementos lineares de CRFA sujeitos a força cortante.

Tal prática permite dispensar a armadura de cisalhamento mínima quando a condição da equação 1 é atendida. Esta Prática Recomendada incorpora também uma equação que estima a resistência ao esforço cortante de vigas de CRFA, levando em consideração fatores como o efeito do tamanho do elemento, a taxa de armadura longitudinal, a resistência residual à tração do concreto e a resistência à compressão do concreto.

$$f_{Ftuk} \geq 0,08 \sqrt{f_{ck}} \text{ Mpa} \quad [1]$$

Onde:

$f_{Ftuk}$  : resistência residual à tração característica última do CRFA, considerando uma abertura máxima de fissura de 1,5 mm;

$f_{ck}$  : resistência à compressão característica do concreto.

O efeito das fibras no comportamento do concreto se deve as pontes de transferência de tensões criadas pelas fibras que minimizam a concentração de tensões nas extremidades das fissuras (FIGUEIREDO, 2011). Estas pontes transferem as tensões de tra-

ção, reduzem o espaçamento e largura da fissura diagonal crítica, o que aumenta o mecanismo de engrenamento dos agregados (DINH, PARRA-MONTESINOS e WIGHT, 2010).

Pesquisas relatam aumento da resistência ao esforço cortante de até 258% quando são adicionadas fibras ao concreto de vigas de resistência normal (SLATER, MONI e ALAM, 2012). No entanto, o ganho de resistência ao esforço cortante pode variar dependendo das características do ensaio, das propriedades das vigas, das propriedades das fibras, do teor de fibras adicionado ao concreto ( $V_f$ ) e da propriedades da matriz.

## II. Importância do tema

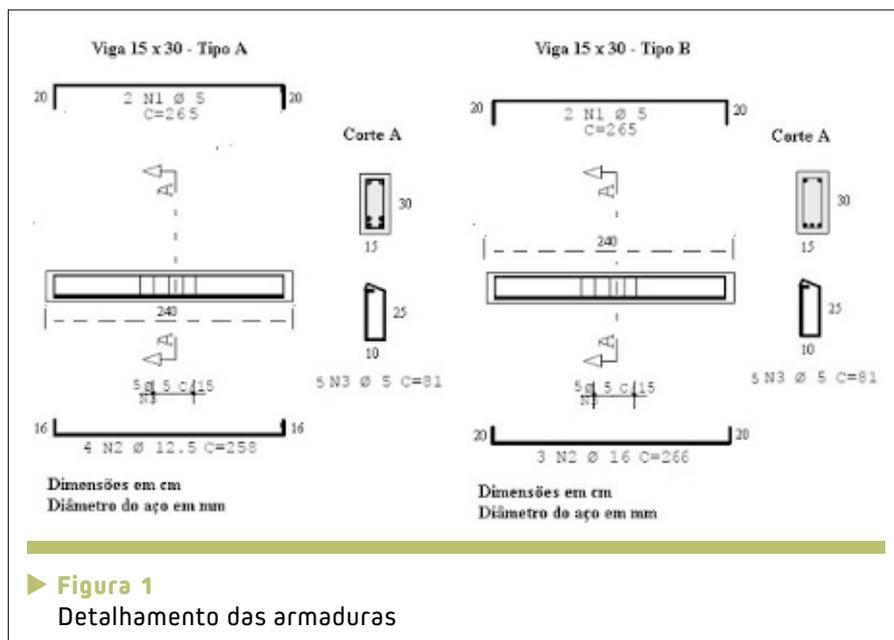
A execução das armaduras convencionais pode demandar uma grande parcela de tempo do processo construtivo, o que contribui para o aumento do custo. O concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) tem sido considerado uma opção viável para o aumento da resistência ao cisalhamento, reduzindo a possibilidade de ruptura súbita em vigas sem armadura transversal.

Apesar das fibras de aço serem reconhecidas como material estrutural pela Prática Recomendada elaborada pelo comitê IBRACON/ABECE (2016) e por códigos internacionais, ainda há uma carência de diretrizes com orientações para cálculo da resistência ao cisalhamento de elementos de CRFA submetidos à flexão.

Pesquisas são necessárias para investigar o comportamento de vigas de CRFA submetidas à flexão para as várias combinações de relação  $a/d$  (vão de cisalhamento,  $a$ ; e altura útil da viga,  $d$ ),  $V_f$ , classe de resistência do concreto e  $\rho$  (taxa de armadura longitudinal de tração) para prever com precisão a resistência ao cisalhamento e assim criar e validar procedimentos normativos. Para tanto, os objetivos deste estudo foram avaliar a influência da adição da fibra de aço na resistência ao cisalhamento e o modo de ruptura em vigas de concreto armado com a variação da  $\rho$ ,  $V_f$  e  $f_c$ .

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Um total de nove vigas de concreto armado biapoiadas (vão teórico 2000 mm), sem armadura transversal na região dos esforços cortantes, foram en-



saídas à flexão em quatro pontos até a ruptura para avaliar a influência do  $V_f$ ,  $\rho$  e  $f_c$  no modo de ruptura e resistência da viga ao cisalhamento. O vão de cisalhamento  $a$  foi de 700 mm.

### 2.1 Detalhes das vigas

As vigas foram divididas em duas séries. A série S20 foi composta de 4 vigas moldadas com concreto de  $f_c$  próxima de 20 MPa e a série S40, composta de 5 vigas moldadas com con-

creto de  $f_c$  próxima de 40 MPa. As vigas de ambas as séries apresentavam as mesmas dimensões: 2400 mm de comprimento, 150 mm de largura e 300 mm de altura.

Tanto para a série S20 quanto para a S40 foram utilizados três  $V_f$ , 0,0%, 0,64% e 0,77% ( $50 \text{ kg/m}^3$  e  $60 \text{ kg/m}^3$ ) e duas  $\rho$ , 1,32% (4 Ø 12,5, denominada A) e 1,55% (3 Ø 16,0, denominada B). A Tabela 1 lista as propriedades das vigas ensaiadas. A denominação adotada para as vigas foi baseada na série

► **Tabela 1 – Propriedades das vigas**

Vigas	d (mm)	a/d	$\rho$ (%)	$f_y^1$ (MPa)	$V_f$ (%)	$f_{ct}^2$ (MPa)	$f_c$ (MPa)	$P_u^3$ (kN)	$V_u^4$ (kN)	$v_u^5$ (MPa)	$v_u / \sqrt{f_c}$	Modo de ruptura
S20A-0	247,5	2,83	1,32	603,6	0,00	2,43	23,93	111	55,50	1,495	0,306	cortante
S20A-0.64	247,5	2,83	1,32	603,6	0,64	3,16	22,32	145	72,50	1,953	0,413	cortante
S20A-0.77	247,5	2,83	1,32	603,6	0,77	3,33	24,16	213	106,50	2,869	0,584	cortante
S20B-0.77	262	2,67	1,55	584,3	0,77	3,08	23,76	185	92,50	2,354	0,483	cortante
S40A-0	247,5	2,83	1,32	603,6	0,00	3,41	35,67	120	60,00	1,616	0,271	cortante
S40B-0	262	2,67	1,55	584,3	0,00	3,27	36,29	137	68,50	1,743	0,289	cortante
S40A-0.64	247,5	2,83	1,32	603,6	0,64	5,42	35,70	209	104,50	2,815	0,471	flexão
S40B-0.64	262	2,67	1,55	584,3	0,64	4,40	39,38	246	123,00	3,130	0,499	flexo-cortante
S40B-0.77	262	2,67	1,55	584,3	0,77	5,46	37,05	230	115,00	2,926	0,481	flexo-cortante

<sup>1</sup>  $f_y$  (resistência ao escoamento do aço); <sup>2</sup>  $f_{ct}$  (resistência à tração por compressão diametral); <sup>3</sup>  $P_u$  (força última); <sup>4</sup>  $V_u$  (cortante última); <sup>5</sup>  $v_u$  (tensão de cisalhamento última).



► **Figura 2**  
Posicionamento dos extensômetros

S20 ou S40, taxa de armadura longitudinal A (1,32 %) ou B (1,55 %) e  $V_f$  adicionado à matriz de concreto (0 %, 0,64 % ou 0,77 %). Na Figura 1 são vistos a geometria e detalhamento das armaduras.

O cobrimento das armaduras foi de 25 mm, exceto na região normal aos ganchos onde o cobrimento foi de 70 mm.

