

CONCRETO

& Construções

CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

SEGURANÇA E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS, METODOLOGIAS EXPERIMENTAIS PARA AVALIAÇÃO DE DANOS E NORMALIZAÇÃO



IBRACON
Instituto Brasileiro de Concreto

Ano XLV

89

JAN-MAR
2018

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

VALDIR PIGNATTA E SILVA:
DIMENSIONAMENTO DA
RESISTÊNCIA AO FOGO

MANTENEDOR

CONCRETOS DE BAIXA PEGADA
DE CO₂ COM CONTROLE
AVANÇADO DE DESEMPENHO

MERCADO NACIONAL

PERSPECTIVA DE
CRESCIMENTO DO SETOR
CONSTRUTIVO BRASILEIRO

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

ADIÇÕES



ADITIVOS



EQUIPAMENTOS



INSTRON



ARMADURA



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



Pires | Giovanetti | Guardia

ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



CONSTRUINDO CONHECIMENTO



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



Engenharia



PROJETOS

JUNTE-SE A ELAS

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

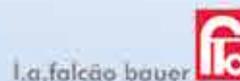
PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



CONSTRUTORAS



FÓRMAS



CIMENTO



LafargeHolcim



GOVERNO



CONCRETO



Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



Adote concretamente

a revista **CONCRETO & Construções**



CRÉDITOS CAPA
 PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO APÓS ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO.
 CRÉDITOS: ACERVO DO ITT PERFORMANCE / UNISINOS.

SEÇÕES

- 7 Editorial
- 9 Coluna Institucional
- 11 Converse com o IBRACON
- 13 Encontros e Notícias
- 16 Personalidade Entrevistada: Valdir Pignatta e Silva
- 49 Mantenedor
- 62 Mercado Nacional
- 79 Seção Especial: Ensino e Aprendizado na Engenharia Civil
- 98 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 Pedrosa
 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

Ipsis Gráfica e Editora
 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 2018 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

COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Alio Kimura (informática no cálculo estrutural)
- Arnaldo Forti Battagin (cimento & sustentabilidade)
- Bernardo Tutikian (tecnologia)
- Eduardo Barros Millen (pré-moldado)
- Enio Pazini Figueiredo (durabilidade)
- Ercio Thomas (sistemas construtivos)
- Evandro Duarte (pretendido)
- Frederico Falconi (projeto de fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin (normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
- José Tadeu Balbo (pavimentação)
- Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (ensino)
- Mário Rocha (sistemas construtivos)
- Paulo Eduardo Campos (arquitetura)
- Paulo Helene (concreto e reabilitação)
- Selmo Kuperman (barragens)

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 I 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

Luiz Prado Vieira Júnior

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

Bernardo Tutikian

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

Antonio D. de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

Carlos José Massucato

DIRETOR 1º TESOUREIRO

Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO

Nelson Covas

DIRETOR DE MARKETING

Hugo Rodrigues

DIRETOR DE EVENTOS

César Daher

DIRETOR TÉCNICO

Paulo Helene

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETORA DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Íria Lícia Oliva Doniak

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

ESTRUTURAS EM DETALHES

22 Resistência ao fogo das estruturas de concreto

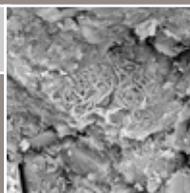
29 Situação de incêndio no sistema construtivo paredes de concreto

35 Verificação da segurança de painéis "tilt-up" em situação de incêndio



INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

44 Estudo da microestrutura do concreto em situação de incêndio



ENTENDENDO O CONCRETO

58 Concreto reforçado com fibras em situação de incêndio

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

64 Avaliação experimental do concreto armado de alta resistência submetido a elevadas temperaturas



71 Estudos experimentais sobre o fenômeno do deslocamento em estruturas de concreto submetidas a elevadas temperaturas

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

84 Resistência ao fogo das estruturas pré-moldadas de concreto e as considerações da ABNT NBR 9062

89 Comitês Técnicos: ações de fortalecimento da normalização de concreto e estruturas



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

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice

Planos da nova gestão do IBRACON

Caro leitor,



Início este Editorial agradecendo o Conselho Diretor pelo voto de confiança a mim delegado, por este segundo mandato à frente do IBRACON.

Além da grande honra de estar à frente de uma entidade reconhecida internacionalmente, é também uma imensa responsabilidade conduzir o IBRACON, ainda mais em uma época como essa, cuja crise econômica que assola o nosso país ainda castiga toda a cadeia produtiva do concreto. Mesmo notando-se alguns indícios de retomada da economia, conversando com vários dirigentes da nossa comunidade técnica, nota-se ainda uma capacidade ociosa de várias atividades da Construção Civil girando em torno dos 50%!!

Esta situação e os números ruins em nada desanimam o empreendedor brasileiro. Nossa comunidade técnica aprendeu a conviver com essas crises, aproveitando a situação atual para um aprimoramento nos seus processos produtivos e de seus profissionais, buscando atingir melhores resultados técnicos e econômicos, preparando-se para um ciclo virtuoso, que teima a se iniciar, mas que certamente virá, mais cedo ou mais tarde!!

Com relação a nossa nova Diretoria, agradeço imensamente a todos aqueles que aceitaram dividir comigo esta responsabilidade e informo que ela já está em plena atividade, com reuniões mensais, normalmente realizadas na sede da ABCP.

A boa receptividade da nova Diretoria demonstrou o quanto se quer fazer pelo desenvolvimento do concreto no Brasil, dando ênfase a todas as ações que beneficiem os nossos sócios.

Outro fato digno de nota foi o sucesso alcançado no 59º CBC (Congresso Brasileiro do Concreto), ocorrido em Bento Gonçalves/RS, fruto de um incessante trabalho conjunto de toda a nossa Diretoria e, especialmente, o nosso Diretor de Eventos da gestão anterior, Prof. Bernardo Tutikian. O número expressivo de graduandos e recém-formados neste evento, participando das competições estudantis, brilhantemente coordenada pela querida e dedicada Diretora de Atividades Estudantis, Eng^a Jéssika Pacheco, nos motivou a proporcionar a equipe vencedora dessas competições os recursos para representar o Brasil no

“*Student Competitions*”, que irá ocorrer na *Fall Convention* do ACI (*American Concrete Institute*), em outubro de 2018, em Las Vegas, Estados Uni-

dos. Certamente, eu e uma significativa comitiva estaremos lá para torcer pelos nossos estudantes!!

Se o 59º CBC foi um sucesso, o próximo evento que irá ocorrer em Foz do Iguaçu tende a alcançar um sucesso maior ainda, pelo fato de que o IBRACON irá promover um evento conjunto com o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de Portugal) e CBDB (Comitê Brasileiro de Grandes Barragens), o DAM World, agregando participantes internacionais, que irão usufruir da hospitalidade brasileira, assim como terão o privilégio de conhecer uma das maiores obras de engenharia mundial, a Usina de Itaipu, que, neste ano, completa quarenta anos. Certamente este evento será um marco inesquecível em nossa entidade.

Destaco novamente, assim como fiz no início da minha primeira gestão, os tópicos principais que a irão nortear, cujos resultados positivos só serão alcançados mediante uma sinergia de toda a nossa Diretoria e Conselho Diretor, que tenho a certeza de poder contar (todos conhecem aquela máxima de que “uma andorinha só não faz o verão!!”):

- Fortalecimento das Regionais do IBRACON, incentivando-as a promover eventos e workshops, dando suporte técnico e material a esses eventos; devemos lembrar que já está vigente um novo relacionamento com as Regionais, dando a elas autonomia necessária para atingir os objetivos acima consubstanciados, motivando-as a desenvolver essas ações e, assim, captar mais sócios ;
- Manter, incentivar e promover uma nova estratégia de Marketing de nossa instituição, que reconhecidamente é a mais importante entidade técnica nacional voltada à cadeia produtiva do concreto;
- Fortalecer e ampliar os Comitês Técnicos, inserindo-os nos eventos do IBRACON e de entidades parceiras,

promovendo ainda workshops no sentido de apresentar os resultados obtidos;

- ▶ Estreitar e aumentar o relacionamento com entidades parceiras; já estamos viabilizando isto, junto a entidades, como ABESC, ABCP, ABCIC, ABECE, ABENDI, SINDUSCON, etc...;
- ▶ Não obstante o nosso evento anual já ter reconhecimento da comunidade técnica, pretende-se colocar na sua grade sessões técnicas com temas práticos e de interesse de construtoras, atraindo novamente este importante participante da cadeia produtiva do concreto;
- ▶ Viabilizar, técnica e economicamente, o processo de Certificação, mediante sua reestruturação, e iniciando, pela Diretoria de Cursos, o treinamento de potenciais candidatos ao processo de Certificação;
- ▶ Manter, promover e incentivar o lançamento de livros, publicações e periódicos, que tanto interesse atraem em nossos associados;
- ▶ Dinamizar a nossa diretoria de cursos, no sentido de oferecer um aprimoramento contínuo dos associados do IBRACON.

Devemos ressaltar também que, desde 01 de janeiro de 2018, o IBRACON se integrou ao Grupo Brasileiro que representa nossa nação junto a FIB (International Federation for Structural Concrete), juntamente com a ABECE e a ABCIC. Finalizando, esta edição de nº 89 da Revista CONCRETO & Construções discorre sobre Construções de Concreto em situação de Incêndio, apresentando vários artigos e entrevista, de renomados profissionais e experts, evidenciando o excelente comportamento do Concreto frente a sinistros desta natureza.

Despeço-me, desejando a todos uma ótima leitura e reiterando que o IBRACON continuará trabalhando e sempre se renovando para atingir a tão sonhada meta que norteou a comunidade técnica:

Avanço Concreto – Hoje e Sempre!!!!

Boa leitura.

JÚLIO TIMERMAN

PRESIDENTE DO IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO 



PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras

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 “Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras” indica métodos de ensaios para o controle da qualidade do CRF utilizado em estruturas de concreto reforçado com fibras e estruturas de concreto reforçado com fibras em conjunto com armaduras.

A Prática Recomendada aplica-se tanto a estruturas de placas apoiadas em meio elástico quanto a estruturas sem interação com o meio elástico.

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-30-5

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 31

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

Patrocínio



Diretorias Regionais: o braço forte do Instituto

Historicamente, o ser humano se reúne em grupos de interesse. Parece que é na associação com outros indivíduos que fica mais fácil aflorar a capacidade de evoluir e de construir uma sociedade melhor.

Lógica semelhante se aplica ao mundo dos negócios. Por meio de uma Associação, empresas, entidades e profissionais de vários calibres podem se reunir para trocar experiências, buscar alternativas para a superação de desafios e explorar novas oportunidades, dentro da abrangência de seu campo de ação.

Além da construção de uma poderosa rede de relacionamentos, o associativismo pode colaborar diretamente para amenizar os efeitos de uma crise econômica por meio do conhecimento que gere desenvolvimento tecnológico.

O Instituto Brasileiro do Concreto conta hoje com mais de mil e duzentos sócios profissionais e mais de 80 Empresas Mantenedores, com cerca de 25 Regionais que cobrem todo o país, praticamente um Diretor Regional para cada unidade da federação.

Considerando que cada Regional deve ser estruturada com no mínimo 3 membros, Diretor Regional, Diretor Administrativo e Diretor Técnico, as Regionais congregam hoje mais de 75 profissionais de alto nível engajados em levar a missão do IBRACON aos principais centros e polos econômicos do país. Segundo o artigo 50 do Estatuto, as Regionais têm o mesmo objetivo e missão do IBRACON, ou seja, promover, desenvolver e defender o bom uso do concreto. Diz também o artigo 51 que o mandato do Diretor Regional termina com o mandato do Diretor Presidente do IBRACON, podendo ser reconduzido somente uma vez mais em sequência. Essa cláusula assegura a renovação permanente dos voluntários Diretores Regionais, de tal forma a proporcionar o salutar rodízio do poder e a preservação de todos os interesses locais. Com a aprovação pelo Conselho Diretor e Diretoria do Instituto do novo Regulamento das Regionais, ocorrido em setembro de 2016, houve uma grande dinamização das atividades das Regionais.



O Diretor Presidente atual, Julio Timmerman, colocou à disposição de cada Diretor Regional um recurso de mil reais anuais, renováveis, mas não cumulativos, e criou, na contabilidade do Instituto, a figura do Centro de Custo, ou seja, cada Regional pode, com ética e probidade, “gerenciar” esse e outros recursos gerados localmente pelo seu grupo.

Dessa maneira as Diretorias Regionais passaram a colaborar intensamente para o crescimento do número de associados do IBRACON e a promover atividades técnico-científicas regulares, como reuniões, palestras, conferências, comitês técnicos e cursos.

Mobilizaram, durante 2017, em plena crise econômica e política no país, mais de 4 mil profissionais através de eventos locais, alguns dos quais chegaram a superar 600 participantes em um só seminário.

Hoje há Regionais mais ativas, como as de Rio de Janeiro, Pernambuco, Campo Grande, Tocantins, Triângulo Mineiro, Bahia, Belém, Rio Grande do Sul, Paraná, e outras que chegam a organizar mais de 6 eventos por ano, um a cada 2 meses, consolidando o IBRACON como fonte dinâmica do saber técnico e científico na área de estruturas de concreto. Com o apoio da Diretoria nacional, através do Diretor de Relações Institucionais, as Regionais são estimuladas a juntar esforços com Entidades congêneres, tipo CREAs, SINDUSCONs, ADEMIs, ABECE, ABMS, ALCONPAT, ABCIC, ABCP, ABESC, Clubes e Institutos de Engenharia, Universidades e Faculdades para dar maior amplitude e alcance aos eventos. O IBRACON gostaria de liderar esses encontros regionais, mas isso não impede as Regionais de apoiarem eventos liderados por outras Entidades. O importante é estar contribuindo para o aumento do saber em engenharia de concreto.

A opção por um projeto, um empreendimento em concreto, advém do sólido conhecimento desse material e da existência de suporte e capacitação técnica em toda a cadeia, passando pelos fornecedores de materiais e serviços, os laboratórios de ensaio, os escritórios de projeto, os órgãos públicos, a normalização e as práticas recomendadas com procedimentos corretos de execução e controle, assim

como literatura farta e de fácil acesso para correção de eventuais manifestações patológicas.

Fica evidente a importância das Regionais no sentido de levar o conhecimento atual até os empreendedores locais, assim como motivar a inteligência local a levar suas dúvidas e contribuições ao Congresso anual e aos Comitês Técnicos do IBRACON. Outro papel fundamental das Regionais tem sido o de estimular os estudantes a participar dos fantásticos Concursos Estudantis.

Anualmente são mais de 400 engenheiros pertencentes a cerca de 60 grupos participantes e provenientes de Escolas de Engenharia do Brasil todo, públicas e privadas, na mais democrática competição técnica do setor, com direito a prêmios expressivos em dinheiro. Cada grupo participante é único e uma demonstração de excelência e competência do grupo, da Escola,

dos Professores e dos Alunos envolvidos. Cabe registrar que todas essas atividades das Regionais estão disponíveis e arquivadas no site remodelado das Regionais dentro da website do IBRACON (www.ibracon.org.br/regionais), que hoje contém: O Estatuto do Instituto; o Regulamento das Regionais; a apresentação Institucional do IBRACON em power point; o power point de divulgação dos Concursos Estudantis; a lista completa dos Diretores Regionais; mensalmente a Regional em Destaque; as notícias de todas as Regionais; o plano de atividades para 2018 e o plano/relatório de atividades de anos anteriores.