As ancoragens das armaduras longitudinais de tração nas extremidades das vigas foram realizadas por meio do cálculo do comprimento reto das arma-

duras e do gancho de ancoragem correspondente a 160 mm, para as barras de 12,5 mm, e 200 mm, para as barras de 16,0 mm. Uma vez que o momento negativo nas vigas era nulo, foram utilizadas 2 barras de aço CA 60 de 5 mm como armadura longitudinal superior, para efeitos construtivos.

### 2.1.1 INSTRUMENTAÇÃO DAS VIGAS

As deformações específicas nas

armaduras e no concreto foram mensuradas com a utilização de extensômetros elétricos. Na Figura 2 são apresentados os detalhes das posições dos extensômetros nas armaduras e no concreto, com as suas respectivas posições e nomenclaturas. Nesta figura também são vistos o posicionamento de três LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), um no meio do vão para medida da deflexão, e os outros dois, para monitorar qualquer deslocamento no apoio.

### 2.2 Materiais e moldagem do concreto

Na Tabela 2 são vistos o consumo dos materiais para 1 m<sup>3</sup> de concreto e os resultados de abatimento de tronco de cone.

A relação água/cimento (a/c) foi 0,70, para a série S20, e 0,43, para a série S40. Foram utilizados o cimento CP III 40 RS, agregado miúdo de areia lavada de rio e os agregados graúdos de pedra britada de rocha basáltica.

As fibras de aço foram do tipo com gancho na extremidade (Figura 3), com comprimento de 60 mm, diâmetro de

► **Tabela 2 – Consumo dos materiais**

Componentes	Série S20				Série S40				
	S20A-0	S20A-0.64	S20A-0.77	S20B-0.77	S40A-0	S40B-0	S40A-0.64	S40B-0.64	S40B-0.77
Abatimento (mm)	110	75	100	110	140	130	55	55	120
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	300,30	300,30	300,30	447,00	447,00	447,00	22,32	145	72,50
Areia MF <sup>1</sup> 1,59 (kg/m <sup>3</sup> )	276,28	276,28	276,28	250,32	250,32	250,32	24,16	213	106,50
Areia MF 3,15 (kg/m <sup>3</sup> )	516,52	516,52	516,52	464,88	464,88	464,88	23,76	185	92,50
Brita Dmax <sup>2</sup> 12,5 mm (kg/m <sup>3</sup> )	252,25	252,25	252,25	268,20	268,20	268,20	35,67	120	60,00
Brita Dmax 19,0 mm (kg/m <sup>3</sup> )	757,76	757,76	757,76	804,60	804,60	804,60	36,29	137	68,50
Água (l/m <sup>3</sup> )	198,20	198,20	198,20	179,80	179,80	179,80	35,70	209	104,50
Aditivo (l/m <sup>3</sup> )	0,29	0,57	1,29	1,28	2,13	2,34	39,38	246	123,00
Teor de fibra (kg/m <sup>3</sup> )	NA <sup>3</sup>	50	60	NA	50	60	37,05	230	115,00
Teor de fibras em volume (%)	NA	0,64	0,77	NA	0,64	0,76	39,38	246	123,00

<sup>1</sup>MF: Módulo de finura; <sup>2</sup>Dmax: Diâmetro máximo; <sup>3</sup>NA: não se aplica.



0,90 mm, fator de forma de 65, resistência à tração de 1160 MPa e módulo de elasticidade de 210 GPa.

Para cada viga foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos (100 mm x 200 mm), 3 para a verificação da resistência à compressão e 3 para resistência à tração por compressão diametral. Os corpos de prova ficaram 24 horas em câmara úmida, posteriormente foram deformados e mantidos em cura submersa até a data de realização dos ensaios das vigas.

### 2.3 Configuração dos ensaios

Os ensaios foram realizados com mais de 120 dias de cura do concreto das vigas. Para aplicação das cargas foi utilizado o pórtico metálico montado sobre a laje de reação do laboratório de Estruturas da Universidade Federal de Uberlândia.

Durante o ensaio, as vigas ficaram apoiadas em dois roletes. Cada um dos roletes foi apoiado em um bloco de concreto. O carregamento da viga foi aplicado por atuador hidráulico alimentado por uma bomba manual e transferido a dois pontos simétricos da viga afastados de 700 mm de cada um dos apoios, por meio de uma viga constituída por perfil metálico “I” (Figura 4).

Para a medição do carregamento, foi utilizada uma célula de carga de 500 kN. A viga de perfil “I” ficou interposta entre a célula de carga e a viga de concreto. Essa viga metálica transferiu a carga do atuador hidráulico para duas placas de aço de 5 cm de largura, que foram apoiadas e niveladas com argamassa sobre a viga de concreto.

A força foi aplicada com incrementos de 15 kN e mantida em tempo médio aproximado de 30 segundos.

Os dados da célula de carga, as deformações das armaduras e do con-

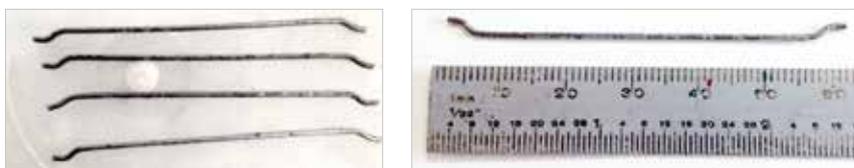
creto e o deslocamento no meio do vão e nos apoios foram armazenados por equipamento aquisitor de dados, para uma frequência de 5 hertz.

Os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral foram realizados

utilizando a prensa eletromecânica servo-controlada (Figura 5). A prensa possui capacidade de carga de 600 kN.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÕES

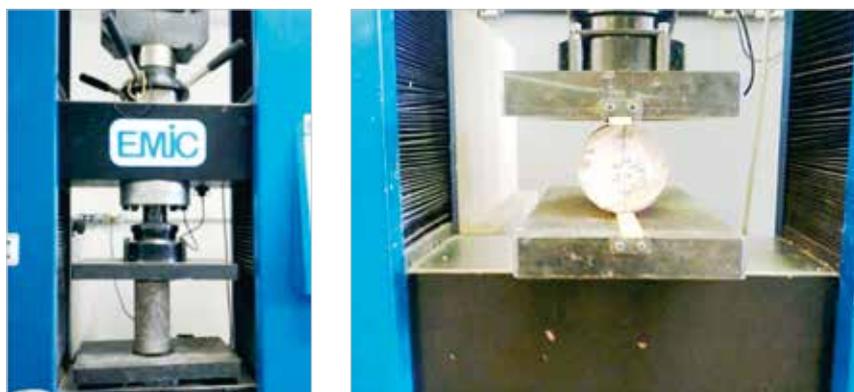
O efeito da adição de fibras na  $f_c$  e



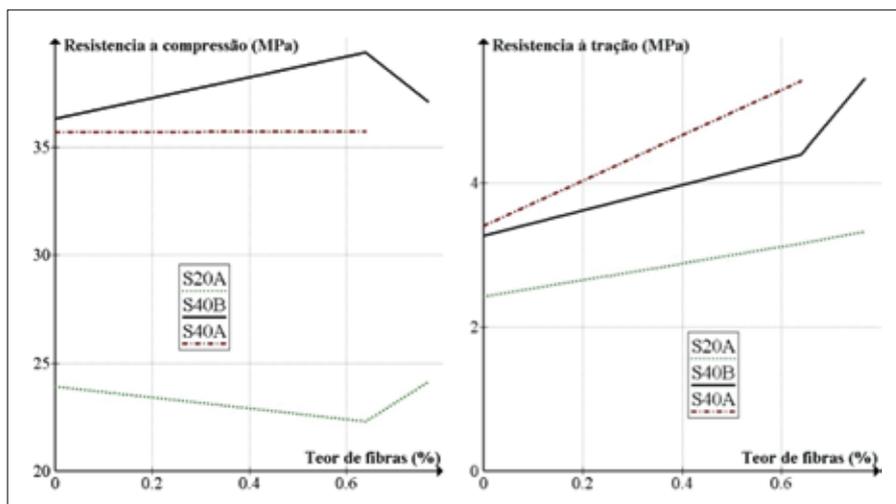
► **Figura 3**  
Fibras de aço



► **Figura 4**  
Configuração do ensaio



► **Figura 5**  
Ensaio dos corpos de prova cilíndricos



► **Figura 6**  
Efeito da adição de fibras de aço na resistência à compressão e à tração do concreto

na resistência à tração do concreto por compressão diametral  $f_{ct}$  podem ser vistos na Figura 6.

O acréscimo de fibras de aço ao concreto exerceu influência pouco significativa ou mesmo uma redução na  $f_c$  conforme já observado por MEHTA e MONTEIRO (2014). Esses autores relatam que acréscimo de fibras de aço no concreto em teores inferiores a 2% por volume exerce influência desprezível na resistência à compressão.