Foi criado também, no âmbito da Diretoria de Relações Institucionais, e aprovado na reunião do Conselho e Diretoria do Instituto, os protocolos de procedimento Institucional de apoio e colaboração com eventos promovidos

por outras Entidades. Esses protocolos diferenciam corretamente os apoios a eventos comerciais dos apoios a eventos acadêmicos ou institucionais, promovidos por entidades sem fins lucrativos. Os protocolos deixam bem claro a necessidade de contrapartidas para assegurar o salutar princípio da reciprocidade, sempre valorizando em primeiro lugar as Empresas associadas mantenedoras e coletivas.

As Regionais e seus voluntários e competentes Diretores elevam a autoestima dos engenheiros de concreto no país e mantêm o IBRACON no posto de principal instrumento de desenvolvimento sustentável do setor... nossos reconhecimentos a elas!

Vamos em frente...

PROF. PAULO HELENE

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

BIÊNIO 2015-2017



PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade

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 especifica os requisitos técnicos das macrofibras poliméricas para uso em concreto estrutural.

A Prática Recomendada abrange macrofibras para uso em todos os tipos de concreto, incluindo concreto projetado, para pavimentos, pré-moldados, moldados no local e concretos de reparo.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-29-9

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 37

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antônio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO
DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



COMITÊ 303: Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras

GT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antônio Carnio
Representante CTA: Sofia Maria Carato Diniz

Patrocínio



ENVIE SUA PERGUNTA OU NOTA PARA O E-MAIL: fabio@ibracon.org.br

PERGUNTAS TÉCNICAS

ESTOU COM UMA DÚVIDA COM RELAÇÃO À RESISTÊNCIA DE ARGAMASSA PARA ALVENARIA ESTRUTURAL. SIGO SUA RECOMENDAÇÃO, PRESENTE NO LIVRO *COMPORTAMENTO E DIMENSIONAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL*, DE $f_a = 0,7$ A $1,5 \times f_{bk}$ OU O ITEM 6.12 DA ABNT NBR 15961-1, QUE ME FOI APRESENTADA POR UM CLIENTE?

GUILHERME RESENDE
ENGENHEIRO CIVIL

Essas são recomendações de ordem informativa. É necessário ainda realizar, pelo menos, o ensaio de prisma para se certificar do comportamento conjunto argamassa-bloco na alvenaria.

Deixando claro o ponto acima: as duas informações, do livro e da norma, são equivalentes. O livro recomenda entre 0,7 a 1,5 vezes f_{bk} .

A norma limita o valor máximo a $0,7 \times f_{bk}$, porém com f_{bk} tomado na área líquida, que é aproximadamente igual a $2x$ o f_{bk} padrão (na área bruta). Portanto, o limite máximo será $0,7 \times 2 = 1,4 \sim 1,5$.

GUILHERME PARSEKIAN,
PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

Manifestação do IBRACON sobre o lamentável acidente na Capital Federal

A engenharia brasileira encontra no concreto de cimento Portland seu grande parceiro e material de construção para edificar qualidade de vida nas cidades, sabe – por intermédio de seus excepcionais profissionais e suas empresas de excelência – que todas as edificações, pontes e viadutos necessitam de cuidados desde o primeiro momento que são postas em uso.

Projetos e execuções da mais alta qualidade exigem cuidados ao longo de toda vida útil da obra, que se materializam em rotineiras inspeções e manutenções que ampliem o prazo de serviço e utilização das mesmas.

O episódio do desabamento de parte do viaduto da Galeria dos Estados, no Eixão Sul de Brasília, foi previsto e anunciado.

Em 2011, estudo do Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva (Sinaenco) já alertava para o agravamento dos problemas de uso do viaduto constatados em inspeção visual feita em 2009, conclamando as autoridades públicas para a intervenção urgente de manutenção.

Esse alerta foi reforçado pelo Rela-

tório do Tribunal de Contas do Distrito Federal de 2012, que elencou o viaduto entre as obras públicas da capital brasileira com necessidade de reparo e manutenção urgentes.

A Campanha pela Manutenção do Ambiente Construído, lançada em 2005 pelo Sinaenco, fez inspeções visuais em 22 cidades brasileiras, analisando as condições de operação e manutenção de pontes, viadutos, estradas, galerias pluviais, praças, parques e edificações públicas. Cada inspeção apontou para o envelhecimento do patrimônio construído, sem o devido cuidado dos órgãos governamentais com a inspeção e manutenção desses bens públicos.

Recentemente o programa “Fantástico” veiculou matéria sobre o estado de manutenção de pontes e viadutos da cidade de São Paulo. A reportagem mostrou os problemas de três obras de arte urbanas (Ponte Jânio Quadros,



Viaduto General Olímpio da Silveira e Ponte da Freguesia do Ó), entre as 75 avaliadas pelo Sinaenco no primeiro semestre de 2017.

“O tema deve ganhar maior consideração das autoridades públicas”, reconheceu o governador do Distrito Federal, Rodrigo Rollemberg.

Desde 1972, ano de sua criação, o Instituto Brasileiro do Concreto, associação técnica nacional, formada por profissionais e empresas do segmento construtivo em concreto, dedica-se, dentre outros inúmeros temas, à questão da durabilidade do concreto.

Seus congressos, cuja 60ª edição terá lugar no próximo mês de setembro no sul do país, sempre abordaram o tema, com

a apresentação de artigos sobre a vida útil do concreto, bem como sobre as técnicas de inspeção, diagnóstico e recuperação das estruturas de concreto.

Por ocasião do desabamento do Edifício Areia Branca, em 2004, em Jaboatão dos Guararapes, o IBRACON promoveu palestras e seminários para discutir as causas do desabamento, lançando na ocasião um Manifesto Público, no qual alertou a sociedade e as autoridades em geral sobre a importância da realização da inspeção e manutenção periódica nas estruturas de concreto.

Não bastasse toda essa atenção ao assunto, o Instituto somou ao seu portfólio de ativos, o curso “Inspetor I – Inspeção em estruturas de concreto”, com vistas a atender uma demanda do mercado pela formação e capacitação

de profissionais para a realização de inspeção, diagnóstico e prognóstico de pontes e viadutos, atendendo aos requisitos exigidos do profissional pela norma brasileira ABNT NBR 16230 Inspeção de estruturas de concreto – Qualificação e certificação de pessoal – Requisitos, objetivando qualificar profissionais, não só da iniciativa privada, mas também dos órgãos públicos, para os trabalhos de inspeção.

Esse cabedal de informações – cujo objetivo é solidificar o conhecimento e a aplicação criteriosa e da mais alta qualidade do concreto nas obras brasileiras, principalmente em um país hegemonicamente construído em concreto – e quadro associativo do IBRACON, composto pelos mais renomados profissionais e empresas do setor, encontram-se sempre à disposição de toda

administração pública para que o patrimônio público tenha qualidade e vida longa e, assim, preste à sociedade os serviços a que se dispõe.

Essas são algumas das contribuições técnicas do Instituto Brasileiro do Concreto para que lamentáveis ocorrências não se repitam e deixem definitivamente de frequentar o noticiário nacional.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

IBRACON

Errata

No campo “Referências Bibliográficas” do artigo “A construção da UHE de Itaipu: um registro fotográfico” houve um erro de digitação na segunda referência. O correto é: **Itaipu Binacional: Os primeiros dez anos: 1974-1984.** ↩

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Macrofibras de vidro álcali resistentes (AR) para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade

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 especifica os requisitos técnicos das macrofibras de vidro álcali resistentes para uso estrutural em concreto.

A Prática Recomendada abrange macrofibras para uso em todos os tipos de concreto, incluindo concreto projetado, para pavimentos, pré-moldados, moldados no local e concretos de reparo.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-28-2

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 26

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS DE VIDRO ÁLCALI RESISTENTE (AR)
PARA CONCRETO DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



COMITÊ 303: Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras

GT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio
Representante CIA: Sônia Maria Carrato Diniz

Patrocínio



Dam World 2018 recebe trabalhos técnico-científicos

A 3ª Conferência Internacional sobre Barragens (Dam World 2018) será realizada em Foz do Iguaçu, de 17 a 21 de setembro, juntamente com o 60º Congresso Brasileiro do Concreto. Organizada pelo IBRACON e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o evento vai discutir os aspectos políticos, econômicos, ambientais e técnicos relacionados com a construção e manutenção de barragens.



Durante a Conferência serão realizados os cursos “Análise estrutural e re-

abilitação do concreto de barragens e vertedouros”, “Pequenas barragens” e “Barragens de rejeitos”, além de um workshop sobre segurança de barragens e uma visita técnica à Usina Hidrelétrica de Itaipu.

O evento recebe trabalhos técnico-científicos até 13 de março.

→ **Mais informações:**

www.damworld2018.org

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

A Associação Brasileira de Patologia das Construções (Alconpat Brasil) realiza de 18 a 20 de abril, em Campo Grande, no campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, a terceira edição do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT 2018). Fórum de debates sobre o controle de

qualidade de obras, patologia e recuperação de estruturas, o evento vai divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas sobre esses temas e áreas correlatas. Durante o evento serão realizados os minicursos: Monitorização da integridade das estruturas históricas através de sistemas sensoriais wireless; Concreto autoa-

densável; e Ensaio não destrutivo em concreto com tecnologia *phased array*, campo magnético e georadar wide band. As inscrições com preços promocionais vão até 12 de março.

→ **Mais informações:**

<https://alconpat.org.br/cbpat2018/>

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

www.engeti.eng.br

Avenida angélica, 1996, conj. 404 - Consolação, São Paulo - SP - CEP: 01228-200 Tel: (11) 3666.9289



Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais

Compêndio de artigos técnico-científicos sobre os materiais de construção civil, referenciados nas normas brasileiras vigentes e nas práticas nacionais exemplares da engenharia civil, o livro “Materiais de Construção e

Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais” ganhou no final de 2017 sua terceira edição, amplamente revisada e atualizada.

Dividida em dois volumes, com 52 capítulos escritos por 86 autores, a obra é

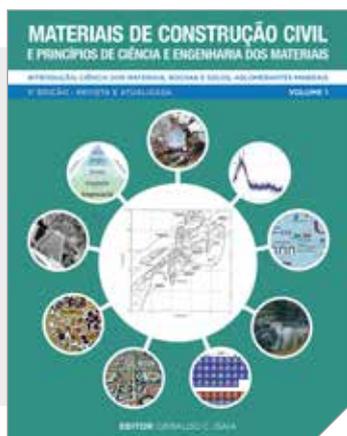
composta pelas seções: introdução, princípio de ciência dos materiais, rochas e solos, materiais cerâmicos, aglomerantes minerais, materiais compósitos de aglomerantes minerais, metais, madeiras, polímeros, materiais compósitos de polímeros, materiais sustentáveis e materiais de construção avançados.

A coordenação da terceira edição coube ao Prof. Geraldo Cechella Isaia, professor da Universidade Federal de Santa Maria, editor das duas edições anteriores.

O livro é voltado aos estudantes de engenharia civil, arquitetura e tecnologia, dos cursos técnicos, de graduação e pós-graduação, bem como aos profissionais em geral do setor de construção civil.

Garanta seus exemplares!

Acesse a Loja Virtual do IBRACON no site www.ibracon.org.br.



Protegendo as Estruturas Mais

Importantes do Mundo

MONOKOTE®

Proteção Passiva Contra Incêndio

Proteção base cimentícia contra incêndio, com produtos projetados para aplicação rápida, fácil e limpa. Todos os produtos **Monokote®** são devidamente aprovados e certificados de acordo com os padrões internacionais, proporcionando ao cliente a certeza e tranquilidade de que sua construção estará verdadeiramente protegida em caso de incêndio.

Benefícios:

- Alta adesão ao aço
- Resistente à abrasão e erosão do ar
- Não requer acabamento
- Resistente à proliferação de fungos
- Não provoca coceira ou odor durante a aplicação
- Pode ser utilizado para um acabamento estético

Curso Inspetor I – Inspeção em estruturas de concreto segundo a ABNT NBR 16230

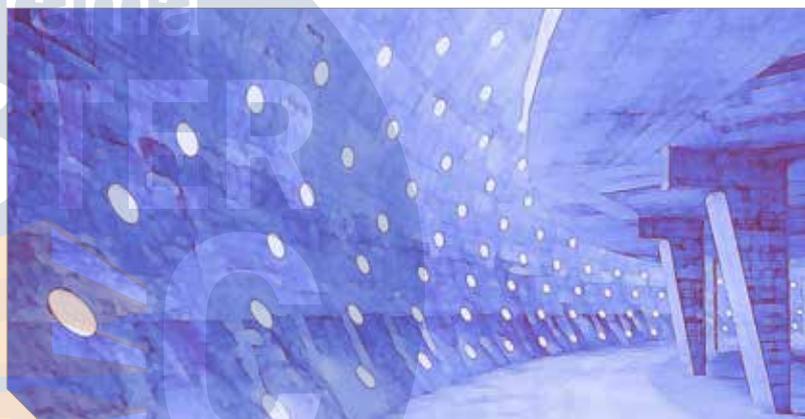
O curso tem como objetivo apresentar e discutir conteúdos relativos à formação de Inspetores I de Estruturas de Concreto. Seguindo a ABNT NBR 16230:2013, visa o capacitar profissionais para o estabelecimento de diagnóstico e prognóstico do estado de conservação de estruturas de concreto – principalmente as Obras de Arte Especiais (OAE) – de forma a manter ou restabelecer seus requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade.

Estão previstas duas turmas no primeiro semestre. De 26 a 28 de abril, na sede do Sindicato da Arquitetura e Engenharia (Sinaenco), em Recife, Pernambuco. De 17 a 19 de maio, no Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC), em Fortaleza, Ceará.

Com aulas teóricas e práticas, o curso abordará as manifestações patológicas em estruturas de concreto, a programação da inspeção, o projeto de recuperação ou reforço, a inspeção e os métodos de ensaio.

O curso é voltado aos profissionais com graduação ou nível técnico na área de construção civil, bem como aos profissionais com nível médio com experiência na atividade de inspeção, recuperação e reforço.

Com carga horária de 28 horas, o curso



é uma realização do IBRACON, integrando seu Programa Master PEC, programa de educação continuada do IBRACON. Para informações sobre os instrutores e conteúdo programático, acesse:

→ www.idd.edu.br/instituto/extensao

▶ Programação de Cursos Master PEC

Curso	Palestrantes	Data	Carga horária	Local	Realização
Intensivo de Tecnologia Básica do Concreto	Rubens Curti Flávio André da Cunha Munhoz	6 a 8 de março	18 horas	Sede da ABCP – SP	IBRACON ABCP
Gestão de Planejamento de Estruturas de Concreto	Rubens Curti Roberto Barella Filho	3 e 4 de abril	16 horas	Sede da ABCP – SP	IBRACON ABCP
Tecnologia Básica das Paredes de Concreto	Rubens Monge Silveira	10 de abril	8 horas	Sede da ABCP – SP	IBRACON ABCP ABESC
Execução de Edificações em Paredes de Concreto	Hugo Pereira Ferraz	11 de abril	8 horas	Sede da ABCP – SP	IBRACON ABCP ABESC
Projeto Estrutural em Paredes de Concreto	Marcio Corrêa	12 de abril	8 horas	Sede da ABCP – SP	IBRACON ABCP ABESC
Inspetor I – Inspeção de Estruturas de Concreto Segundo a ABNT NBR 16230:2013	Prof. Júlio Timerman Prof. Paulo Helene Prof. Enio Pazini Prof. Gilberto Giuzio	26 a 28 de abril	28 horas	Sinaenco Recife – PE	IBRACON IDD ALCONPAT
Inspetor I – Inspeção de Estruturas de Concreto Segundo a ABNT NBR 16230:2013	Prof. Júlio Timerman Prof. Paulo Helene Prof. Enio Pazini Prof. Gilberto Giuzio	17 a 19 de maio	28 horas	Nutec Fortaleza – CE	IBRACON IDD ALCONPAT

Valdir Pignatta & Silva

Valdir Pignatta e Silva é professor-doutor do Departamento de Estruturas e Geotecnia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), instituição onde se graduou engenheiro civil em 1975, mestre, em 1992, e doutor, em 1997, além de ter sido coordenador do programa de pós-graduação em engenharia civil de 2003 a 2005. Especialista em estruturas em situação de incêndio, assunto ao qual se dedica desde 1988, quando era engenheiro civil na Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa), o Prof. Valdir Pignatta lançou, em 1999, uma disciplina pioneira sobre o tema na pós-graduação brasileira, repetindo o feito na graduação no ano seguinte.

Membro de mais de uma dezena de comissões de estudo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a que elaborou (2004) e revisou (2012) a norma brasileira NBR 15200 Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio, e a NBR 14432:2001 Exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos das edificações.

IBRACON – COMO SURTIU SEU INTERESSE PELA ÁREA DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS, EM ESPECIAL A ENGENHARIA DE ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Desde a infância eu desejei ser engenheiro civil, alcançando meu objetivo em 1971, quando iniciei o curso na Escola Politécnica da USP (Universidade de São Paulo). cursando a Poli e mantendo contato com as várias áreas da

Engenharia Civil, a das estruturas chamou minha atenção. Achava fantástico como desenhos, com elementos estruturais dimensionados por mim, poderiam se transformar em obras reais.

Finda a graduação, fui trabalhar na área de projeto da Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa). Em 1988, a Cosipa foi convidada pela Faculdade de Arquitetura da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) para dar

um curso sobre o uso das estruturas de aço e, para esse fim, fui designado a estudar sobre aço em incêndio. Eu nada sabia sobre o assunto. Importei algumas publicações estrangeiras e comecei a compreender o tema. Aqui, destaco dois aspectos. O primeiro é que logo entendi que se tratava de um tema afeito aos engenheiros estruturistas, pois era possível calcular a resistência ao fogo das estruturas e não



Diretor da Associação Luso-Brasileira para a Segurança contra Incêndio (Albrasci) e revisor de 21 revistas científicas, Pignatta publicou mais de 250 artigos científicos, sendo autor do livro “Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio” e de outros oito livros.

Ele é coordenador do Grupo de Fomento à Segurança contra Incêndio (GSI/USP).

apenas empregar métodos prescritivos, sem muita base científica. O segundo é que o interesse internacional não era somente sobre o aço. Concreto e madeira também eram alvos de estudos no exterior. A partir de então me interessei em pesquisar o assunto para vários materiais.

Pela Cosipa, proferia palestras e elaborava alguns textos sobre aço e aço em incêndio. Achei que deveria me especializar mais e comecei a cursar o Mestrado na Poli. Aproximei-me novamente da Escola em que havia me graduado. Depois de algum tempo, com enorme felicidade, entrei para o quadro docente da USP, em 1994. Já, professor da Poli, fiz meu doutorado na área de estruturas de aço em incêndio.

A partir de 2004, dediquei-me mais ao concreto em incêndio, no intuito de elaborar o projeto básico da norma brasileira ABNT NBR 15200 e divulgar o tema, por meio de livros, publicações científicas, cursos e palestras.

Em 1999, iniciei a primeira disciplina de pós-graduação no Brasil sobre estruturas em situação de incêndio. Em 2010, iniciei uma disciplina optativa para a graduação, também pioneira no Brasil. Nesta, quase todo o conteúdo é voltado para o concreto.

IBRACON – QUANDO SURGIRAM AS PRIMEIRAS PREOCUPAÇÕES COM O COMPORTAMENTO DO CONCRETO SOB AÇÃO DO FOGO? O QUE MOTIVOU ESSAS PRIMEIRAS INVESTIGAÇÕES? QUAIS FORAM SEUS RESULTADOS?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Em 1899,

Freitag publicou o resultado de uma série de ensaios sobre aço e concreto a altas temperaturas. Ele observou a redução de resistência do concreto, porém, como o concreto naquela época não era empregado em estruturas importantes, o assunto não foi considerado.

Em 1948, Morch escreve interessante artigo alertando para a necessidade de verificação de estruturas de concreto armado em incêndio, associando-a apenas à armadura no seu interior. Na década de 1960, começaram experiências e estudos, ainda que simples, sobre concreto em incêndio, realizados por pesquisadores suecos. Finalmente, na década de 1990, surge a primeira norma internacional sobre o tema, o *Eurocode*. A minha preocupação vem desde esse período, pois não havia normas brasileiras sobre o tema. Na década de 1990, surgiram os projetos de normas europeias. Com base nelas, dediquei-me, prioritariamente, à norma sobre o aço e, em seguida, sobre o concreto. Há anos havia exigências de resistência

LABORATÓRIO DE SEGURANÇA AO FOGO E A EXPLOSÕES / IPT



Ensaio de resistência ao fogo em parede de concreto realizado no IPT

ao fogo das estruturas de concreto, no entanto, não havia normas ou livros brasileiros para auxiliar o projetista a cumprir a legislação.

IBRACON – COMO E QUANDO ESSAS PREOCUPAÇÕES E RESULTADOS DE ESTUDOS EVOLUÍRAM PARA RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PARA NORMAS TÉCNICAS SOBRE O TEMA?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Como disse, em 1988 iniciei meus estudos sobre o tema. Em 2004 surgiu a norma brasileira ABNT NBR 15200:2004. Foi um grande avanço. Entretanto, com o uso dessa norma, notou-se que havia necessidade de incrementá-la com outros procedimentos. Eu e minha equipe passamos a nos dedicar ao concreto em incêndio quase em tempo

“ NA DÉCADA DE 1990 SURGE A PRIMEIRA NORMA INTERNACIONAL SOBRE O TEMA [CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO], O EUROCODE ”

“

OS PRINCIPAIS REQUISITOS [PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM INCÊNDIO] SÃO AS DIMENSÕES MÍNIMAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E A DISTÂNCIA DO CENTRO GEOMÉTRICO DAS ARMADURAS AO FOGO

”

integral. Elaboramos diversos trabalhos de mestrado, doutorado, livros e artigos científicos. Vários resultados interessantes foram atingidos, de forma a poder integrar a revisão de 2012 da referida norma.

IBRACON – QUAL É A FILOSOFIA QUE EMBASA ATUALMENTE A NORMALIZAÇÃO INTERNACIONAL RELACIONADA ÀS ESTRUTURAS DE CONCRETO E AOS COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Com o conhecimento atual, ainda não é possível dimensionar edifícios de concreto para a situação real de incêndio, mesmo empregando métodos computacionais avançados. Então, a filosofia mundial, incluindo nosso país, ainda se restringe ao uso de métodos prescritivos, ou seja, as normas e códigos fornecem

informações numéricas que, se seguidas, a solução é aceita pelas autoridades. São métodos nem sempre com base científica, mas, supõe-se, a favor da segurança, portanto, geralmente não econômicas. A pesquisa internacional, bem como a brasileira, vem se desenvolvendo a procura de procedimentos, ao mesmo tempo, mais realísticos e acessíveis.

IBRACON – QUAIS OS PRINCIPAIS REQUISITOS NORMATIVOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO? O QUE ESSES REQUISITOS GARANTEM EM TERMOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Os principais requisitos são as dimensões mínimas dos elementos estruturais e a distância do centro geométrico das armaduras ao fogo. Respeitando essas recomendações, a estrutura terá um tempo de resistência ao fogo igual ou superior àquele requerido pelos códigos. Entre os elementos estruturais, quero destacar as lajes, que devem ser projetadas com uma espessura mínima, de forma a impedir que o calor passe através de sua espessura, ignizando fogo no pavimento superior e, portanto, quebrando a compartimentação vertical. Ressalto que essa dimensão mínima não visa apenas à segurança estrutural, mas evitar a quebra de compartimentação vertical, importante medida de segurança contra incêndio. Além do dimensionamento em si,

um requisito fundamental para a segurança contra incêndio é que a arquitetura seja projetada visando à segurança contra incêndio, em especial, a compartimentação vertical. Ou seja, se um incêndio se iniciar em um pavimento, ele não se propagará para o imediatamente superior. Isso é fundamental, mas infelizmente nem sempre cumprido pelo projeto de arquitetura. Associando-se o bom projeto de arquitetura ao dimensionamento normalizado, reduz-se a probabilidade de ruína da edificação a valores adequados à segurança.

IBRACON – EXISTEM ESPECIFICIDADES NO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS E ESTRUTURAS MOLDADAS NO LOCAL QUANTO À SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Do ponto de vista conceitual, não há diferença. Como as pré-fabricadas têm geometria padronizada, algumas recomendações de como se empregar de forma mais fácil a ABNT NBR 15200:2012 poderiam ser estudadas. Foi publicada recentemente a ABNT NBR 9062, na qual são apresentadas recomendações sobre o dimensionamento de pré-moldados em situação de incêndio.

IBRACON – QUAL É SUA AVALIAÇÃO DA NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA FRENTE ÀS NORMAS MAIS AVANÇADAS NESSE TEMA? O QUE VOCÊ DESTACARIA DE POSITIVO NA NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA? O QUE PRECISA AINDA AVANÇAR? QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS CARÊNCIAS DA

LABORATÓRIO DE SEGURANÇA AO FOGO E A EXPLOSÕES / IPT



Colapso de parede de concreto durante o ensaio de resistência ao fogo no IPT



NORMALIZAÇÃO NACIONAL NESTE TEMA? POR QUE ATÉ HOJE NÃO FOI IMPLEMENTADO E QUAIS AS DIFICULDADES PARA SE ESTABELECE UM “CÓDIGO NACIONAL DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS”?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – São duas coisas diferentes: normas brasileiras e código nacional. Começando pelo último, sei que os bombeiros brasileiros estão tentando fazer um código nacional, mas um problema é que a legislação sobre segurança contra incêndio é estadualizada e não se pode retirá-la dos estados. No meu ponto de vista, poderia haver um código nacional que fornecesse recomendações básicas de segurança contra incêndio. Os estados decidiriam se seguiriam ou fariam seus próprios códigos. Seria interessante haver convergência de todas as legislações estaduais. Entre outras vantagens, os projetistas poderiam seguir uma só diretriz, ao invés de respeitar legislações diferentes para cada estado. Felizmente, a maioria dos estados brasileiros tem uma legislação própria inspirada na do Estado de São Paulo, o que, pela semelhança, é uma vantagem. Seria interessante que os estados que não têm exigências adequadas se alinhassem aos demais. A ABNT NBR 15200:2012 se alinha às mais desenvolvidas do mundo. Como ponto positivo, destaco, novamente, que nossas normas já incluem resultados de pesquisa brasileira, ou seja, há recomendações tendo como base

nossa tradição na construção civil. No entanto, ainda há necessidade de se resolver algumas situações pontuais, por exemplo, punção, consolos, esforços indiretos provocados por restrições de deformações térmicas etc. O Brasil precisa de mais pesquisadores na área de concreto em incêndio, que se voltem para as necessidades de projeto.

IBRACON – EM SUA OPINIÃO, SERIA EFICAZ O ESTABELECIMENTO EM NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS DOS PROCEDIMENTOS ADEQUADOS APÓS O COMBATE A UM INCÊNDIO, ELIMINANDO O TRADICIONAL PROCESSO DE RESCALDO, QUE MUITAS VEZES TRAZ CONSEQUÊNCIAS DANOSAS ÀS ESTRUTURAS DE CONCRETO?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Tendo em vista que se trata de uma atividade de bombeiros, seria mais eficiente se tais recomendações constassem em Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros. Sabe-se, da prática, que o choque térmico da água contra as superfícies aquecidas do concreto o fazem fissurar. No entanto, outras consequências podem ocorrer. Esse é mais um estudo que deveria ser

ACERVO DO itt PERFORMANCE / UNISINOS



Parede de concreto armado com instalação de sistemas de barramentos após ensaio de resistência ao fogo no itt Performance/Unisinos

feito tanto por bombeiros quanto engenheiros. Não conheço normas ou códigos internacionais que contenham tais indicações, mas, sem dúvida, seriam relevantes.

IBRACON – COMO É A RELAÇÃO ENTRE AS NORMAS BRASILEIRAS RELATIVAS À SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES E AS INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS? EXISTE UMA RELAÇÃO HARMONIOSA OU CONFLITIVA ENTRE ESSAS INSTÂNCIAS NORMALIZADORAS? NÃO SERIA MAIS ADEQUADO QUE O ASSUNTO FOSSE DA COMPETÊNCIA EXCLUSIVA DOS ENGENHEIROS OU ARQUITETOS?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – As instruções técnicas (IT's), elaboradas pelos bombeiros, fornecem as exigências de resistência ao fogo das estruturas formadas por qualquer material. As Normas Brasileiras, elaboradas por representantes da nossa sociedade, com forte participação de engenheiros,

“

PODERIA HAVER UM CÓDIGO NACIONAL QUE FORNECESSE RECOMENDAÇÕES BÁSICAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

”

“

AS INSTRUÇÕES TÉCNICAS FORNECEM AS EXIGÊNCIAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DAS ESTRUTURAS. AS NORMAS BRASILEIRAS INDICAM COMO DIMENSIONAR A ESTRUTURA PARA RESPEITAR ESSAS EXIGÊNCIAS

”

indicam como dimensionar a estrutura para respeitar essas exigências. Não havendo superposição de escopo, pode-se dizer que a convivência é harmoniosa. No entanto, em algumas normas e IT's há superposição de escopos. Posso comentar sobre a área de estruturas, em que a ABNT NBR 14432:2001 e a IT8:2011 (de São Paulo) têm similaridade. De início, a IT8 era muito similar (não exatamente igual) à norma brasileira. Como o passar dos anos e das revisões da IT8, ela se tornou mais atualizada do que a norma.

IBRACON – ATUALMENTE AS OBRAS DE *RETROFIT* TÊM SIDO BASTANTE COMUNS. HÁ NORMAS OU INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS VIGENTES PARA ESSES CASOS? COMO RESOLVER, POR EXEMPLO, UMA ESCADA QUE NÃO POSSUI A LARGURA EM CONFORMIDADE COM AS INSTRUÇÕES VIGENTES? HÁ BOM SENSO? O QUE PREVALECE NESSES CASOS?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Por enquanto,

obras de reformas também devem seguir a legislação vigente, ou seja, decretos estaduais sobre segurança contra incêndio e instruções técnicas. No entanto, cada caso é um caso. No exemplo de escadas, a que você se referiu, parece-me de bom senso que o Corpo de Bombeiros dê outra solução alternativa, adequada a cada caso. Seria interessante que algumas soluções alternativas para esse caso, e outros mais frequentes, fossem estudadas e incluídas nas Instruções Técnicas, a fim de direcionar os projetistas.

A área da segurança contra incêndio é multidisciplinar. O projeto de edificações envolve arquitetura, engenharia de estruturas e engenharia de instalações, incluindo subáreas dessas grandes áreas. Ao se pensar em segurança contra incêndio como um todo, mais áreas podem colaborar, engenharia mecânica e elétrica, química, matemática, física e até medicina e psicologia. As soluções

não são todas de conhecimento de uma só área. Por exemplo, eu não me atrevo a responder de forma detalhada à sua pergunta, pois é da área de arquitetura. Essa, como outras tantas dúvidas na área de segurança contra

incêndio, devem ser analisadas pelos respectivos especialistas.