Ao contrário da  $f_c$ , a adição de fi-

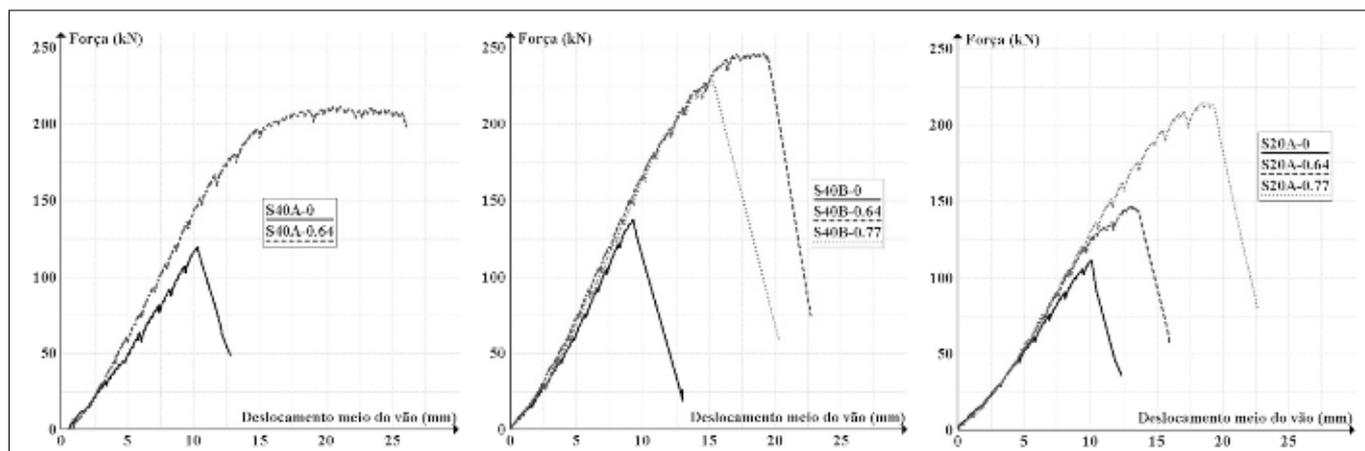
bras influenciou significativamente a resistência à tração por compressão diametral. Na S20A e S40B, o aumento do  $V_f$  de 0 para 0,77% foi acompanhado de um aumento da  $f_{ct}$  de 37% e 67%, respectivamente. Na S40A, a  $f_{ct}$  aumentou 59% com a adição de 0,64%. O aumento da  $f_{ct}$  é creditado a maior mobilização de energia para ocasionar a formação e propagação de fissuras.

As curvas força  $\times$  deslocamento no meio do vão, quando mantidos constantes  $\rho$  e  $f_c$ , são mostradas na Figura 7.

As vigas sem adição de fibras (S40A-0, S40B-0 e S20A-0) apresentaram uma perda repentina da capacidade de suportar a carga imediatamente após a força última ( $P_u$ ) ser alcançada devido ao rápido aumento da fissura diagonal.

Analisando as vigas da S40, observa-se que a forma da curva variou dependendo do  $\rho$ , que ditou se a ruptura por cisalhamento ocorreu antes ou depois do escoamento da armadura longitudinal de tração. Na situação onde o escoamento da armadura longitudinal precedeu a ruptura, a curva exibiu um patamar de escoamento bem definido (viga S40A-0.64). DINH, PARRA- MONTESINOS e WIGHT (2010), encontraram resultado semelhante em vigas sem estribos, com  $V_f$  de 1% e  $\rho$  de 2,0% e 2,7%. As vigas com menores  $\rho$  (2%) apresentaram um platô bem definido, indicando escoamento da armadura longitudinal anterior à ruptura.

Com o aumento do  $V_f$ , tanto a força última ( $P_u$ ) como o deslocamento último aumentaram, tanto para a série S20 como para a série S40. A exceção ocorreu entre as vigas S40B-0.64 e S40B-0.77, nas quais o aumento do  $V_f$  foi acompanhado por uma redução tanto de  $P_u$  como do deslocamento. Isso



► **Figura 7**  
Curvas força  $\times$  deslocamento no meio do vão



pode ser atribuído à dificuldade de moldagem atribuída a este teor de fibras. O deslocamento último foi definido como o deslocamento no qual a força resistida pela viga caiu significativamente.

### 3.1 Modo de ruptura e padrão de fissuração

O modo de ruptura de todas as vigas está listado na Tabela 1.

A presença de fibras de aço na matriz de concreto alterou o padrão de fissuração tanto na série S20 como na S40. Nas vigas S20A-0 e S40A-0 (sem fibras de aço), fissuras de flexão se formaram primeiramente na região de momento constante (entre os pontos de aplicação da força). A ruptura ocorreu de forma súbita, imediatamente após o aparecimento de uma única fissura diagonal.

Na S20 (Figura 8), mantendo as demais variáveis constantes, com o aumento do teor de fibras houve alteração no padrão de fissuração, com a formação de pelo menos duas fissuras diagonais, um maior número de fissuras de flexão, com conseqüente menor espaçamento entre elas. A ruptura ocorreu pelo alargamento da fissura diagonal, com um padrão de ruptura menos frágil quando comparado com a viga sem fibra S20A-0.

Na S40 (Figura 9 e Figura 10), mantendo as demais variáveis constantes, com o aumento do teor de fibras, houve alteração no padrão de fissuração e o modo de ruptura foi alterado para uma combinação cortante-flexão. Fissuras diagonais e de flexão interagiram para causar a ruptura.

Assim, como na S20, com o aumento do teor de fibras houve alteração no padrão de fissuração, com a formação de pelo menos duas fissuras diagonais, um maior número de fissuras de flexão com menor espaçamento entre elas.

Além do maior número de fissuras,



a Viga S20A-0



b Viga S20A-0.64



c Viga S20A-0.77

► **Figura 8**  
Padrão de fissuração na S20 com o aumento do teor de fibras



a Viga S40A-0



b Viga S40A-0.64

► **Figura 9**  
Padrão de fissuração na S40A com o aumento do teor de fibras

as vigas de CRFA, ao contrário das outras vigas, apresentaram o alargamento de, pelo menos, uma fissura inclinada proeminente, que forneceu algum aviso sobre o iminente colapso.

Observa-se que em todas as vigas, apesar do carregamento aplicado ter sido simétrico, a abertura da fissura e ruína não o foi. Tal comportamento pode ser explicado pela própria heterogeneidade do material.

### 3.2 Resistência ao cisalhamento última

A resistência ao cisalhamento última ( $v_u$ ) obtida para as vigas está descrita na Tabela 1 em termos de resistência mé-

dia ao cisalhamento na ruptura, definida como a cortante última ( $V_u$ ) dividida pelo produto da altura útil pela largura da viga.

O efeito do teor de fibras na  $v_u$  para a S20A e S40B está ilustrado na Figura 11. Observa-se que, para a S20A, um teor de fibras acima de 0,64% (50 kg/m<sup>3</sup> de concreto) implicou um aumento mais significativo na  $v_u$ , de mais de 90% quando comparado com a viga sem fibra. Ao contrário, na S40B, a eficiência do reforço de fibra em aumentar a resistência ao cisalhamento, tendeu a diminuir quando utilizado  $V_f$  superior a 0,64%.