IBRACON – QUAIS LIÇÕES PODEM SER APRENDIDAS DO RECENTE INCÊNDIO NUM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM LONDRES, A **GRENDEL TOWER**, OCORRIDO EM JUNHO DO ANO PASSADO? QUAIS FORAM AS PRINCIPAIS RAZÕES PARA QUE O FOGO SE ESPALHASSE TÃO RAPIDAMENTE, PROVOCANDO DEZENAS DE VÍTIMAS FATAIS? COMO UM PROJETO DE ARQUITETURA BEM FEITO PODERIA TER EVITADO OU MINIMIZADO A PROPAGAÇÃO DAS CHAMAS? AS EDIFICAÇÕES NO BRASIL CORREM RISCOS SEMELHANTES A DO **GRENDEL TOWER**?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – A principal lição é a de que sempre temos o que aprender e devemos ficar vigilantes. O revestimento usado na fachada não era adequado e proporcionava vazios pelos quais o fogo e a fumaça passaram para os pavimentos superiores. Notem que isso aconteceu em um país que tem um dos códigos mais exigentes de segurança contra incêndio. Um projeto arquitetônico bem feito impediria a tragédia, porém, tratou-se de uma reforma com a fachada alterada em relação à original. Recomendo que seja feita uma pesquisa para se conhecer se os mesmos problemas poderiam acontecer em nosso país. Deve ser feito um levantamento das soluções de fachada empregadas aqui e analisá-las. Sei que é uma tarefa hercúlea, mas deve ser feita, a fim de se evitar que novamente aconteça uma tragédia. Os síndicos



Incêndio no Grenfell Tower (The Sun, Reino Unido)



poderiam analisar as soluções de suas edificações.

IBRACON – COMO INSPECIONAR ESTRUTURAS DE CONCRETO INCENDIADAS? QUANDO E QUE MEDIDAS PODEM SER TOMADAS PARA SUA REABILITAÇÃO?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Tomar ciência da severidade do incêndio e do estado dos elementos estruturais. Verificar a redução de resistência dos materiais (concreto e aço) de elementos atingidos pelo fogo, por comparação com elementos reconhecidamente não atingidos. Se necessário, deverão ser feitos ensaios. Deve-se lembrar que o concreto, geralmente, não recupera a resistência após o resfriamento, enquanto o aço pode recuperar (se não atingir uma temperatura de cerca de 740°C) ou não (se ultrapassar tal temperatura). Se necessário, deve ser feita análise metalográfica do aço para determinar se o aço passou ou não da temperatura citada (função da alteração da posição relativa dos átomos). Como veem são algumas decisões a serem tomadas em função da severidade do incêndio, por isso recomenda-se que se consulte um especialista nessa área e depois um engenheiro estruturista para verificar a estrutura. A reabilitação é similar ao que se faz para estruturas danificadas à temperatura ambiente.

IBRACON – COMO ESSE ASSUNTO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES VEM SENDO TRATADO NOS CURSOS NACIONAIS DE GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA E ARQUITETURA? COMO TEM SIDO A FORMAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS NESTE TEMA NO PAÍS?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Até o momento, eu diria que muito pequena ou nenhuma. Eu ministro uma disciplina sobre estruturas em situação de incêndio, com ênfase no concreto, para os alunos da Escola Politécnica, mas é optativa. Ou seja, a maioria de nossos alunos forma-se sem o devido conhecimento. No Brasil, estão surgindo alguns cursos de especialização que procuram reduzir a falta de informações na graduação. Espero que, em 2019, a Escola Politécnica lance um curso de atualização em proteção passiva na segurança contra incêndio.

IBRACON – QUE PAPEL PODEM DESEMPENHAR AS ENTIDADES TÉCNICAS, COMO O IBRACON, PARA DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – O IBRACON poderia fomentar o desenvolvimento da área, quer na divulgação a projetistas, quer no incentivo à pesquisa. Cursos, palestras, reuniões entre pesquisadores seriam bem-vindas.

IBRACON – ENTRE PROJETOS DE NOVAS CONSTRUÇÕES, DE REABILITAÇÃO E DE RETROFIT, QUAIS FORAM OS MAIS RELEVANTES E DESAFIADORES QUE PARTICIPOU?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – Não tenho atuado em reabilitações, mas nas novas construções, em vista de falhas



ACERVO DO IIT PERFORMANCE / UNISINOS
Equipe do IIT Performance/Unisinos realizando inspeção na estrutura de concreto armado de uma edificação após a ocorrência de um incêndio

na compartimentação em projeto, é desafiador encontrar, entre métodos simplificados, algo que se possa empregar para resolver os problemas. A utilização de métodos mais avançados, embora desejável, leva mais tempo e, normalmente, não se consegue aplicá-lo. Então, o que faço é guardar o problema para futuros mestrandos ou doutorados. Cito dois deles: dimensionar capitéis de laje lisa em incêndio e efeito da dilatação de pisos nos pilares.

IBRACON – QUAIS SEUS HOBBIES?

VALDIR PIGNATTA E SILVA – De fato, não os tenho. Talvez possa citar assistir a filmes. De resto, dedico-me às atividades acadêmicas, atualmente, quase restritas à segurança contra incêndio. 📧



**PROBLEMAS PARA FUTUROS MESTRANDOS
E DOUTORANDOS: DIMENSIONAR CAPITÉIS
DE LAJE LISA EM INCÊNDIO E EFEITO
DA DILATAÇÃO DE PISOS NOS PILARES**



Resistência ao fogo das estruturas de concreto

ANTONIO FERNANDO BERTO • CARLOS ROBERTO METZKER DE OLIVEIRA – PESQUISADORES DO LABORATÓRIO DE SEGURANÇA AO FOGO E A EXPLOSÕES

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT)

I. INTRODUÇÃO

A complexidade da solução do problema da segurança contra incêndio nas edificações é definida pela diversidade de parâmetros que estabelecem as situações de risco e pelos objetivos que devem ser alcançados. O objetivo da segurança contra incêndio não se resume à segurança da vida humana e os riscos manifestam-se não apenas em função da ocupação. Fatores de

risco, como a natureza da construção e a localização da edificação na malha urbana e no lote, são apenas dois exemplos de situações importantes que se devem considerar.

Frente a isto, a solução da segurança contra incêndio deve, inevitavelmente, levar em conta uma abordagem sistêmica, que se inicia no projeto e se estende por toda a vida útil da edificação, que faça frente a tal complexidade considerando a subdivisão do proble-

ma geral em problemas parciais. Tal abordagem deve permitir que cada um desses problemas parciais seja solucionado de forma independente, assegurando-se que mantenham entre si interação e sinergia suficientes para estabelecer, de maneira apropriada, a solução da segurança contra incêndio como um todo, atendendo aos objetivos propostos.

Uma proposta razoável para tal

subdivisão, que tem sido recomendada pelo IPT como sendo capaz de possibilitar boas soluções de segurança contra incêndio, tem oito elementos:

- a) Prevenção contra o início de incêndio, composta por ações preventivas visando controlar o risco do início do incêndio;
- b) Abandono seguro da edificação, composto por ações protetoras visando assegurar o abandono rápido e seguro da população do edifício;
- c) Limitação da ocorrência da inflamação generalizada, composta por ações protetoras visando controlar o risco de rápido crescimento de incêndio no ambiente de origem;
- d) Extinção inicial do incêndio, composta por ações protetoras visando garantir os meios para combate ao incêndio em seus estágios iniciais;
- e) Limitação da propagação do incêndio dentro da edificação, composta por ações protetoras visando controlar o risco de propagação do incêndio além do ambiente de origem;
- f) Prevenção contra a propagação do incêndio para edificações adjacentes, composta por ações protetoras visando controlar o risco de propagação do incêndio para edificações adjacentes;
- g) Prevenção contra o colapso estrutural, composta por ações protetoras



Foto 1 – Vista geral da ruína de estrutura de concreto pré-moldado, decorrente de incêndio, no edifício de tecelagem Zêlo



Foto 2 – Ruína da cobertura de concreto pré-moldado, decorrente de incêndio, no edifício de tecelagem Zêlo

visando controlar o risco de ruína total ou parcial da edificação afetada pelo incêndio;

- h) Facilitação das operações de combate e resgate, composta por ações protetoras visando garantir rapidez e eficiência das operações de combate.

As ações protetoras dividem-se em ativas e passivas. As primeiras, com as quais a maioria das pessoas está familiarizada, correspondem aos sistemas prediais de proteção contra incêndio, envolvendo hidrantes, sprinklers, detecção e alarme etc. As ações passivas, que compõem a porção da proteção contra incêndio associada ao maior número de elementos da abordagem sistêmica mencionada, abrangem o controle das características de reação ao fogo dos materiais empregados nas edificações, a compartimentação horizontal e vertical, a resistência ao fogo dos elementos estruturais etc. e condicionam especialmente as soluções dos elementos: abandono seguro da edificação; limitação da ocorrência da inflamação generalizada; limitação da propagação do incêndio dentro da edificação; precaução contra a propagação do incêndio para edificações adjacentes; precaução contra o colapso estrutural; e facilitação das operações de combate e resgate.

A questão da resistência ao fogo dos elementos estruturais também está vinculada à compartimentação horizontal e vertical, afinal as lajes e vigas associadas sempre integram a compartimentação vertical e as paredes com função de compartimentação horizontal devem contar com elementos estruturais, incorporados ou não à estrutura principal da edificação. Destaque-se aqui que o conceito da resistência também se aplica a elementos

ou componentes construtivos sem função estrutural, como paredes de vedação, portas, *dampers*, selagens, etc.

O incêndio que atingiu a inflamação generalizada no ambiente de origem tem capacidade de promover o colapso estrutural da edificação. Esta capacidade amplia-se na medida em que maiores porções da estrutura são afetadas por sua ação, ou seja, na medida em que o incêndio se propague para outros ambientes. Os projetos estruturais desses elementos construtivos devem necessariamente considerar a resolução da resistência ao fogo. Atualmente, no Brasil, existem regulamentações estaduais e normas referentes a esse quesito, que exigem seu atendimento no desenvolvimento do projeto. Como referência pode-se citar o Decreto Estadual nº 56.819 de 2011 do Corpo de Bombeiros do estado de São Paulo, no qual estão inseridas a Instrução Técnica nº 08 – Resistência ao fogo de elementos da construção e a Instrução Técnica nº 09 – Compartimentação horizontal e vertical.

2. TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO

O objetivo da Instrução Técnica



Foto 3 – Escorregamento de painel de laje em estrutura de concreto pré-moldado, decorrente de incêndio, no edifício de tecelagem Zêlo



Foto 4 – Deformação de pilar e deslocamento de painel de laje, decorrentes de incêndio, no edifício de tecelagem Zêlo

nº 08 está colocado como sendo o de estabelecer condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação das edificações quanto aos tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural, possibilitando a saída segura das pessoas e o acesso para as operações do Corpo de Bombeiros. Deve-se ter claro que o TRRF é um parâmetro de projeto e não representa o tempo de duração do incêndio, tempo de evacuação da edificação ou mesmo tempo de resposta do Corpo de Bombeiros para o início do combate ao incêndio. Tal instrução estabelece o TRRF de elementos construtivos estruturais e de compartimentação em função da ocupação e da altura da edificação.

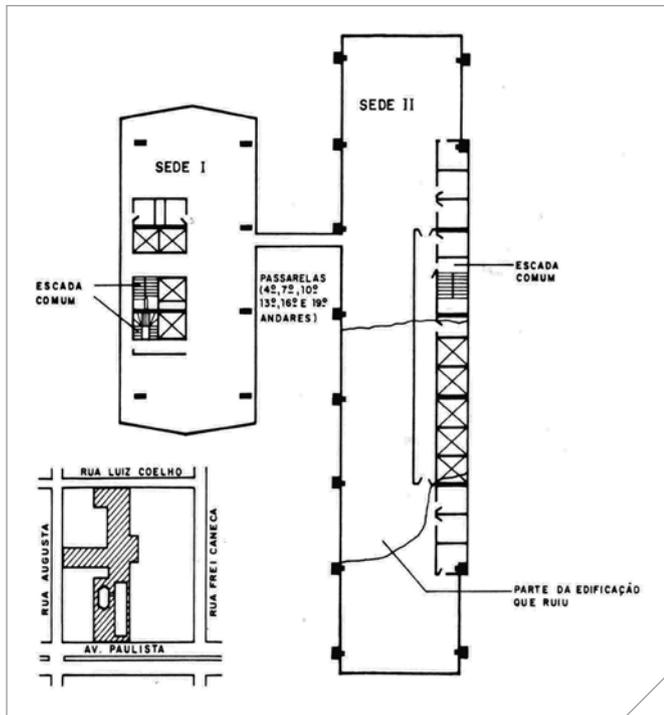


Foto 5 – Planta baixa dos edifícios Sede I e Sede II da CESP, destacando porção que ruiu e posicionamento dos pórticos

O TRRF é estabelecido empiricamente, levando em conta a provável severidade do incêndio, as dificuldades de controlar o avanço do incêndio e as consequências do colapso estrutural provocado pelo incêndio, quer seja em termos de risco às equipes de

combate, quer seja em termos de ocorrência de ruína, considerando a gravidade crescente decorrente da altura da edificação: a ruína de uma edificação térrea, de modo geral, trará consequências significativamente menores que a ruína de um edifício alto.

res de TRRF na faixa de 30 min a 180 min. Para edifícios térreos e de até 6m de altura requer 30 minutos, acima de 6 m até 23 m requer 60 min, acima de 23 m até 30 m requer 90 min, acima de 30 m até 120 m requer 120 min, acima de 120 m até 150 m requer 150 min e acima de 150 m até 250 m requer 180 min. Para esta classe de ocupação a compartimentação vertical é requerida apenas acima de 12 m de altura. Apesar disso, o Decreto Estadual nº 56.819 de 2011 do Corpo de Bombeiros do estado de São Paulo admite, para todas estas alturas, que a compartimentação vertical seja substituída por sistema de detecção de incêndio e sistema de chuveiros automáticos de supressão e controle do incêndio para edificações com altura acima de 12 m até 23 m e por esses sistemas mais o sistema de controle de fumaça para edificações com altura acima de 23 m.

É importante esclarecer que, tanto a detecção de incêndio como o con-

trole de fumaça, não desempenham diretamente papel de conter a propagação vertical do incêndio. O sistema de chuveiros automáticos de supressão e controle do incêndio pode fazer isto na medida em que contenha o desenvolvimento do incêndio em seu local de origem. Caso este sistema falhe, ou não conte com as necessárias ações de apoio, o incêndio pode se propagar verticalmente na edificação. De modo geral no Brasil, esses três sistemas apresentam baixa confiabilidade em razão de deficiências de projeto, de instalação, de operação e de manutenção. Diante desta situação, pode-se considerar que a dispensa da compartimentação vertical no projeto de grandes edifícios de escritórios pode ser uma temeridade.

Apesar da obrigatória compartimentação das fachadas, jamais dispensada no Decreto Estadual nº 56.819 de 2011 do Corpo de Bombeiros do estado de São Paulo, o incêndio tem grandes chances de se propagar pelo exterior, junto à fachada. Tal situação poderá ser contida por via do adicional resfriamento executado pelo Corpo de Bombeiros



Foto 6 – Parte frontal do edifício Sede II da CESP, remanescente da ruína



Foto 7 – Parte posterior do edifício Sede II da CESP, remanescente da ruína



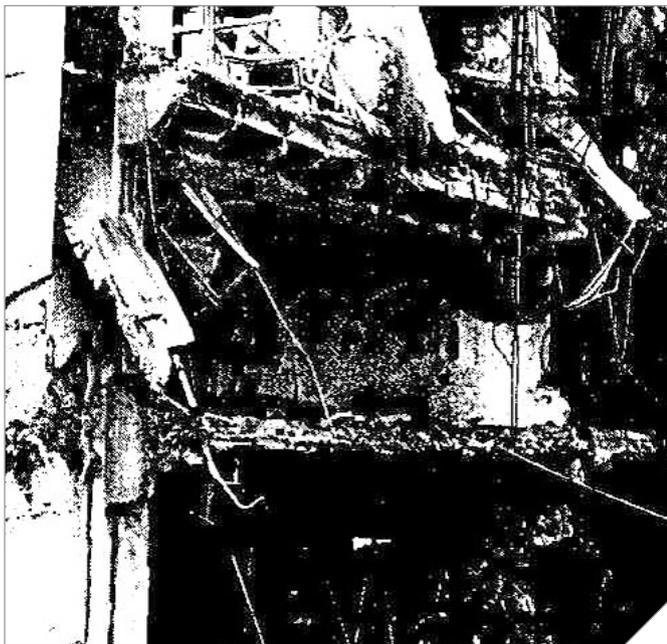


Foto 8 – Detalhe da ruína na parte posterior do edifício Sede II da CESP

nos pavimentos acima daquele onde o incêndio se desenvolve. Caso o edifício não seja dotado da devida compartimentação vertical em seu interior, o Corpo de Bombeiros terá pouquíssimo tempo e grande dificuldade para executar esta ação.

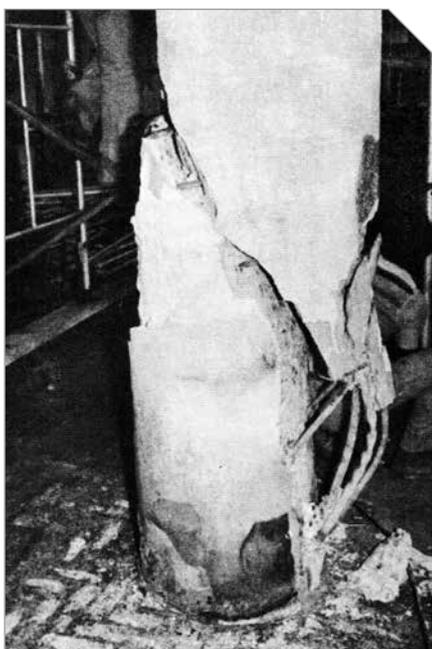


Foto 9 – Danos sofridos por pilar de concreto localizado no pódio do edifício Grande Avenida

para edifícios de menor porte e os valores de 90 min, 120 min, 150 min e 180 min corresponderiam a agravamentos considerando, além do que se colocou até aqui, o risco de porções da estrutura associadas a pavimentos subsequentes estarem submetidos concomitantemente a incêndios de severidades condizentes ao TRRF de 60 min.

Apesar disto, a Instrução Técnica nº 08 concede benefícios de abrandamento das exigências relativas ao TRRF. Trata-se do caso do Anexo D que permite a redução do TRRF em 30 minutos por meio de um cálculo de tempo equivalente, que leva em conta (entre outros fatores) a existência de sistema de chuveiros automáticos de supressão e controle do incêndio, brigada de incêndio e sistema de detecção automática. Em muitas situações consideradas, essas medidas de

Pode-se considerar, tendo em conta os valores propostos de TRRF, e as cargas de incêndio típicas para edifícios de escritório (700 MJ/m², segundo a Instrução Técnica nº 14), entre outros fatores, que 60 min seja o valor básico necessário para a estrutura suportar a ação do incêndio. O valor de 30 min seria um abrandamento

proteção são obrigatórias e já foram levadas em conta para abolir a necessidade de compartimentação vertical, aspecto crucial para limitar a extensão da porção da estrutura que pode ser atacada pelo incêndio. No caso de edifícios de escritórios, tomado como exemplo, a aceitação de tempo equivalente ao TRRF de 15 min para edificações com altura até 6 m e de 30 min para edificações com altura até 23 m, supera o que seria razoável.

3. QUESTÕES RELATIVAS AO DIMENSIONAMENTO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Da mesma forma que a Instrução Técnica nº 08, a norma ABNT NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento estabelece os tempos de resistência ao fogo em função da ocupação e altura das edificações e propõe os métodos de dimensionamento para atendimento das exigências.

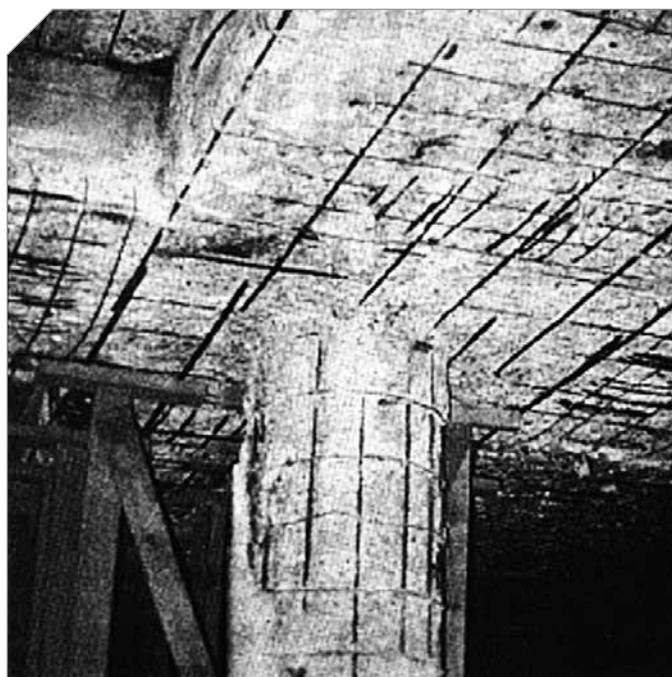


Foto 10 – Lascamento explosivo da estrutura de concreto do edifício Grande Avenida



Foto II – Lascamento explosivo e cisalhamento da cabeça de pilar no pódio do edifício Grande Avenida

A norma ABNT NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho, especificamente na parte 1 – Requisitos gerais e na parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais também trata da questão do dimensionamento de estruturas em situação de incêndio. Com o objetivo de proteger a vida humana, evitar o colapso estrutural da edificação, propiciar a saída segura dos ocupantes e dar condições adequadas de combate aos Corpos de Bombeiros, essa norma propõe o projeto e construção dos elementos estruturais atendendo a norma ABNT NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações

de dimensionamento de estruturas de concretos consideradas normais, ou seja, com massa específica seca variando de 2.000 a 2.800 kg/m³, do grupo I de resistência conforme classificação da ABNT NBR 8953 – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Para concretos do grupo II, o Eurocode 2, parte 1.2, pode ser empregado.

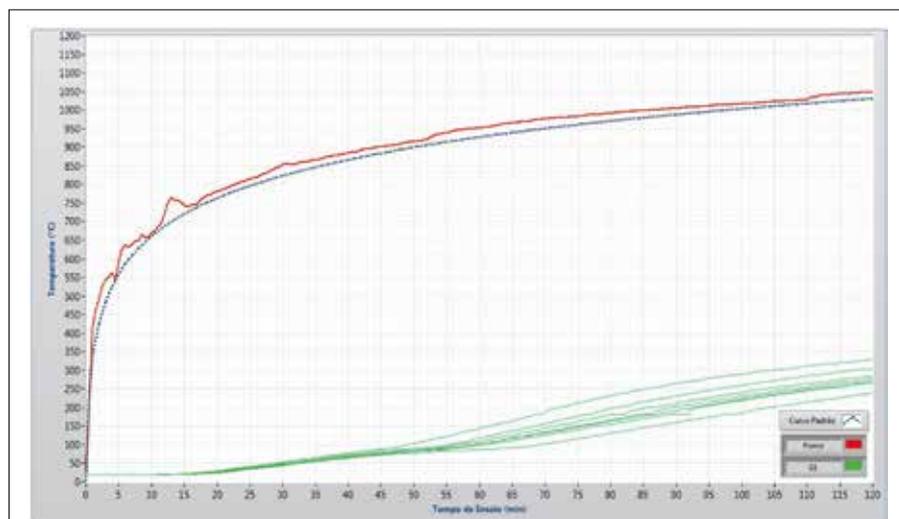
Com relação às estruturas de concreto pré-moldado, a versão de 2017 da norma ABNT NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado estabelece critérios para o dimensionamento em situação

– Procedimento e, para o dimensionamento, o atendimento da norma ABNT NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, que estabelece critérios e méto-

de incêndio, considerando a adoção das normas ABNT NBR 14432 e NBR 15200, e apresenta detalhes específicos para o dimensionamento de lajes alveolares, por não estarem previstas na ABNT NBR 15200.

A crença de que as estruturas de concreto não sofrem extensamente danos em situação de incêndio ou, ainda, de que o incêndio é um fenômeno extremamente raro que nunca afetará a estrutura que está sendo projetada e que, mesmo no caso de “por azar extremo”, se isto vir a acontecer, não se tentará associar uma eventual ruína a deficiências de projeto, tudo isso, associado ao fato dos processos de fiscalização não incluírem a verificação do dimensionamento das estruturas em situação de incêndio, conduz ao não atendimento das regulamentações e normas que impõem como obrigatório a resolução desta questão. Agregue-se a isto o sentimento, muitas vezes determinante, de que o dimensionamento de estruturas de concreto em situação de incêndio seja uma penalização desnecessária, pois conduz à adoção de seções mais amplas e a maiores recobrimentos das armaduras longitudinais.

De fato, a necessidade de adoção de seções e recobrimentos mais amplos se aplica a algumas situações, mas não é tudo, pois outros aspectos interferem no comportamento das estruturas de concreto em situação de incêndio: o lascamento explosivo do concreto em situação de incêndio e o grau de hiperestaticidade da estrutura são aspectos cruciais. As estruturas pré-moldadas são mais susceptíveis ao incêndio, pois a formação de um único nó plástico em uma peça pode provocar a ruína de parte ou de toda a edificação ou, ainda, as deformações dessas estruturas em situação de incêndio, decorrentes de esforços de



► **Figura 1**
Gráfico de ensaio de resistência ao fogo em um corpo de prova com TRRF pretendido de 120 min



dilatação térmica, podem promover a excentricidade de cargas ou ainda o deslocamento de apoios, que levam à ruína de parte ou de toda a edificação. Esta última questão também afeta estruturas moldadas *in loco*, provocando especialmente o cisalhamento de pilares.

O caso da ruína do edifício da telcelagem Zêlo, em incêndio ocorrido em Barueri (SP), em 12 de maio de 1995, afetando estrutura de concreto pré-moldada, exemplifica perfeitamente as questões levantadas e são mostradas através das fotos 1, 2, 3 e 4.

Outro caso exemplar correspondeu ao edifício da CESP (edifício Sede II), em maio de 1987 (Fotos 5 e 6). Tratava-se de uma grande estrutura moldada *in loco* composta por pórticos múltiplos, ligados entre si (praticamente) apenas por meio das lajes, nos quais os pilares localizavam-se junto a fachadas paralelas, mantendo vãos de, aproximadamente, 12 m, vencidos por vigas de grande seção. Os esforços de dilatação das vigas cisalharam as colunas, promovendo o colapso de um pórtico, e parte considerável da estrutura, incapaz de promover a redistribuição de esforços, ruiu (Fotos 7 e 8).

Outro caso interessante e de grande repercussão, entre tantos, corresponde ao incêndio do edifício Grande Avenida, ocorrido em São Paulo nos idos de 1981. Ali o lascamento explosivo do concreto e os esforços decorrentes da dilatação de parte da estrutura submetida ao calor do incêndio provocaram o colapso de parte da estrutura, felizmente não associada à Torre da edificação, mas apenas ao seu pódio frontal.

Os ensaios definidos na norma ABNT NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo indicam a exposição de corpo de

prova) ao longo do tempo de ensaio é verificado o atendimento aos critérios de estabilidade, integridade e isolamento térmico; estes dois últimos aplicados apenas a elementos estruturais que acumulam a função de compartimentação.

Por meio desses ensaios, frequentemente realizados no Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões (LS-FEx) do IPT, tem sido possível observar, sob condições controladas, o fenômeno do lascamento explosivo, que definitivamente deve ser considerado na concepção e dimensionamento das estruturas de concreto. Tal fenômeno em situações extremas pode comprometer instantaneamente a integridade/estabilidade do elemento estrutural (Foto 12). Em outras situações este fenômeno se manifesta de maneira continuada, por meio de pequenos lascamentos sucessivos, que promovem a redução gradual da seção do elemento estrutural e expõem a armadura à ação direta do calor (Foto 13). Tal situação, no desenvolvimento do incêndio, pode definir as condições necessárias para o colapso estrutural. A combinação dessas duas formas de lascamento explosivo também ocorre de maneira frequente (Fotos 14 e 15).

4. CONCLUSÃO

A possibilidade de colapso de elementos estruturais de concreto em situação de incêndio, verificado através de sinistros ocorridos e por análises laboratoriais, comprova a necessidade de elaborar projetos levando em consideração a sua resistência ao fogo. Por se



Foto 12 – Parede de concreto com perda de integridade decorrente de um “lascamento” instantâneo

tratar de um material incombustível, ou seja, que não contribui com o aumento da carga de incêndio, pode dar margem a interpretações que confundam conceitos distintos relacionados à proteção passiva. O material, de fato, não contribui com a liberação de fumaça, a propagação das chamas e o desenvolvimento de calor no incêndio, mas isso não significa que o elemento construtivo de concreto seja resistente ao fogo e que não seja particularmente susceptível a danos maiores causados por um incêndio. Tal característica depende de muitos outros aspectos envolvidos para suportar efeitos completamente adversos, já discutidos anteriormente.



Foto 13 – Lascamentos contínuos em parede de concreto com diminuição da seção transversal e exposição da armadura



Fotos 14 e 15 – Colapso de parede estrutural em decorrência do lascamento explosivo

O concreto e o aço, assim como outros materiais que compõem as estruturas das edificações, sofrem em situação de incêndio alterações na intensidade das forças de ligação na micro e macroestrutura, em decorrência da elevação de temperatura, modificando suas propriedades físicas e mecânicas. No caso de elementos de concreto armado, adicionalmente a isto, o material em si está sujeito à redução da seção transversal e, conseqüentemente, de sua capacidade portante, além de expor as armaduras diretamente às altas temperaturas alcançadas em um incêndio. O traço do concreto, incluindo o fator água-cimento e aditivos empre-

gados, tem demonstrado ser fator determinante para isto.

Quaisquer análises estruturais dos elementos de concreto em situação de incêndio, que ignore tais fenômenos, poderão produzir resultados errôneos. Ainda, a falha do concreto estrutural no fogo depende da severidade do incêndio, da forma como o elemento está exposto ao calor do incêndio, do carregamento e do tipo e função do elemento considerado e do sistema estrutural adotado. Sempre será essencial que as estruturas de concreto sejam projetadas para garantir, conjuntamente com uma série de outras ações de proteção ao fogo, a segurança contra incêndio de modo a compatibilizar riscos e objetivos. 

Prática Recomendada IBRACON/ABECE

Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



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
(loja virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 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



Situação de incêndio no sistema construtivo paredes de concreto

ARNOLDO WENDLER – DIRETOR

WENDLER PROJETOS

I. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndios tem como objetivo primordial minimizar o risco à vida, tanto dos usuários como dos bombeiros que lá estarão para combater e extinguir o fogo. Paralelamente ocorrerá a limitação dos danos físicos à construção. São dois os principais problemas que ocorrem em um incêndio: a produção de fumaça (tóxica ou não) e a exposição ao calor intenso. Uma das principais condições para se evitar os problemas gerados por um incêndio é a rápida desocupação do imóvel.

As medidas de proteção podem ser divididas em ativas e passivas. Na segurança ativa tem-se os detectores

de calor e fumaça, chuveiros automáticos, hidrantes, extintores, etc... Na segurança passiva tem-se a segurança das estruturas, compartimentação dos ambientes e rotas de saída, principalmente a escada de incêndio.