Na S40A, a adição de 0,64% de fibras causou um aumento de 74,20% na  $v_u$ ; na S40B, esse aumento foi de 79,56% quando comparada à viga sem

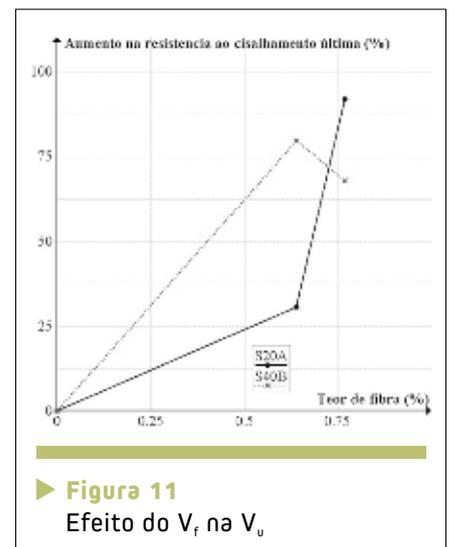
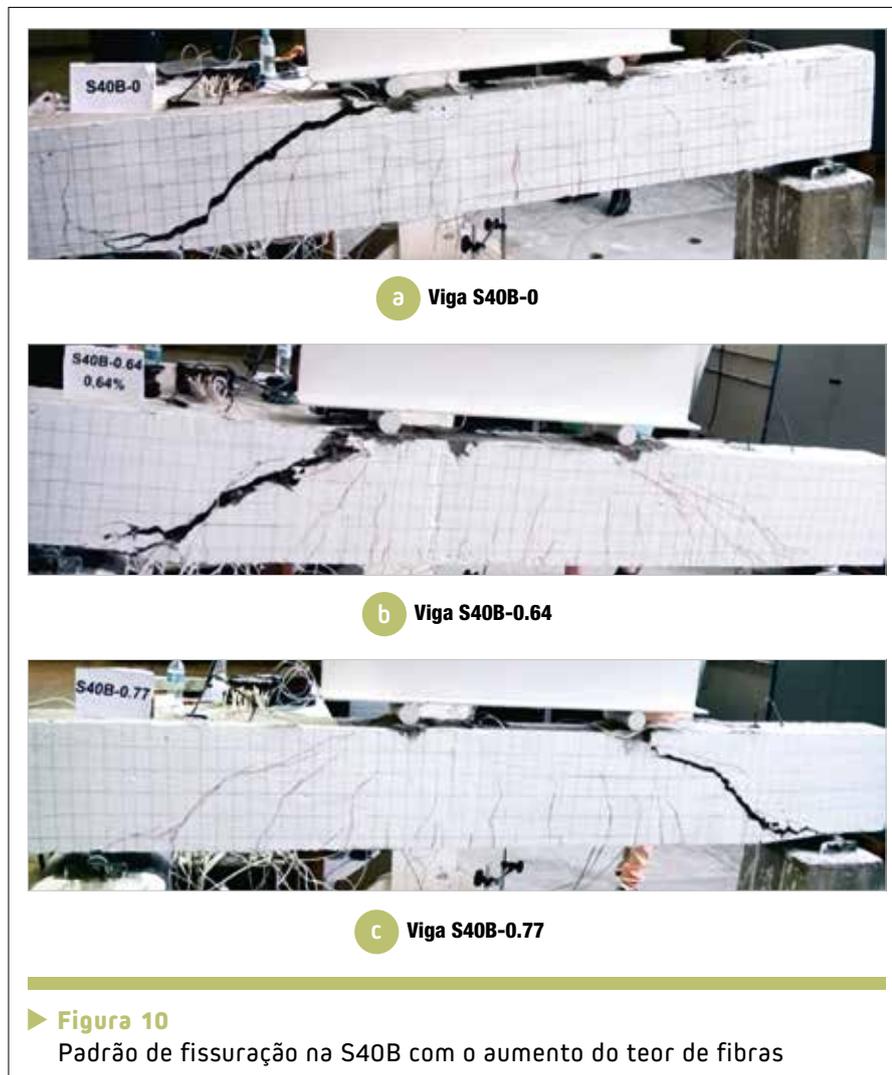
o reforço de fibras. É importante observar que a viga S40A-0.64 rompeu à flexão e, para as vigas que falharam na flexão a força de ruptura não é igual a resistência ao cisalhamento. Desta forma, a força de ruptura somente forneceu um limite inferior na resistência ao cisalhamento.

Analisando a resistência ao cisalhamento normalizada pela resistência à compressão ( $v_u / \sqrt{f_c}$ ), as vigas com maiores valores de  $v_u / \sqrt{f_c}$  (S20A-0.77 e S40B-0.64) apresentaram um nível de tensão de cisalhamento normalizada mais de 1,5 vezes superior às vigas sem fibras e com mesma taxa de armadura longitudinal.

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi investigado o comportamento de vigas de CRFA submetidas à flexão em quatro pontos. Um total de nove vigas foram ensaiadas para investigar a influência do  $V_f$ ,  $\rho$  e  $f_c$  no modo de ruptura e resistência da viga ao cisalhamento. Também foi avaliada a influência da adição de fibras na  $f_c$  e  $f_{ct}$  de corpos de prova cilíndricos de concreto. As principais conclusões que podem ser retiradas deste estudo experimental são:

- ▶ A adição de fibras de aço ao concreto teve efeito significativo na  $f_{ct}$ , ocorrendo um aumento da  $f_{ct}$  com o aumento



do  $V_p$ . Ao contrário, o efeito das fibras sobre a  $f_c$  foi pouco significativo.

- ▶ Com o aumento do  $V_p$ , a  $P_u$  e o deslocamento último aumentaram tanto para a série S20 como para a série S40. A exceção ocorreu entre as vigas S40B-0.64 e S40B-0.77, nas quais, com o aumento do  $V_p$ , ocorreu uma redução tanto de  $P_u$  como do

deslocamento. Isso foi creditado à dificuldade de moldagem atribuída a este teor de fibras.

- ▶ A presença de fibras de aço na matriz de concreto alterou o padrão de fissuração tanto na série S20 como na S40, com a formação de, pelo menos, duas fissuras diagonais, um maior número de fissuras de flexão, com me-

nor espaçamento entre elas. Esse padrão de fissuração foi mais favorável para a segurança, uma vez que proporcionou uma ruptura mais avisada.

- ▶ A adição de fibras de aço com gancho na extremidade na matriz de concreto aumentou a resistência ao cisalhamento de vigas submetidas à flexão do ponto de vista de  $v_u / \sqrt{f_c}$ . ◀

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 239 p.
- [2] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.4R: Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete. ACI committee, 1988. Reapproved 2009. 22 p.
- [3] DINH, H.H.; PARRA-MONTESINOS, G.J.; WIGHT, J. Shear behavior of steel fiber-reinforced concrete beams without stirrup reinforcement. ACI Structural Journal, Farmington Hills, v. 107, n. 5, sep-oct. 2010.
- [4] FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras de aço. 2011. 247 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2011.
- [5] INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSULTORIA E ENGENHARIA ESTRUTURAL. Prática recomendada IBRACON/ABECE: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras. Ed. IBRACON/ABECE, 2016, 39 P.
- [6] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.
- [7] SLATER, E.; MONI, M.; ALAM, M.S. Predicting the shear strength of steel fiber reinforced concrete beams. Construction and Building Materials, Oxford, n. 26, p. 423-436, jun. 2012.

# Revista IBRACON de Estruturas e Materiais IBRACON Structures and Materials Journal

O periódico RIEM objetiva a divulgação das pesquisas, desenvolvimentos e inovações relacionadas à tecnologia do concreto e aos seus sistemas construtivos. São publicados artigos sobre:

- Projetos estruturais
- Normalização
- Estruturas de concreto
- Estruturas mistas
- Cimento
- Materiais cimentantes e seus derivados
- Concreto e argamassa
- Materiais poliméricos de reforço
- Betuminosos usados na construção civil

A RIEM divulga ainda comunicações técnicas, discussões e réplicas dos artigos publicados.

Os textos são revisados pelo Conselho Editorial e pela Banca Examinadora da RIEM, compostos por profissionais nacionais e estrangeiros com reconhecida competência em sua área de atuação.

### Para colaborar

Acesse a RIEM no site [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br) (link "Publicações")

→ Clique em **Acesso a Página do Usuário**

→ Registre-se como leitor, autor ou bibliotecário (link "Information")

→ Faça seu login no sistema

→ Clique no link para a submissão do artigo

O acesso a RIEM é livre. Todos são convidados a contribuir com as futuras edições.



# Segurança contra incêndio: quanto custa uma vida?

DR. CARLOS BRITZ – PÓS-DOUTORANDO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PHD ENGENHARIA

Em 14 de junho último ocorreu novamente uma tragédia sem proporções, exaustivamente divulgada pela mídia, praticamente com transmissão ao vivo, relacionada com uma edificação incendiada em Londres, a Grenfell Tower. Até para os mais leigos, o que pôde se assistir nas cenas divulgadas foi um incêndio muito intenso e com uma velocidade de propagação das chamas muito rápida, que consumiu praticamente toda a fachada do prédio em pouquíssimo tempo.

O resgate mobilizou uma equipe de mais de 250 bombeiros e 45 viaturas para controlar o fogo.

As estatísticas relatam mais de 80 vítimas fatais e a estrutura só não colapsou porque é de concreto, material altamente resistente ao fogo.

Informações preliminares de especialistas já indicavam que o uso de um revestimento na fachada com elevado potencial inflamável poderia ser uma das probabilidades da rápi-



Incêndio no Grenfell Tower (*Construction News*)

da propagação das chamas. Logo depois, foi noticiado que o produto empregado se tratava verdadeira-mente de uma versão mais barata e mais inflamável de um material composto de alumínio (popular ACM).

O Edifício Grenfell Tower é um prédio de 67 m de altura, 24 pavimentos e 120 apartamentos, que data de 1974. Segundo levantamentos, o edifício passou por um retrofit em 2012 (que findou em 2016) e sua

fachada foi revestida com o material conhecido como Reynobond PE. Trata-se de um painel constituído por duas chapas de alumínio com um núcleo de polietileno termoplástico para melhorar seu desempenho térmico e acústico, contendo em seu interior um composto chamado cianeto de hidrogênio, que é altamente tóxico e inflamável.

A Omnis Exteriors foi a fabricante do material composto de alumínio



(ACM) usado no revestimento do Grenfell Tower. A empresa afirmou na imprensa que foi pedido o revestimento Reynobond PE, que é mais barato do que a alternativa Reynobond FR, que é resistente ao fogo. Outra empresa, a Harley Facades, confirmou ainda que instalou os painéis mais baratos, adquiridos da Omnis Exteriors, no edifício. A Omnis, por sua vez, confirmou que vendeu revestimento ACM para a Harley Facades, a empresa responsável por instalar o material composto de alumínio. A construtora Rydon foi a empreiteira principal do projeto de reabilitação. Esta empresa subcontratou os trabalhos a outras entidades, incluindo a Harley Facades. Há algumas informações desencontradas na mídia, mas acredita-se que a remodelação da edificação custou algo em torno de 10 milhões de euros. Resultado de tudo isso: o produto foi retirado de comercialização do mercado de todo o mundo.

O mais chocante em tudo isso é o número assustador de vítimas fatais do Grenfell Tower. Os números mais atualizados reportam mais de 80 mortos e 70 feridos, mas há ainda muitos desaparecidos. O maior problema é que, segundo informações iniciais, havia residentes sem documentação, imigrantes e refugiados, o que dificulta até saber as pessoas que de fato estavam no local no momento do incêndio. Grupos de moradores estimam pelo menos 120 vítimas fatais.

O mais impressionante é que especialistas já alertavam sobre irregularidades e problemas de segurança na edificação, inclusive o governo do Reino Unido é acusado de ignorar esses alertas. Estima-se que pelo me-

nos 600 prédios da Inglaterra possuam o mesmo tipo de revestimento do Grenfell Tower. Na Alemanha e nos Estados Unidos, o uso do material já estava proibido desde 2015.

Apesar de no Brasil haver um histórico muito triste relacionado com vítimas fatais em incêndio, infelizmente os chamados painéis de composto de alumínio são amplamente utilizados em edificações. Segundo o especialista em proteção passiva contra o fogo Jeffery Lin, da CKC do Brasil, existem muitos fabricantes e modelos disponíveis no mercado, alguns deles atendem às exigências locais de segurança contra incêndio, porém outros são altamente combustíveis e propagadores de chamas, os quais não são seguros para uso em edificações, principalmente nas mais altas.

Lin complementa ainda que é fundamental que, durante o projeto das edificações ou de retrofit, os materiais escolhidos como revestimento interno e externo possuam baixa propagação de chamas, e nos ambientes internos a baixa emissão de fumaça. Essas propriedades devem ser devidamente comprovadas através de ensaios e certificações de laboratórios de fogo competentes e acreditados. A exemplo dos painéis de alumínio composto, existem retardantes de alta performance que são utilizados durante o processo produtivo, melhorando seu desempenho em situação de incêndio.

Entenda-se que um dos elementos aceleradores da propagação de chamas nas fachadas, assim como no Grenfell Tower, é o túnel de vento criado entre a alvenaria do edifício e os painéis, sugando conseqüentemente as chamas para os pavimentos superiores.

A utilização de sistemas de firestop para minimizar a propagação de chamas aumentaria o tempo para evacuação. Ainda, caso os painéis instalados sejam de alta propagação de chamas, a remoção dos mesmos seria a melhor alternativa, a exemplo do que foi feito nos Emirados Árabes, onde que está proibida sua utilização para novas edificações, e que determinou sua remoção nas edificações altas, destaca Lin.

Nesse contexto o Prof. Dr. Valdir Pignatta Silva, expoente na Segurança contra Incêndio no Brasil, publicou um livro excelente, já divulgado anteriormente na Revista do IBRACON: “Segurança Contra Incêndio em Edifícios. Considerações Para o Projeto de Arquitetura”, cujo objetivo é o de fornecer conceitos ligados exatamente à segurança contra incêndio, com ênfase na proteção passiva e compartimentação, frisando os aspectos a serem previstos no projeto.

Finalmente, uma das informações que chama a atenção na mídia é que a tragédia do Grenfell Tower só não teve maiores proporções porque a estrutura da edificação foi construída 100% em concreto, suportando altas temperaturas e preservando as armaduras, sem causar o seu desabamento.

Quer saber mais sobre assunto? Então fique atento, pois o IBRACON está mobilizando uma grande equipe de especialistas para numa edição futura tratar do assunto de Incêndio em Estruturas de Concreto com profundidade: principais centros de pesquisas, normalização, instruções técnicas do Corpos de Bombeiros, legislação e muito mais! 

# Concreto reforçado com fibra de aço (SFRC) em situação de incêndio – requisitos normativos, pré-normativos e códigos-modelo<sup>1</sup>

FRANK DEHN

ANNEMARIE HERRMANN

LEIPZIG UNIVERSITY – LEIPZIG, GERMANY

## RESUMO

Nos últimos anos, devido à evolução da tecnologia dos materiais, pela compreensão de suas interações fundamentais, bem como da modelagem e do projeto com base experimental e numérica, o uso do concreto reforçado com fibras (SFRC<sup>2</sup>) tem aumentado progressivamente. Uma questão fundamental que deve ser particularmente considerada na maior parte das aplicações do SFRC é a evidência de segurança estrutural em situação de incêndio. Este artigo apresenta uma visão geral dos requisitos normativos e pré-normativos nacionais<sup>3</sup> e internacionais disponíveis, bem como de códigos-modelo, para modelagem e projeto do comportamento de

ambos, material e estrutura (SFRC) em situação de incêndio. Este artigo ilustra também a necessidade de considerar o comportamento do SFRC sob o ponto de vista técnico e jurídico. Como ainda está pendente uma abordagem adequada de projeto em situação de incêndio, as verificações experimentais são recomendadas, tanto em relação ao material em si, quanto do ponto de vista estrutural, a fim de fornecer soluções técnicas e economicamente razoáveis que não restrinjam avanços devido a modelos conservadores.

## PALAVRAS-CHAVE

Projeto em situação de incêndio, fibras de aço, segurança estrutural, normas/códigos.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o uso de concreto reforçado com fibras de aço (SFRC) tem crescido progressivamente. As questões de maior importância, que devem ser particularmente consideradas para a maioria das aplicações estruturais com o SFRC, são o conhecimento de seu comportamento sob exposição ao fogo e sob condições tempo-temperatura não normalizadas e normalizadas (por exemplo, de acordo com a ISO 834-1:1999) e como projetar os respectivos elementos estruturais ou toda a estrutura em situação de incêndio. Atualmente não se dispõe de uma abordagem de projeto abrangente – como as existentes para estruturas tradicionais de concreto armado

<sup>1</sup> ESTE ARTIGO FOI PUBLICADO ORIGINALMENTE EM INGLÊS, COM O TÍTULO “STEEL FIBRE-REINFORCED CONCRETE (SFRC) IN FIRE – NORMATIVE AND PRE-NORMATIVE REQUIREMENTS AND CODE-TYPE REGULATIONS”, COMO PARTE DO *FIB BULLETIN 79 FIBRE-REINFORCED CONCRETE: FROM DESIGN TO STRUCTURAL APPLICATIONS, FRC 2014:ACI-FIB INTERNATIONAL WORKSHOP*. FOI TRADUZIDO PARA O IDIOMA PORTUGUÊS PELA ENG<sup>a</sup> INÊS LARANJEIRA DA SILVA BATTAGIN, SUPERINTENDENTE DO COMITÊ BRASILEIRO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT/CB-18). A PUBLICAÇÃO DESTES ARTIGOS NESTA EDIÇÃO DA REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES DO IBRACON FOI AUTORIZADA PELOS AUTORES.

<sup>2</sup> NOTA DA TRADUTORA: SFRC É A SIGLA PARA *STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE*.

<sup>3</sup> NOTA DA TRADUTORA: QUANDO TRATA DE ASPECTOS NACIONAIS, O AUTOR SE REFERE A SEU PAÍS DE ORIGEM, A ALEMANHA.



ou protendido. Dessa forma, premissas de projeto conservadoras têm sido utilizadas para algumas aplicações, o que conduz a soluções que são técnica e economicamente ineficientes e não satisfazem o potencial inovador do SFRC.