As paredes de concreto encaixam-se exatamente nesta proteção passiva, efetivada pelo isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade das paredes. O isolamento térmico consiste no limite de temperatura que a face não exposta ao fogo vai atingir. No caso da ABNT NBR10636: 1989 Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo (métodos de ensaio de paredes divisórias), a temperatura média admi-

tida nesta face é de 140°C, com pontos isolados de 180 °C. A estanqueidade é observada pela não inflamação de um chumaço de algodão colocado de 1 a 3 cm de eventuais fissuras. A estabilidade pode ser verificada pelo ensaio sob carga

ou por choques mecânicos de esferas metálicas (impacto de 20J) em situação de incêndio. A ABNT NBR10636 estabelece que em qualquer caso a deformação não deve ser excessiva (sem especificar um valor absoluto).

A ABNT NBR 14432: 2001 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações estabelece, para cada tipo e altura de edificação, qual é o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) onde as paredes terão que suportar as condições acima.

Para edificações residenciais (grupo A da tabela A1), tem-se :

- Edificações até 6 m de altura: TRRF de 30 min;
- Edificações de 6 a 12 m de altura (aproximadamente T + 4 pavimentos): TRRF de 30 min;
- Edificações de 12 a 23 m de altura (aproximadamente T + 8 pavimentos): TRRF de 60 min;
- Edificações de 23 a 30 m de altura (aproximadamente T + 11 pavimentos): TRRF de 90 min;
- Edificações com mais de 30 m de altura: TRRF de 120 min.

2. O SISTEMA PAREDES DE CONCRETO

As paredes, dentro do sistema



Foto I – Vista interna da fôrma de alumínio montada

construtivo de paredes de concreto moldadas no local, caracterizam-se por ter as funções de estrutura e vedação. Essas paredes são moldadas no local por meio de sistemas de fôrmas. Atualmente são mais utilizadas as fôrmas manoportáveis de alumínio, de fácil montagem e desmontagem, permitindo um ciclo de produção de apenas um dia. A utilização dessas formas garante a boa produtividade e desempenho de acabamento, que proporcionam a viabilidade técnico-financeira do sistema.

Adota-se como armação a tela soldada, que, para espessura de paredes até 15 cm, é posicionada no centro da parede. Para paredes com mais de 15 cm, adota-se malha dupla, com cobrimentos especificados em norma. Em diferentes pontos, como vãos de portas e janelas, têm-se reforços de telas ou barras de armadura convencional. No caso de edifícios mais altos, sujeitos à tração devido ao efeito do vento, têm-se ainda barras verticais nas extremidades das paredes.

As paredes ainda terão embutida toda a instalação elétrica e de sistemas. Tanto as armaduras como as instalações são presas e posicionadas com peças plás-

cas específicas para o sistema. As instalações hidráulicas, sanitárias, de incêndio e gás devem ser colocadas fora da parede, para garantir o desempenho de manutenibilidade.

Com todo o sistema montado, fôrma, armação, elétrica e sistemas, procede-se à concretagem utilizando um concreto autoadensável, já estudado e ensaiado na fase de caracterização do material. Esse concreto terá como aditivos os superplastificantes e os modificadores de viscosidade e como adições os superfinos e fibras plásticas para atuar na redução da retração inicial e do fenômeno do *spalling*.

3. PRINCIPAIS NORMAS PERTINENTES

A norma ABNT NBR 15575-1: 2013



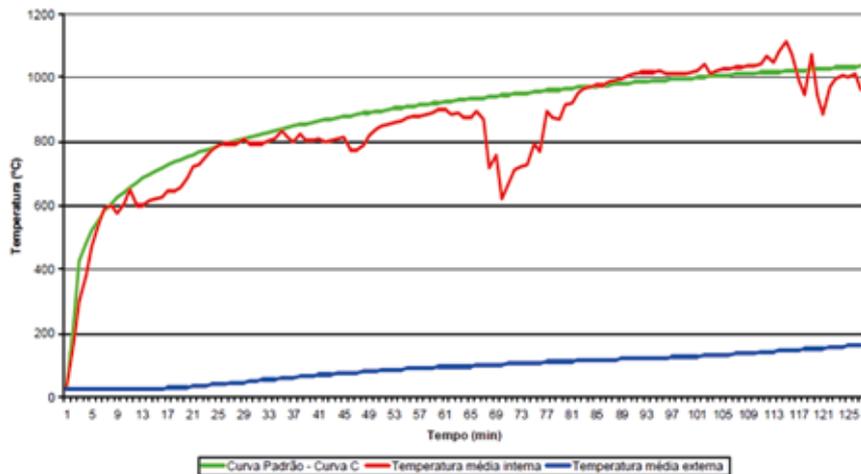
Foto 2 – Armações das paredes em telas montadas



Foto 3 – Acessórios de plástico específicos para paredes de concreto



Foto 4 – *Slump-flow* de concreto autoadensável com detalhe da borda sem exsudação



► **Gráfico 1**
Evolução das temperaturas durante o ensaio de incêndio

Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 1, Requisitos Gerais impõe uma série de requisitos específicos para a Segurança contra incêndio (capítulo 8). Estão discriminados os seguintes requisitos:

- Dificultar o princípio de incêndio, ou seja, utilizar materiais incombustíveis (o concreto é um material extremamente estável em relação às altas temperaturas de um incêndio);
- Dificultar a inflamação generalizada (atendido pelo critério da estanqueidade);
- Dificultar a propagação de incêndio (os elementos que fazem a compartimentação devem ter isolamento);
- Segurança Estrutural: Minimizar o risco de colapso da edificação (atendido pelo critério da estabilidade).

A Norma ABNT NBR 10636 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo define a curva padrão tempo x temperatura que deverá ser utilizada nos ensaios, assim como a maneira de medir as temperaturas nos termopares na face não exposta ao fogo. Define ainda

os critérios de isolamento, estanqueidade e estabilidade.

A Norma ABNT NBR 14432:2001 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento define os TRRF para cada grupo e cada classe de uma grande variedade de edificações, assim como as cargas de incêndio a serem adotadas em projeto.

A Norma ABNT NBR 15200: 2012 Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento define os parâmetros de projeto e as propriedades dos materiais em situação de incêndio. Especifica ainda diferentes métodos de cálculo, desde o tabular até os métodos simplificado, geral e experimental

4. COMPORTAMENTO DAS PAREDES DE CONCRETO

4.1 Paredes de 10 cm

Para as paredes com 10 cm de espessura, temos dois ensaios mostrando o atendimento ao seu desempenho

ao fogo: o ensaio realizado em Furnas em 2008 e o realizado na Universidade Vale do Rio dos Sinos em 2015. Deve-se lembrar que as paredes de concreto com espessura igual ou menor que 15 cm utilizam uma tela centrada e têm, portanto, um cobrimento bastante grande, bem acima dos mínimos recomendados na ABNT NBR 6118: 2014 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, acrescidos dos valores recomendados pela ABNT NBR15200: 2012 Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. No caso das paredes de 10 cm tem-se um cobrimento da ordem de 4,7 cm, mais do que suficiente para promover a proteção da armadura em situação de incêndio¹.

4.1.1 ENSAIO DE FURNAS

O relatório do ensaio realizado em Furnas Centrais Hidrelétricas, de maio de 2008 é o Relatório DCT.C.15.003.2006-R1. O ensaio foi realizado segundo a norma ABNT NBR 5628:2001 Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo, que determina a exposição do corpo de prova, sob carregamento típico, a um programa padronizado de elevação de temperatura, verificando-se três requisitos: resistência mecânica e deformações, isolamento térmico e estanqueidade a gases quentes e chamas. O concreto utilizado tinha resistência especificada de 20 MPa.

Para determinação da resistência ao fogo do sistema construtivo em concreto estrutural foi construída uma amostra formada por duas placas de concreto medindo 2,02m x 2,95m x 0,10m, montadas no pórtico de ensaio

¹ O COBRIMENTO DAS ARMADURAS, PREVISTO NAS NORMAS BRASILEIRAS DE PROJETO ESTRUTURAL EM FUNÇÃO DA DURABILIDADE PRETENDIDA, CORRESPONDE À DISTÂNCIA DA FACE DA ARMADURA PRINCIPAL ATÉ A FACE EXPOSTA DO ELEMENTO DE CONCRETO. ESSA DIMENSÃO ESTÁ A FAVOR DA SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, POIS NO MÉTODO TABULAR DA ABNT NBR 15200 A EXIGÊNCIA CORRESPONDE À DISTÂNCIA MEDIDA DO CENTRO DA ARMADURA ATÉ A FACE EXPOSTA DO ELEMENTO ESTRUTURAL DE CONCRETO.

► Tabela 1 – Evolução dos fatos ocorridos durante o ensaio

Parede 1 (10 cm)	
Tempo	Descrição
0:00	Início do ensaio
14 min.	Amostra começa a liberar água da composição
17 min.	Inicia-se um acréscimo de calor no ponto onde aconteceu a liberação de água
20 min.	Formação da primeira fissura
35 min.	Acréscimo de calor generalizado na amostra
46 min.	Amostra continua a liberar água da composição
66 min.	Pontos generalizados de irradiação de calor
81 min.	Não há mais liberação de água
117 min.	Realização de ensaio de choque mecânico para 120 min.
120 min.	Término do ensaio

pelo sistema *tilt-up*, unidas verticalmente na região central com argamassa de cimento e areia, e vedadas com adesivo selante à base de poliuretano. A parede assim formada foi submetida a uma tensão de 1 MPa, correspondendo a um carregamento de 10 tf/m, compatível com prédios de 4 a 5 pavimentos.

A partir dos resultados apresentados pelo corpo de prova no ensaio para “Determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais”, a amostra foi classificada como resistente ao fogo por 125 minutos. Durante esse tempo, o corpo de prova manteve as qualidades de resistência mecânica e de estanqueidade a chamas, atingindo a temperatura limite de $140^{\circ}\text{C} + T_0$, na média dos 9 pontos da face não exposta, decorridos 125 minutos do início do ensaio, não apresentando qualquer tipo de ocorrência quando da reaplicação do carregamento, 24 h após o término do aquecimento.

O tempo de 125 minutos deverá ser utilizado pelo projetista, verificando as exigências da ABNT NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de

elementos construtivos de edificações – Procedimento e da legislação local quanto ao tempo requerido para a estrutura e para as paredes como fachadas, poço de elevador, escadas de emergência e outras (que depende do tipo de ocupação e da altura da edificação).

4.1.2 ENSAIO VALE DO RIO DOS SINOS

A Universidade do Vale do Rio dos Sinos ensaiou duas paredes de 3,15 m x 3,00 m em forno vertical, sendo uma com espessura de 10 cm e outra com espessura de 14 cm, ambas com concreto de resistência $f_{ck} = 25$ MPa. A previsão do ensaio era verificar as condições de desempenho ao fogo até 120 min. A avaliação das temperaturas na face não exposta foi realizada com 7 termopares e a avaliação da estabilidade, com o impacto de 3 esferas de aço em 3 pontos da parede. A curva de aquecimento utilizada foi a estabelecida pela ABNT NBR 10636-- Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo.

Na amostra de 10 cm, a temperatura máxima atingida foi de $117,2^{\circ}\text{C}$,

menor que o limite estabelecido de 140°C . Não houve inflamação do algodão colocado nas fissuras.

Veja na Tabela 1 e no Gráfico 2 a evolução dos fatos ocorridos e das temperaturas praticadas no ensaio.

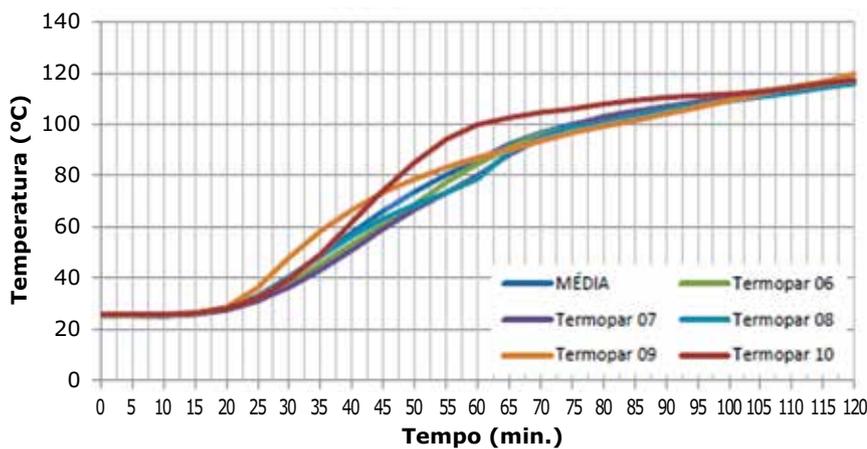
4.2 Parede de 14 cm

Na amostra de 14 cm do ensaio na Universidade do Vale do Rio dos



Foto 5 – Detalhe dos termopares para ensaio de incêndio e execução do ensaio de percussão na parede





► **Gráfico 2**
Evolução das temperaturas durante o ensaio

Sinos, chegou-se a uma temperatura de 96,22 °C aos 120 min, bem abaixo do limite de 140°C, sem inflamação do algodão colocado nas fissuras.

Veja na Tabela 2 e no Gráfico 3 a evolução dos fatos ocorridos e da temperatura.

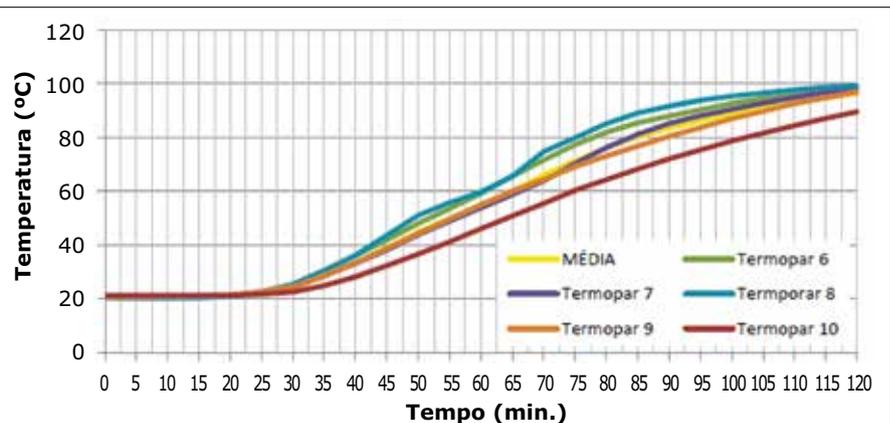
4.3 Paredes com mais de 15 cm, com tela dupla nas duas faces

Para paredes com mais de 15 cm,

► **Tabela 2 – Evolução dos fatos ocorridos durante o ensaio**

Parede 2 (14 cm)	
Tempo	Descrição
0:00	Início do ensaio
13 min.	Foco de calor na parte central da amostra
14 min.	Amostra começa a liberar água da composição
26 min.	Inicia-se um acréscimo de calor no ponto onde aconteceu a liberação de água
28 min.	Formação da primeira fissura
32 min.	Amostra continua a liberar água da composição e gases pela fissura formada
56 min.	Não há mais liberação de água
117 min.	Realização de ensaio de choque mecânico para 120 min.
120 min.	Término do ensaio

que devem ter tela dupla segundo a ABNT NBR 16055: 2012 Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos, pode-se adotar o método tabular, com a tabela de espessuras e cobrimentos mínimos da ABNT NBR15200 Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento (Tabela 3). Verificamos que em qualquer situação de incêndio em uma das faces, as paredes com mais de 15 cm terão um TRRF de 120 min. O cuidado a ser adotado é o aumento do cobrimento, passando para um valor mínimo de $c_1 = 35$ mm, conforme mostra a Tabela 3.



► **Gráfico 3**
Evolução das temperaturas durante o ensaio

4.4 Spalling

O *spalling* é o lascamento da superfície da parede com perda de área de concreto, causado pela pressão interna de vapor de água ao evaporar durante um incêndio. Em temperaturas inferiores a 100 °C, há perda de água dos macroporos. Acima de 100°C, inicia-se a perda de água capilar, dos poros mais finos, retida por adsorção.