A seguir são apresentadas informações normativas e pré-normativas compiladas a respeito do SFRC em situação de incêndio. Com base nessas informações, estão salientadas neste artigo conclusões relativas às premissas comumente aceitas e são destacados também esforços adicionais necessários para o estabelecimento de requisitos razoáveis e geralmente válidos para o projeto do SFRC em situação de incêndio no futuro. Devido à falta de base normativa para o projeto em situação de incêndio do SFRC, tem sido usual a realização de ensaios em amostras representativas ou em escala real, submetidas a cargas térmica e mecânica superpostas, tendo em vista certificar a segurança estrutural em casos individuais. Em contraste com o nível estrutural, os resultados dos ensaios do material podem ser usados para obter respostas temperatura-dependentes (propriedades durante a exposição ao fogo versus propriedades residuais). Por sua vez, o lascamento<sup>4</sup> (*spalling*) do concreto devido à exposição ao fogo tem sido apontado como um ponto crucial mútuo – material e estrutura – e precisa ser reduzido ou prevenido por proteção ativa ou passiva adequada, como, por exemplo, placas de proteção ou fibras poliméricas. Somente pelo controle do *spalling* do concreto exposto ao fogo, uma perda da eficácia das fibras de aço

pode ser admitida como hipótese de aceitação, em termos de uma contribuição para a capacidade de carga das fibras de aço aplicadas.

## 2. ESTADO DA ARTE DA NORMALIZAÇÃO

Este capítulo apresenta uma revisão, em termos de resistência ao fogo do SFRC, do estado da arte de uma seleção de normas e publicações nacionais e internacionais. Para isto, documentos CEN (Comitê Europeu de Normalização), DAfStb (Comitê Alemão de Concreto Armado), AFGC (Associação Francesa de Engenharia Civil), CNR/UNI (Conselho Nacional de Pesquisa da Itália), BS (Normas Britânicas), ÖBV (Sociedade Austríaca para a Tecnologia da Construção), ACI (Instituto Americano do Concreto), ASTM (Sociedade Americana para Ensaios e Materiais), JCI (Instituto Japonês do Concreto), KCI (Instituto Coreano do Concreto) e CIA (Instituto Australiano do Concreto) foram considerados nesta análise.

### 2.1 Europa

#### 2.1.1 COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO (CEN)

O projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio está estabelecido na EN 1992-1-2 “Projeto de estruturas de concreto – Parte 1-2 – Regras gerais: Projeto em situação de incêndio” (EN 1992-1-2:2004). Os requisitos para o projeto em situação de incêndio são limitados às aplicações convencionais em estruturas

de concreto armado e concreto protendido. Não há recomendações normalizadas para o projeto de construções feitas em SFRC. Com relação ao lascamento explosivo do concreto<sup>5</sup>, a norma traz informações sobre métodos que promovem uma redução desse processo, em particular para concretos de alta resistência (por exemplo, o chamado método “D”: uso de fibras poliméricas na proporção de 2,0 kg/m<sup>3</sup> para concreto de classe de resistência C80/95 < C ≤ 90/105, de acordo com a EN 206-1: 2001).

#### 2.1.2 COMITÊ ALEMÃO DE CONCRETO ARMADO (DAFSTB)

Adicionalmente à versão Alemã da EN 1992-1-2 (DIN EN 1992-1-2:2010), o Comitê Alemão de Concreto Armado (DAfStb) publicou uma prática recomendada sobre concreto reforçado com fibra denominada “*Steel fibre-reinforced concrete*” (DAfStb:2012). Para o projeto em situação de incêndio, essa Prática faz referência a Normas Alemãs (DIN 4102-4, DIN 4102-22 e DIN 1045-1) para definir as classes de resistência ao fogo, destacando que os elementos de construção feitos de SFRC podem ser classificados como elementos de concreto simples. No entanto, são necessários ensaios para verificar a segurança do SFRC sob a ação do fogo exclusivamente em nível estrutural.

#### 2.1.3 ASSOCIAÇÃO FRANCESA DE ENGENHARIA CIVIL (AFGC)

A Norma Francesa da AFGC leva

<sup>4</sup> NOTA DA TRADUTORA: SPALLING É O TERMO EM INGLÊS QUE NESTE CONTEXTO SIGNIFICA LASCAMENTO (ÁS VEZES EXPLOSIVO) COM DESTACAMENTO DE PEDAÇOS DE CONCRETO, QUANDO EXPOSTO AO FOGO. NO CASO DE ESTRUTURAS ARMADAS, NORMALMENTE CORRESPONDE A PERDA DE PARTE DO COBRIMENTO DA ARMADURA, NO LOCAL DA EXPOSIÇÃO AO FOGO.

<sup>5</sup> NOTA DA TRADUTORA: DO ORIGINAL: “CONCRETE EXPLOSIVE SPALLING”.

em consideração especialmente o Concreto de Ultra Alto Desempenho reforçado com fibra de aço (UHPRFC)<sup>6</sup>. O comportamento em situação de incêndio do Concreto de Ultra Alto Desempenho Reforçado com Fibra (UHPRFC)<sup>7</sup> para diferentes ensaios térmicos e os resultados obtidos com o UHPC foram mesclados e concluiu-se que a difusividade térmica do UHPC e do UHPRFC são similares aos valores da EN 1992-1-2 com base no UHPC sem fibras de aço. Em relação à resistência ao fogo do UHPRFC, observou-se que o aumento da temperatura causa uma perda de resistência semelhante ao declínio observado na resistência dos concretos simples. Posteriormente, conclui-se que ensaios normalizados de exposição ao fogo devem ser realizados para cada traço de UHPRFC. Além disso, o documento destaca a eficácia das fibras poliméricas no UHPRFC para reduzir o lascamento (*spalling*) do concreto exposto ao fogo (AFGC: 2013).

#### 2.1.4 CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA DA ITÁLIA (CNR)

O guia para projeto e construção de estruturas de concreto reforçado com fibras, CNR-DT 204/2006 (*Guide for the design and construction of fibre reinforced concrete structures*) trata de FRC contendo diferentes tipos de fibras. Com relação ao SFRC, informa que uma baixa porcentagem de fibras de aço não influencia a difusividade térmica. No entanto, as fibras de aço melhoram a resistência residual para

concreto exposto a temperaturas superiores a 600°C. Adicionalmente, o documento apresenta um coeficiente de dano, que é calculado como a relação entre a resistência residual de corpos de prova de concreto submetidos a altas temperaturas, de acordo com a norma, e a resistência obtida em corpos de prova ensaiados à temperatura ambiente (CNR: 2006).

#### 2.1.5 NORMAS BRITÂNICAS (BS)

No Reino Unido (UK), o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio é estabelecido pela BS EN 1992-1-2:2004. A versão Britânica do EC2<sup>8</sup> não traz informações complementares com relação ao projeto em situação de incêndio do SFRC. Da mesma forma, a BS EN 14845-2 (*Test methods for fibres in concrete*) trata dos efeitos das fibras no concreto, mas não informa sobre o projeto em situação de incêndio do SFRC.

#### 2.1.6 SOCIEDADE AUSTRIACA PARA A TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO (ÖBV)

Na diretriz austríaca denominada *“Increased construction fire protection with concrete for underground traffic constructions”* (Aumento da proteção contra incêndio com concreto em construções subterrâneas destinadas ao trânsito), fruto de diversos programas de pesquisa e experiências práticas, conclui-se que a adição de fibras poliméricas na massa do concreto reduz o lascamento

(*spalling*) e aumenta a resistência ao fogo dos elementos de concreto. O projeto em situação de incêndio para SFRC não está incluído na diretriz ÖBV (ÖBV: 2013).

## 2.2 América do Norte

### 2.2.1 AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI)

O Comitê ACI 544 encontra-se desenvolvendo trabalhos sobre FRC e os principais resultados já obtidos estão publicados em dois relatórios.

ACI 544.3R-08 *“Guide for specifying, proportioning, and production of fiber-reinforced concrete”* (Guia para especificação, proporcionamento e produção de concreto reforçado com fibras), que não contém informações relativas ao projeto de SFRC em situação de incêndio.

ACI 544.5R-10 *“Report on the physical properties and durability of fiber-reinforced concrete”* (Relatório sobre as propriedades físicas e a durabilidade do concreto reforçado com fibras), que inclui informações sobre a durabilidade do FRC exposto a altas temperaturas ou ao fogo. No que se refere ao SFRC, conclui que o uso de fibras de aço melhora a resistência residual de elementos estruturais de concreto, esclarecendo que as fibras promovem uma extensão temporal da resistência ao fogo e, portanto, o SFRC apresenta falha mais tardiamente que o concreto simples. Além disso, o relatório menciona que as lajes de SFRC expostas ao fogo são de três até

<sup>6</sup> NOTA DA TRADUTORA: UHPC É A SIGLA PARA *ULTRA HIGH-PERFORMANCE CONCRETE*.