O *spalling* pode ser explosivo, principalmente nos concretos de maior resistência, que são mais compactos, dificultando a percolação de água. Para se evitar o *spalling*, recomenda-se que a umidade do concreto seja menor que 3%.

Um interessante efeito colateral para este caso é a queima das fibras têxteis colocadas para diminuir a retração. Com a queima, formam-se canais por onde o vapor de água escapa sem provocar tensões na camada superficial da parede.

5. CONCLUSÃO

Percebe-se que o sistema de paredes de concreto moldada *in loco* é muito eficiente para o desempenho sob incêndio. Como é um material extremamente estável e não combustível,

o concreto proporciona alta segurança em todos os aspectos considerados nas diferentes normas brasileiras sobre o assunto.

O uso de fibras têxteis tem um efeito colateral positivo na prevenção de *spalling* a altas temperaturas, uma vez que sua queima forma canais de escape para água adsorvida no concreto.

Os ensaios classificam as paredes de concreto, de 10 ou de 14 cm, com TRRF de 120 min, adequadas para edifícios residenciais com mais de 30 m de altura. ↻

► Tabela 3 – Dimensões mínimas para pilares-paredes

TRRF min.	Combinações de b_{min} / C_1			
	$\mu_n = 0,35$		$\mu_n = 0,7$	
	Uma face exposta	Duas faces expostas	Uma face exposta	Duas faces expostas
	1	2	3	4
30	100/10	120/10	120/10	120/10
60	110/10	120/10	130/10	140/10
90	120/20	140/10	140/25	170/25
120	140/25	160/25	160/35	220/35

Nota: μ_n é a relação entre o esforço normal de cálculo na situação de incêndio e o esforço resistente normal de cálculo do pilar em questão em situação de temperatura normal.

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOLINA, F. L.; PRAGER, G. L.; RODRIGUES, E.; TUTIKIAN, B. F. Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.15, n.4, p. m291-305, out/dez 2015
- [2] FURNAS, CENTRAIS ELÉTRICAS - Relatório DCT.C.15.003.2006-R0, Setembro/2006 – Sistemas construtivos em concreto moldado in loco e tilt-up – avaliação de desempenho

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 tecnólogos.

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

(Loja Virtual)



Patrocínio



Verificação da segurança de painéis *tilt-up* em situação de incêndio

UIATAN AGUIAR NOGUEIRA – ENGENHEIRO CIVIL

TIAGO SOUSA TAVARES – ENGENHEIRO CIVIL

DANIEL DE LIMA ARAÚJO – PROFESSOR ASSOCIADO

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)

I. INTRODUÇÃO

O sistema construtivo *Tilt-Up* consiste na utilização de painéis verticais de concreto pré-moldados no local, aplicados conjuntamente como estrutura e vedação. Após adquirirem resistência suficiente, os painéis são içados por um guindaste e conectados à fundação já realizada, conferindo ao método um custo competitivo pela rapidez e pela mão de obra reduzida.

Entretanto, por se tratar de um método construtivo relativamente “recente” no Brasil, as normatizações técnicas brasileiras ainda não contemplam o dimensionamento de painéis *Tilt-Up*, sobretudo quando submetidos a uma situação de incêndio, assunto que, por sua vez, também é recente no país.

Sendo esses elementos estruturais de concreto, sabe-se que sua utilização deve respeitar alguns limites impostos pelas normas técnicas de estruturas de concreto, como a ABNT NBR 6118:2014 [1], a ABNT NBR 9062:2017 [2] e a ABNT NBR 15200:2012 [3], mas para o correto dimensionamento à temperatura ambiente, recomenda-se buscar recomendações de códigos internacionais, como o ACI 318 [4], o ACI

551 [5] e o Manual de Construção em *Tilt-Up* da TCA [6].

O dimensionamento de painéis *Tilt-Up* em situação de incêndio encontra-se ainda muito limitado devido à ausência de material bibliográfico e de modelagens matemáticas na área. Por essa razão, este artigo busca mostrar uma forma de verificação da capacidade resistente desses painéis em situação de incêndio que possa ser aplicada na prática de projetos. Para isso, são utilizadas recomendações de códigos internacionais de projeto para avaliação da capacidade resistente dos painéis *Tilt-Up* a temperatura ambiente. Contudo, como esses códigos não apresentam metodologia para avaliação da segurança dos painéis em situação de incêndio, é sugerido o emprego do método das isotermas de 500 °C apresentado no *Eurocode 2* [7] para permitir a verificação a incêndio de painéis *Tilt-Up*.

No Brasil, o projeto de paredes de concreto moldado no local é regido pela norma ABNT NBR 16055:2012 [8], enquanto o projeto de paredes de concreto pré-moldado é regido pela recente norma ABNT NBR 16475:2017 [9]. Contudo, esta norma é aplicada apenas para paredes de concreto pré-

-moldado cuja relação entre altura e espessura seja inferior a 32, valor que normalmente é superado no sistema *Tilt-Up*. Por essa razão, a norma ABNT NBR 16475:2017 [9] não foi utilizada neste artigo para efeito de comparação com o modelo de paredes esbeltas. Além disso, essa norma também não apresenta modelos de dimensionamento para paredes de concreto em situação de incêndio.

2. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO À TEMPERATURA AMBIENTE PARA PAINÉIS *TILT-UP*

O método das paredes esbeltas leva em conta os momentos de segunda ordem devido à deflexão do painel e é recomendado pelos códigos de projeto ACI 551 [5] e Manual de Construção em *Tilt-Up* [6]. É utilizado para que o dimensionamento atenda, sobretudo, aos estados limites de serviço. Contudo, neste artigo não serão apresentadas as verificações de serviço, uma vez que a situação de incêndio se enquadra como estado limite último excepcional.

Para que este método seja utilizado, as seguintes condições precisam ser obedecidas segundo o Manual de Construção em *Tilt-Up* da TCA [6]:

- ▶ O segmento de parede tem seu maior vão na vertical e está apoiado lateralmente, na base e no topo;
- ▶ As tensões geradas pela flexão controlam o dimensionamento;
- ▶ A tensão axial de serviço no ponto de máximo momento não pode exceder em 0,04 vezes a resistência característica do concreto (f_{ck});
- ▶ O momento de fissuração deve ser menor que o momento resistente de cálculo (M_n) minorado de um coeficiente Φ , calculado pela Equação 9;
- ▶ A deflexão de serviço, Δ_s , não deve exceder $H/150$, sendo H a altura livre do painel;
- ▶ Admite-se que as cargas concentradas se espalham verticalmente em uma razão de 2:1 entre vertical e horizontal.

O dimensionamento segundo este método começa com o cálculo de uma armadura vertical estimada, A_s , posicionada no centro da seção do painel, dada pela Equação 1:

$$A_s = \frac{3,71 \times 10^{-5} W_u H^2}{t} \quad 1$$

Onde:

A_s = armadura vertical estimada [m^2/m]
 W_u = força lateral aplicada sobre a superfície do painel [N/m^2];

H = altura livre do painel, em metros;

t = espessura do painel, em metros.

Posteriormente, mantendo-se a altura do painel fixa, calcula-se o momento último resistente da parede para um metro linear de comprimento de painel. Primeiro, calcula-se a área efetiva de armadura que irá resistir às tensões de tração, A_{se} , dada pela Equação 2.

$$A_{se} = \frac{P'_d + A_s f_y}{f_y} \quad 2$$

Onde:

A_{se} = área efetiva de armadura vertical

para um metro de comprimento de parede [m^2];

P'_d = força vertical de cálculo aplicada à meia altura do painel para um metro de comprimento de parede [N];

f_y = tensão de escoamento do aço [N/m^2].

A altura da linha neutra da seção de concreto plastificada a , é dada pela Equação 3.

$$a = \frac{A_{se} f_y}{0,85 f_{ck} b} \quad 3$$

Onde:

f_{ck} = resistência característica à compressão do concreto [N/m^2];

b = largura do segmento de parede em questão, considerado sempre para a faixa de um metro.

O momento resistente, M_n , é dado pela Equação 4.

$$M_n = A_{se} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad 4$$

Onde:

d = distância do centro da armadura à face comprimida [m].

O momento último de cálculo, M_u , é dado pela soma do momento último de primeira ordem com o momento de segunda ordem, devido ao desvio do eixo vertical do painel, conforme Equação 5.

$$M_u = M_{1u} + P'_d \Delta \quad 5$$

Onde:

M_{1u} = momento último de primeira ordem [Nm];

Δ = deflexão do painel à meia altura devido aos efeitos de segunda ordem [m].

O momento último de primeira ordem, por sua vez, é estimado por meio da Equação 6.

$$M_{1u} = \frac{W_u H^2}{8} + \frac{P_u e}{2} \quad 6$$

Onde:

P_u = carregamento vertical aplicado no painel [N/m];

e = distância entre o centro do painel e sua face comprimida [m].

A deflexão do painel à meia altura, devido aos efeitos de segunda ordem, pode ser estimada pela Equação 7, que leva em conta o momento de inércia da seção fissurada do concreto.

$$\Delta = \frac{5 M_n H^2}{48 E_c I_{cr}} \quad 7$$

Onde:

E_c = módulo de elasticidade do concreto [N/m^2];

I_{cr} = momento de inércia da seção fissurada do painel de concreto [m^4], dado pela Equação 8.

$$I_{cr} = n A_{se} (d - c)^2 + \frac{bc^3}{3} \quad 8$$

Onde:

n = relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto.

$$c = \frac{a}{0,85}$$

O momento último de cálculo, M_u , deve ser menor que o momento resistente, M_n , minorado de um fator Φ , dado pela Equação 9.

$$\Phi = 0,90 - \frac{2 P'_d}{f_{ck} t} \quad 9$$

3. MÉTODO DAS ISOTERMAS DE 500 °C PARA DIMENSIONAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A norma ABNT NBR 16475:2017 [9] para o dimensionamento de paredes de concreto pré-moldado não apresenta uma metodologia para projeto dos painéis em situação de incêndio. Já, a norma ABNT NBR 9062:2017 [2], no seu item 5.3.1.5, apresenta um método para projeto de painéis maciços de concreto pré-moldado em situação de incêndio, que se baseia, unicamente, na especificação da espessura mínima dos painéis em função do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) da edificação.



► Tabela 1 – Espessura mínima da seção transversal para o uso do método das isotermas de 500 °C segundo o Eurocode 2 [7] e valores especificados pela norma ABNT NBR 9062:2017 [2] para concretos com agregados silicosos

TRRF (min)	Eurocode 2 (mm)	NBR 9062:2017 (mm)
60	90	90
90	120	110
120	160	130
180	200	160
240	280	180

Por se tratar de estruturas de concreto, o projeto dos painéis *Tilt-Up* deveria seguir o estabelecido na norma ABNT NBR 15200:2012 [3]. Contudo, essa norma apresenta métodos tabulares de verificação à situação de incêndio apenas para vigas e pilares, apesar de o Eurocode 2 [7] apresentar um método tabular específico que avalia o tempo de resistência ao fogo de paredes de concreto baseado na espessura da parede.

Dessa forma, para a verificação do painel *Tilt-Up* em situação de incêndio, adotou-se neste artigo o método das isotermas de 500 °C descrito pelo Eurocode 2 [7]. Para que este método seja aplicado, a seção transversal do elemento em situação de incêndio deve possuir a espessura mínima indicada na Tabela 1. Nessa Tabela também é mostrada a espessura mínima para painéis maciços em função do TRRF especificado pela norma ABNT

NBR 9062:2017 [2], para concretos com agregados silicosos. Nota-se que as espessuras mínimas da NBR 9062:2017 são menores que os valores especificados pelo Eurocode 2.

O método das isotermas de 500 °C consiste na redução da seção transversal do concreto, na qual a região da seção com temperaturas superiores a 500 °C é desprezada, numa tentativa de simular a perda de resistência do concreto quando submetido a elevadas temperaturas. Para a seção residual de concreto, interna à isoterma de 500 °C, considera-se que a resistência à compressão do concreto é a mesma do concreto à temperatura ambiente.

Por outro lado, caso as armaduras fiquem fora da seção transversal residual, devem-se aplicar os coeficientes redutores da resistência do aço para a temperatura em questão, de forma a minorar a resistência do aço para a situação de incêndio. Essa minoração

► Tabela 2 – Valores dos coeficientes de redutores $k_{s,\theta}$, $k_{Es,\theta}$ e $k_{p,\theta}$ para aços de armadura passiva em função da temperatura segundo a ABNT NBR 15200: 2012 [3] e o Eurocode 2 [7]

Temperatura do Aço (°C)	$k_{s,\theta} = f_{yk,\theta} / f_{yk}$			$k_{Es,\theta} = E_{s,\theta} / E_s$		$k_{p,\theta} = f_{pk,\theta} / f_{yk}$	
	Tração		Compressão CA-50 ou CA-60	CA-50	CA-60	CA-50	CA-60
	CA-50	CA-60					
1	2	3	4	5	6	–	–
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96
200	1,00	1,00	0,89	0,90	0,87	0,81	0,92
300	1,00	1,00	0,78	0,80	0,72	0,61	0,81
400	1,00	0,94	0,67	0,70	0,56	0,42	0,63
500	0,78	0,67	0,56	0,60	0,40	0,36	0,44
600	0,47	0,40	0,33	0,31	0,24	0,18	0,26
700	0,23	0,12	0,10	0,13	0,08	0,07	0,08
800	0,11	0,11	0,08	0,09	0,06	0,05	0,06
900	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05
1000	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04
1100	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

é feita de acordo com a Equação 10.

$$f_{yk,\theta} = k_{s,\theta} f_{yk} \quad 10$$

$f_{yk,\theta}$ = resistência característica do aço à tração à temperatura elevada θ [MPa];

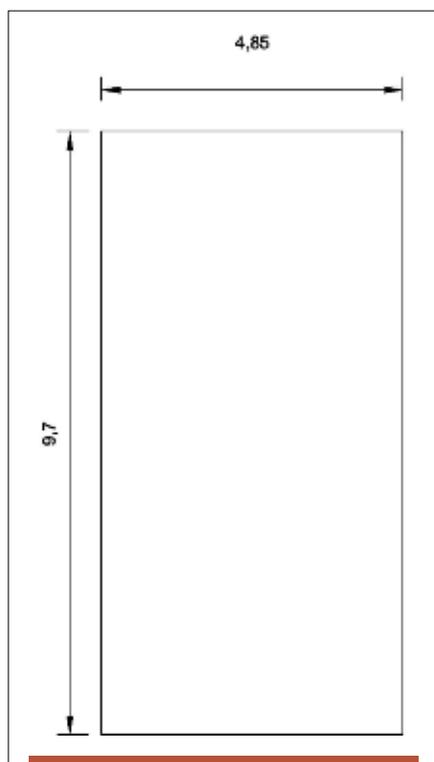
$k_{s,\theta}$ = coeficiente de redução da resistência à tração do aço em função da temperatura θ , segundo a Tabela 2. [adimensional];

f_{yk} = resistência característica do aço à tração em temperatura ambiente [MPa].

Caso a armadura fique interna à seção, com temperaturas inferiores a 500 °C, não se considera sua perda de resistência.

4. DESCRIÇÃO DO CASO ESTUDADO

Esse artigo adota como caso de estudo um galpão industrial hipotético, utilizado como depósito para equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, situado no interior do estado



► **Figura 1**
Painel Tipo sem aberturas
(dimensões em m)

► **Tabela 3 – Dimensões geométricas do galpão**

Largura	Comprimento	Altura	Área de paredes	Área de aberturas verticais
73,50 m	72,70 m	9,70 m	2736,28 m ²	171,44 m ²

de Goiás. A edificação é composta por 58 painéis de concreto armado executados pelo processo de *Tilt-Up*, com espessura uniforme, mas com altura e largura variáveis.