<sup>7</sup> NOTA DA TRADUTORA: UHPRFC É A SIGLA PARA *ULTRA HIGH-PERFORMANCE FIBRE REINFORCED CONCRETE*.

<sup>8</sup> NOTA DA TRADUTORA: EC2 E EUROCODE 2 CORRESPONDEM À EN 1992 – PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.



nove vezes mais resistentes do que lajes sem fibras de aço (ACI 544.5R-10).

### 2.2.2 SOCIEDADE AMERICANA PARA ENSAIOS E MATERIAIS (ASTM)

Em complemento às normas nacionais, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) publicou recomendações, como a ASTM E119, que estabelece como realizar ensaios para avaliar o comportamento de construções de edifícios e materiais em situação de incêndio, porém não há nada especificado para SFRC (ASTM E119-12a).

## 2.3 Ásia

### 2.3.1 INSTITUTO JAPONÊS DO CONCRETO (JCI)

A revisão dos relatórios técnicos do JCI conduziu à conclusão de que não há informações específicas sobre o SFRC e sua resistência ao fogo. Atualmente, os regulamentos de incêndio para a FRC no Japão seguem as especificações para concreto da Sociedade Japonesa de Engenheiros Civis (JSCE), que estabelece um aumento na espessura do cobrimento da armadura de 20 mm, além do cobrimento normal sem exposição ao fogo.

### 2.3.2 INSTITUTO COREANO DO CONCRETO (KCI)

O KCI não dispõe de publicações específicas sobre o SFRC e sua resistência ao fogo ou a elevadas temperaturas.

## 2.4 Austrália/Oceania (CIA)

O relatório da CIA, CPN 35 “*Fibres in Concrete*” (Fibras no concreto) traz recomendações sobre o uso de fibras em geral. O documento descreve o efeito das fibras de aço e poliméricas no concreto, mas não trata dos efeitos relacionados à resistência ao fogo.

## 3. ESTADO DA ARTE NOS DOCUMENTOS PRÉ-NORMATIVOS

Este capítulo trata do estado da arte de documentos pré-normativos internacionais usando o exemplo da *fib* (Federação Internacional do Concreto Estrutural).

### 3.1 A Federação Internacional do Concreto Estrutural (fib)

#### 3.1.1 CÓDIGO MODELO 2010

O Código Modelo 2010<sup>9</sup> caracteriza diferentes formas de fibras e seu uso em concreto. Esse documento contém informações sobre princípios de projeto em situação de incêndio (item 7.5.1.2) para estruturas de concreto convencionais. No item 7.7 aborda a verificação da segurança e a manutenção do concreto reforçado com fibras e no item 5.6 trata do projeto do FRC em condições ambientais normais. O Código Modelo 2010 da *fib* propõe princípios de projeto em situação de incêndio para estruturas convencionais e princípios de projeto construtivo do SFRC, mas não apresenta uma combinação entre ambos.

#### 3.1.2 PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO – MATERIAIS, ESTRUTURA E MODELAGEM (fib BOLETIM 38)

O Boletim 38 da *fib* “*Fire Design of Concrete Structures - Materials, Structure and Modeling (fib Bulletin 38)*” trata da influência do fogo em estruturas de concreto e informa que o uso de fibras poliméricas leva à redução da pressão nos poros do concreto e com isso à redução do risco de lascamento (*spalling*) (ver item 6.4, proteção passiva em situação de incêndio contra *spalling*). No entanto, esse boletim não inclui informações sobre o projeto em situação de incêndio do SFRC.

#### 3.1.3 PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO – COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E AVALIAÇÃO (FIB BOLETIM 46)

O Boletim 46 da *fib* “*Fire Design of Concrete Structures – Structural Behavior and Assessment (fib Bulletin 46)*” mostra que as fibras propiciam melhorias nas propriedades mecânicas do concreto após sua exposição a altas temperaturas. No capítulo 6 (Experiência e avaliação de materiais e estruturas após incêndio), esse documento informa que mesmo pequenos conteúdos de fibras poliméricas melhoram o comportamento dos materiais (ver item 6.1.3.1 Físico-química). Nos itens seguintes (6.1.3.2 Questões experimentais e 6.1.3.5 Resistência à tração) é relatado que as fibras (especialmente fibras de aço)

<sup>9</sup> NOTA DA TRADUTORA: FIB MODEL CODE 2010.

umentam a resistência residual. Outro exemplo experimental mostra que o módulo de elasticidade é mais afetado pela temperatura no caso de SFRC do que para o HPC (item 6.1.3.4, Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson). No item 6.1.3.6 (Parâmetros da fratura), informa que uma quantidade considerável de microfibras de aço em HPC aumenta a energia de fratura em comparação com HPC simples.

#### 4. CONCLUSÕES/PERSPECTIVAS

A partir da revisão do conteúdo da normalização, da pré-normalização e das recomendações internacionais sobre a resistência do SFRC a altas temperaturas ou ao fogo, é possível registrar as conclusões a seguir:

► Normas e pré-normas atuais, como EN 1992-1-2 e *fib* Model Code 2010, estabelecem como deve ser realizado o projeto estrutural do SFRC em temperatura ambiente; em situação de incêndio, tratam

apenas de estruturas convencionais (concreto armado ou protendido). Nenhum modelo de projeto para SFRC em situação de incêndio está disponível até o momento. A evidência de resistência ao fogo para estruturas de SFRC em combinação com armadura convencional pode ser obtida pela aplicação, por exemplo, da EN 1992-1-2. Para seções transversais totalmente comprimidas, o efeito das fibras de aço é negligenciável; para este caso o projeto em situação de incêndio pode ser realizado pelos modelos citados, por exemplo, EN 1992-1-2;

► CEN e ÖBV recomendam a adição de fibras poliméricas para aumentar a resistência à degradação devida ao lascamento do concreto (*spalling*) no caso de incêndio – especialmente para concreto de alta resistência. O *spalling* devido à exposição ao fogo deve ser prevenido em todos os casos, de forma a evitar que as fibras

de aço sejam afetadas pelas altas temperaturas;

► ACI e CNR/UNI comprovaram que as fibras de aço melhoram a resistência residual para concretos de resistência normal e concretos de alta resistência expostos ao fogo;

► A combinação de fibras de aço e poliméricas em concretos promove os efeitos benéficos dos dois tipos de fibras para melhorar a resistência ao fogo do concreto;

► Atualmente, a evidência de comprovação da resistência ao fogo em estruturas e elementos estruturais sujeitos a cisalhamento, flexão e protensão só é obtida por meio de ensaios de resistência ao fogo, sob carregamento, em escala real ou em escala representativa da estrutura ou do elemento estrutural.

Alerta-se para a necessidade dos organismos de normalização incluírem o projeto em situação de incêndio do SFRC em normas técnicas, para simplificar sua aplicação estrutural. 

#### ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.3R-08, Guide for specifying, proportioning, and production of fiber-reinforced concrete, 2008.
- [2] \_\_\_\_\_. ACI 544.5R-10, Report on the physical properties and durability of fiber-reinforced concrete, 2010.
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM E119-12a, Standard test methods for fire tests of building construction and materials, 2012.
- [4] AUSTRIAN SOCIETY FOR CONSTRUCTION TECHNOLOGY. ÖBV:2013, Increased constructional fire protection with concrete for underground traffic constructions, 2013.
- [5] BRITISH STANDARD. BS EN 1992-1-2:2004, Design of concrete structures. General rules. Structural fire design, 2004.
- [6] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1992-1-2:2004, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, 2004.
- [7] \_\_\_\_\_. EN 206-1:2001-07, Concrete - Specification, performance, production and conformity, 2007.
- [8] FRENCH ASSOCIATION OF CIVIL ENGINEERING. AFGC:2013, Ultra high-performance fibre-reinforced concretes, 2013.
- [9] GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDIZATION. DIN EN 1992-1-2:2010-12, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, 2012.
- [10] GERMAN COMMITTEE FOR REINFORCED CONCRETE. *DAFStb*:2012-11, Steel fire reinforced concrete, 2012.
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834-1:1999-09, Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements, 2009.
- [12] ITALIAN NATIONAL RESEARCH COUNCIL. CNR-DT 204/2006. Guide for the design and construction of fibre reinforced concrete structures, 2006.
- [13] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. *fib* MC 2010, Model code for concrete structures. Lausanne, Switzerland, 2010.
- [14] \_\_\_\_\_. *fib* Bulletin 38, Fire design of concrete structures - materials, structures and modelling - State of Art Report. Lausanne, Switzerland, 2007.
- [15] \_\_\_\_\_. *fib* Bulletin 46, Fire design of concrete structures - structural behaviour and assessment, State-of-art report. Lausanne, Switzerland,



## Encontro na Regional do Pará

O 1º Encontro Regional de profissionais para a discussão sobre lajes nervuradas segundo as normas ocorreu de 30 de agosto a 1 de setembro no Centro de Eventos Benedito Nunes, na Universidade Federal do Pará.

Com nove palestras técnicas e seis minicursos, o evento discutiu os aspectos de análise probabilística de segurança (Prof. Sérgio Hampshire de Carvalho,

da UFRJ), as normas de incêndio e desempenho aplicadas às lajes nervuradas (Eng. Marcos Terra, da Atex do Brasil), o processo construtivo de lajes nervuradas (Eng. Fabíola Parente, da Atex do Brasil), a execução da protensão com monocordoalhas engraxadas (Eng. Francisco Marcondes Cunha), a mecanização na aplicação de contrapisos plásticos e autonivelantes (Eng.

Eduardo de Macedo, da Supermassa), a monitoração e avaliação de estruturas de pontes estaiadas (Prof. Pedro Afonso de Oliveira Almeida, da USP, e Eng. José Fernando Sousa Rodrigues, da Lise), entre outros temas.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timmerman, participou do Encontro e apresentou a palestra “O projeto das estruturas de concreto do Museu do Amanhã”.

## Colapso progressivo é discutido na Regional do Rio de Janeiro

A Regional IBRACON no Rio de Janeiro, em conjunto com a Divisão Técnica de Estruturas do Clube de Engenharia e a Regional da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece), realizou em 30 de

agosto a palestra “Colapso progressivo em estruturas – a propagação do dano estrutural”, no Clube de Engenharia.

O palestrante foi o professor do curso de arquitetura da PUC-RJ e sócio da Justino Vieira-Monica Aguiar Projetos,

Eng. Justino Artur Ferraz Vieira, que discorreu sobre o fenômeno colapso progressivo, as técnicas para sua análise, as prescrições normativas para sua minimização, além de discutir exemplos de obras colapsadas.

## Seminário na Regional do Paraná

Para discutir a problemática da patologia das fachadas e dos revestimentos argamassados, a Regional do IBRACON no Paraná, a Associação Brasileira de Patologia das Construções (Alconpat Brasil), o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP) e o Instituto IDD realizaram o Seminário de Patologia das Construções do Paraná (SEMPAT/PR), no dia 1 de agosto, no centro de eventos do IEP, em Curitiba.

O seminário contou com as palestras do Eng. Paulo Grandiski, do Instituto Brasileiro de Perícias Técnicas (“A problemática das demandas judiciais geradas por falhas em revestimentos”), do Eng. José Eduardo Granato, da Viapol (“As con-

sequências das falhas de projetos e executivas no desempenho dos revestimentos”) e do Eng. Ércio Thomaz, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (“Estruturas correntes de

edifícios: interações com alvenarias e revestimentos”).

Participaram do evento 370 pessoas, entre estudantes, profissionais e professores.



## I Seminário de Engenharia Estrutural da Bahia

Com a proposta de discutir os desafios e as perspectivas da engenharia estrutural para o novo milênio, a Regional IBRACON organizou o I Seminário de Engenharia Estrutural da Bahia, nos dias 29 e 30 de agosto, no auditório Leopoldo Amaral, na Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Com palestras sobre o Museu do Amanhã (Eng. Julio Timerman, presidente do IBRACON), potencialidade da fibra de carbono no reforço estrutural (Eng. Adriano Silva Fortes, da Fortes Consultoria e Projetos), reparo da Ponte Pênsil de São Vicente (Eng. Rafael Timerman, da Engeti Consultoria e Engenharia), dos desafios es-

truturais nas obras de Niemeyer (Eng. Bruno Contarini, da BC Engenharia) e revisão da NBR 6120 (Eng. João Vendramini, da Abece), o evento contou ainda com quatro minicursos. Ao final do Seminário, os presentes prestaram uma homenagem do engenheiro projetista baiano, Prof. Antonio Carlos Reis Laranjeiras.

## Visita técnica de estudantes a uma distribuidora de vergalhão

A Diretoria de Atividades Estudantis do Instituto Brasileiro do Concreto promoveu no último dia 26 de junho uma visita técnica de estudantes de engenharia civil à distribuidora Manetoni, do grupo Arcelor Mittal. A visita atendeu a uma solicitação de um grupo de estudantes da FEI e Mackenzie para conhecer os processos industriais de corte e dobra de vergalhão e de montagem de armadura pronta.

A Manetoni fornece aço para a construção civil, com seu maior volume direcionado para obras de fundação. Um diferencial da empresa é seu processo informatizado e automatizado de montagem da armação, com maior precisão e maior variedade de formatos dos produtos fornecidos.

“Nesta visita, os alunos entraram em contato com o que há de mais moderno na fabricação de armação, já que sua montagem em fábrica acarreta o



aumento de produtividade, com redução de mão de obra e maior organização no canteiro de obras”, ressaltou a diretora de atividades estudantis, Eng. Jéssika Pacheco.

A visita técnica foi guiada pelos funcionários Danilo Renato Guiso, Marco Aurélio de Sousa Costa, Guilherme Menegalle Raizer, Ricardo Carvalho e Jaqueline Aparecida da Silva.

Esta foi a segunda visita técnica no ano

promovida pelo IBRACON no sentido de complementar a formação profissional de estudantes de engenharia civil, arquitetura e tecnologia.

Quem tiver interesse em participar da próxima visita, deve entrar em contato com a diretora de atividades estudantis, Eng. Jéssika Pacheco, por meio da página dos concursos estudantis do IBRACON no Facebook: <https://www.facebook.com/concursosibracon/>.

## Curso e Workshop na Regional de Mato Grosso do Sul

De 6 a 13 de maio foi realizado o curso “Inspeção em Estruturas de Concreto Armado”, ministrado pela diretora regional do IBRACON, Prof. Sandra Regina Bertocini, na sede do

CREA-MS, que contou com a participação de 11 profissionais e 20 estudantes de engenharia civil.

Já, no dia 20 de julho ocorreu, também na sede do CREA-MS, o workshop “Ma-

nifestações patológicas em estruturas de concreto armado”, com a diretora regional do IBRACON e da Alconpat Brasil, Prof. Sandra Regina Bertocini, com participação de 200 profissionais. 





# Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundado em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

## Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da revista **CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!



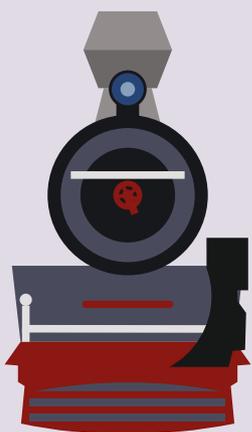
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



[facebook.com/ibraconOffice](https://facebook.com/ibraconOffice)



[twitter.com/ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice)



59<sup>a</sup> EDIÇÃO  
CONGRESSO  
BRASILEIRO DO  
CONCRETO



BENTO GONÇALVES • RS  
31 de outubro a 3 de novembro

2017

# Ponto de encontro dos profissionais e das empresas brasileiras da cadeia produtiva do concreto



## TEMAS

- ▶ Gestão e Normalização
- ▶ Materiais e Produtos Específicos
- ▶ Materiais e Propriedades
- ▶ Sistemas Construtivos Específicos
- ▶ Projeto de Estruturas
- ▶ Sustentabilidade
- ▶ Métodos Construtivos
- ▶ Ensaaios não Destrutivos
- ▶ Análise Estrutural

Acesse

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)  
(clique no logotipo do evento)

## COTAS DE PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- ▶ Excelentes oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- ▶ Espaços comerciais na XIII FEIBRACON - Feira Brasileira das Construções em Concreto
- ▶ Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- ▶ Inscrições gratuitas

Informe-se sobre as cotas de patrocínio e exposição: **Tel. (11) 3735-0202**  
e-mail: [arlene@ibracon.org.br](mailto:arlene@ibracon.org.br)

## REALIZAÇÃO



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olímpia | CEP 05542-120  
São Paulo – SP – Brasil | Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br) [twitter.com/ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice)  
[facebook.com/ibraconOffice](https://facebook.com/ibraconOffice)