Não há aberturas para ventilação no piso nem no teto. Entretanto, as dimensões das aberturas verticais nas paredes, isto é, portas e janelas, variam entre os painéis. As dimensões do galpão usado no dimensionamento são resumidas na Tabela 3.

Para a verificação, foi considerado um painel típico da edificação, sem aberturas. Os painéis são considerados biapoiados, pois, além do apoio na base, eles são contraventados na extremidade superior pelas tesouras nas quais a cobertura se apoia.

O pé-direito do galpão, e consequentemente a altura dos painéis-tipo, apresenta duas dimensões diferentes. Sendo assim, optou-se por usar uma altura média para definir o painel-tipo sem aberturas. Todos os painéis apresentam espessura constante e igual a 15 cm. As dimensões do painel usado no dimensionamento são ilustradas na Figura 1 e resumidas na Tabela 4.

O carregamento de vento nas paredes foi calculado de acordo com as recomendações da ABNT NBR 6123:1988 [10], enquanto foi adotado para o carregamento permanente e acidental da cobertura os valores indicados no Manual de Construção em *Tilt-Up* da TCA [6]. Para o peso próprio do painel, utilizou-se o valor padrão do peso específico estabelecido na ABNT

NBR 6118:2014 [1].

Os valores de carregamento adotados para o dimensionamento do painel *Tilt-Up* sem aberturas do galpão industrial em questão constam na Tabela 5. O valor da força vertical de cálculo aplicada à meia altura do painel equivale a soma do peso próprio do painel à meia altura com o carregamento do telhado aplicado em cada painel. Maiores detalhes sobre o cálculo do carregamento podem ser obtidos na referência [11].

5. VERIFICAÇÃO DO PAINEL *TILT-UP*

Neste item é apresentado o dimensionamento do painel *Tilt-Up* pelo método das paredes esbeltas, com posterior verificação de resistência à exposição a um incêndio padrão em uma de suas faces.

5.1 Dimensionamento à temperatura ambiente

Adotou-se um painel com resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 MPa e reforçado em aço CA-50. Suas propriedades mecânicas estão mostradas na Tabela 6 para valores segundo o SI.

A combinação limite última para os carregamentos segundo o ACI 318 [4] é

► **Tabela 4 – Dimensões geométricas do painel médio sem aberturas**

Altura livre (H)	Comprimento (L)	Espessura (t)
9,70 m	4,85 m	0,15 m



► **Tabela 5 – Carregamento utilizado para o dimensionamento do painel à temperatura ambiente**

Tipo de carregamento	Por painel
Permanente (vertical) – D	0,401 kN
Acidental (vertical) – L	0,697 kN
Vento (horizontal) – W	20,370 kN
Peso próprio à meia altura	92,223 kN
Carregamento vertical do telhado (P_u)	65,436 kN
Força vertical de cálculo (P'_d)	157,664 kN

dada por $U = 0,75(1,4D + 1,7L + 1,7W)$, em que U é o carregamento último de cálculo, D o carregamento permanente, L o carregamento acidental e W o carregamento de vento.

O Comitê 551 do ACI [4] recomenda a utilização de uma excentricidade mínima que varia de 0,333 a 0,5 vezes o valor da espessura do painel. Assim, a favor da segurança, adotou-se uma excentricidade igual à metade da espessura do painel, isto é, 7,5 cm.

A área de aço necessária para o painel pode ser estimada pela Eq. (1). Com os valores informados nas Tabelas 4 e 5, obtém-se uma área de 3,259 cm²/m a ser colocada no meio do painel. Portanto, adotou-se o uso de barras de aço de 12,7 mm de diâmetro com espaçamento de 30 cm, resultando em uma área de aço de 4,233 cm²/m. A área efetiva de armadura efetiva (A_{se}), por sua vez, é obtida pelo emprego dos valores das Tabelas 5 e 6 na Eq. (2), sendo equivalente a 1,490 cm².

A altura da linha neutra da seção de concreto plastificada, a , é dada pela Eq. (3). Por sua vez, o momento de inércia da seção fissurada do painel de concreto é calculado pela Eq. (7), sendo igual a 464,098 cm⁴.

A resistência à flexão do painel, na seção à meia altura, pode ser estimada por meio da Eq. (4). Para isso, é mostrado na Tabela 4 as propriedades do painel em estudo, das quais se obtém um momento resistente de 5,249 kNm. Ao multiplicá-lo pelo fator de minoração (Φ), obtido pela Eq. (9), tem-se o momento resistente de cálculo minorado (Φ_{Min}) igual a 4,635 kNm.

O momento solicitante de cálculo, M_u , por sua vez, é estimado por meio da Eq. (5). Neste caso, o momento de primeira ordem, M_{1u} , é avaliado pela Eq. (6), sendo P_u igual a 13,492 kN/m e M_{1u} igual a 0,322 kNm.

Já o momento de segunda ordem é obtido pela multiplicação do carregamento vertical no painel à meia altura

ra ($P'_d = 32,508$ kN) pela deflexão do painel, também à meia altura, avaliada pela Eq. (7), e que neste caso vale $\Delta = 39,573$ cm. Logo, o momento fletor solicitante, de cálculo, à meia altura do painel vale 4,243 kNm.

Como o momento resistente é maior que o momento solicitante, a armadura estimada é suficiente para o dimensionamento do painel à temperatura ambiente. Todos os valores calculados são apresentados na Tabela 7.

5.2 Verificação do painel em situação de incêndio

Como mencionado, não há critérios de projeto definidos em norma nacional para a verificação do painel *Tilt-Up* em situação de incêndio. Dessa forma, foi adotado o método das isotermas de 500 °C recomendado pelo Eurocode 2 [7] para verificação da segurança do painel em situação de incêndio.

Inicialmente, é necessário determinar o tempo requerido de resistência ao fogo dos elementos estruturais, o qual pode ser obtido por meio de métodos tabulares. As tabelas fornecidas pelo Corpo de Bombeiros Militares do Estado de Goiás [12] e a ABNT NBR 14432:2000 [13] apresentam valores semelhantes para o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo de diversas edificações. No caso de depósito de aparelhos eletroeletrônicos, o Anexo B da SSPGO NT 14:2014 [14] indica uma carga de incêndio de 1800 MJ/m².

Utilizando esse valor e considerando o galpão como um depósito em que a altura da edificação está no intervalo entre 6 e 12 metros, a Tabela A da SSPGO NT 08:2014 [15] e a Tabela A.1 da ABNT NBR 14432:2000 [13] estabelecem um Tempo Requerido de Resistência ao Fogo de 60 minutos.

► **Tabela 6 – Propriedades mecânicas do concreto armado e do aço CA-50 utilizados no painel**

Material	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração* (MPa)	Módulo de elasticidade **
Concreto	25	3,11	28.000
Aço CA-50	500	500	210.000

*O valor da resistência à tração do concreto foi obtido pela fórmula: $f_{ct} = 7,5 \sqrt{f_{ck}}$, descrita no ACI 318 [4]. ** valor obtido da NBR 6118:2017 [1] com $\alpha_e = 1$ para o concreto.

Para a utilização do método das isotermas de 500 °C, é necessário conhecer o perfil da temperatura ao longo da espessura do painel quando exposto ao incêndio. Esse perfil, contudo, não é fornecido no *Eurocode 2* [7]. Sendo assim, foi utilizado o trabalho de Lim [16], que realizou uma modelagem computacional para obter o perfil de temperatura de uma parede de um galpão com 15 cm de espessura quando exposta ao incêndio padrão definido na ISO 834:1990 [17] em uma de suas faces. Este perfil é mostrado na Figura 2. O mesmo pode ser utilizado neste caso devido ao fato da curva de incêndio padrão da norma ABNT NBR 15200:2012 [3] ser a mesma da ISO 834:1990 [17].

Ressalta-se que este perfil de distribuição de temperatura ao longo da espessura da parede não seria ideal para o caso de galpões industriais, uma vez que a curva de incêndio mais adequada para esses casos seria a de um incêndio não compartimentado. Contudo, devido à ausência de uma curva de incêndio não compartimentado na norma ABNT NBR 15200:2012 [3], optou-se por realizar a verificação com esta curva por ser a utilizada em projetos de estruturas de concreto.

Pela Figura 2, conclui-se que a isoterma de 500°C está localizada a, aproximadamente, 20 mm da face exposta ao incêndio para um tempo de exposição de 60 min. Isso implica numa redução de 20 mm da espessura da seção, uma vez que as temperaturas para distâncias menores que 20 mm são maiores que 500°C. Como a armadura longitudinal do painel está localizada no centro da seção transversal, a uma distância de 75 mm da face exposta, não há a necessidade de minoração da resistência à tração do aço.

Para o cálculo do momento resistente, considerou-se que a perda de

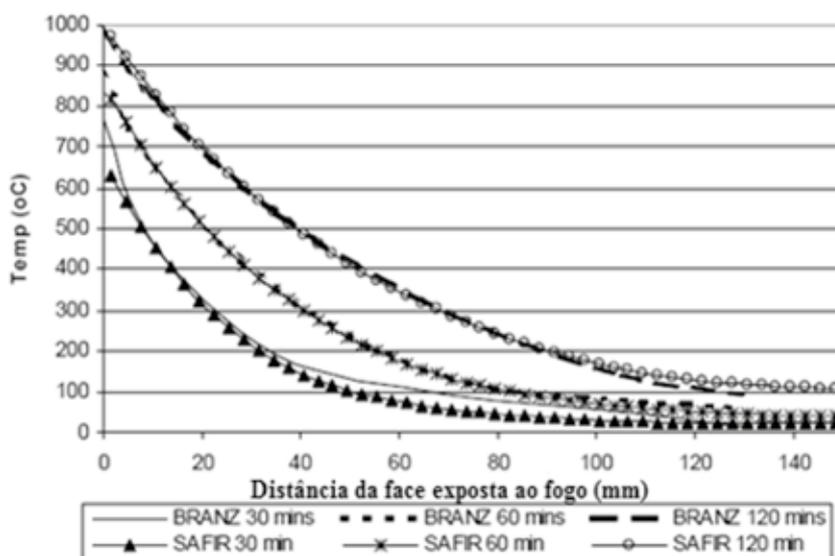
► Tabela 7 – Dimensionamento pelo método das paredes esbeltas do painel com armadura de 12,7 mm à temperatura ambiente

Resultados à temperatura ambiente	Unidade S.I.
Área de armadura estimada (A_y)	3,259 cm ² /m
Área de armadura com barras de 12,7 mm	4,233 cm ² /m
Fator de minoração para o momento resistente Φ	0,883
Área efetiva de armadura vertical (A_{se})	1,490 cm ²
Linha neutra da seção plastificada (a)	1,151 cm
c	1,354 cm
n	7,50
Momento de inércia da seção fissurada I_{cr}	464,098 cm ⁴
Momento resistente (M_r)	5,249 kNm
Momento resistente de cálculo minorado ΦM_n	4,635 kNm
Momento último de primeira ordem (M_{1u})	0,322 kNm
Deflexão do painel (Δ)	39,573 cm
Momento último de cálculo (M_u)	4,243 kNm

concreto ocorre na situação mais crítica de resistência, isto é, na face comprimida do painel, diminuindo a resistência à compressão da seção transversal. Desta forma, a seção residual do concreto fica com uma espessura de 13 cm

e a distância entre o centro da armadura até a fibra mais comprimida é de $d = 7,5 - 2 = 5,5$ cm.

Para o cálculo da solicitação em situação excepcional de incêndio, nem o ACI 318 [4] nem o ACI 551 [5] fornecem uma



► Figura 2

Distribuição de temperatura em uma parede de concreto de agregado silicoso quando exposta ao incêndio padrão da ISO 834:1990 em uma de suas faces [16]



combinação de cálculo específica. Desta forma, adotou-se a combinação última excepcional para situação de incêndio fornecida pela ABNT NBR 8681:2003 [18], conforme a Equação 11.

$$F_{d,fi} = \sum_{i=1}^m \gamma_{g,fi} F_{Gk,i} + \gamma_{q,fi} F_{Qk} + \gamma_{q,fi} \sum_{j=1}^n \psi_2 F_{Qj,k} \quad 11$$

Onde:

$F_{d,fi}$ – valor de cálculo da ação na combinação excepcional;

$F_{Gk,i}$ – valor característico da ação permanente i ;

F_{Qk} – valor representativo da ação térmica (ação excepcional);

$\gamma_{g,fi}$ – coeficiente de ponderação das ações permanentes em incêndio (combinação excepcional) conforme a Tabela 1 da ABNT NBR 8681:2003 [18];

$\gamma_{q,fi}$ – coeficiente de ponderação das ações variáveis em incêndio (combinação excepcional) conforme a Tabela 1 da ABNT NBR 8681:2003 [18];

ψ_2 – fator de combinação utilizado para determinação dos valores reduzidos das ações variáveis conforme a Tabela 6 da ABNT NBR 8681:2003 [18]. A norma ABNT NBR 15200:2012 [3] recomenda que na situação de incêndio o valor de ψ_2 seja reduzido para 0,7 ψ_2 .

No caso de edificações em situação de incêndio e admitindo-se $\gamma_{g,fi} = 1,2$, $\gamma_{q,fi} = 1,0$ e $\psi_{2,vento} = 0$, a Equação 11 pode ser simplificada pela Equação 12.

$$F_{d,fi} = 1,2F_{Gk} + 0,7\psi_2F_{Qk} \quad 12$$

Sendo F_{Qk} as ações decorrentes da sobrecarga na edificação. Assim, no caso de um galpão industrial enquadrado como depósito, adota-se 0,7 $\psi_2 = 0,42$, conforme Tabela 6 da ABNT NBR 8681:2003 [18].

A introdução de coeficientes de ponderação diferentes na ação excepcional de incêndio altera o peso próprio do painel, o carregamento do telhado (P_u) e, conseqüentemente, a força vertical (P'_u) de cálculo mostrada na Tabela 5 e utilizada no dimensionamento à temperatura ambiente. Assim, os novos valores do carregamento na situação de incêndio são apresentados na Tabela 8.

Adotou-se para o coeficiente n usado na Eq. (8) o mesmo valor mostrado na Tabela 7 para a temperatura ambiente, isto é, admitiu-se que não houve alteração na relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto. Isso é razoável neste caso, tendo em vista que o aço apresentou pouco aumento de temperatura e que boa parte da seção transversal do painel apresentou temperatura inferior a 500°C. Utilizou-se, também, o mesmo valor da área de aço estimada (A_s), mostrada na Tabela 7, para o projeto em temperatura ambiente.

Feitos esses ajustes no método, segue-se o mesmo roteiro de cálculo do item 5.1, ou seja, do dimensionamento à temperatura ambiente, porém com os dados da Tabela 5 substituídos pelos valores da Tabela 8. Todos os valores

calculados para a situação de incêndio são apresentados na Tabela 9.

Observa-se da Tabela 9 que, ao se utilizar a mesma taxa de armadura determinada para o painel em temperatura ambiente, isto é, 12,7 mm a cada 30 cm, chega-se que $M_u > \Phi M_n$, ou seja, o painel dimensionado à temperatura ambiente não resiste à exposição do incêndio padrão com duração de 60 min em uma de suas faces. Sendo assim, foi escolhida uma nova taxa de armadura para o painel, constituída por barras de 16 mm a cada 23 cm, posicionadas no centro do painel, resultando em $A_s = 8,678 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Por não estarem relacionados com a área efetiva de armadura vertical, o fator de minoração para o momento resistente (Φ) e o momento último de primeira ordem, $M_{1,u}$, não são alterados com o aumento da taxa de armadura no painel. Assim, recalculando o momento resistente para essa nova taxa de armadura, constata-se que o painel resiste à situação de incêndio. Entretanto, houve um aumento percentual de armadura em relação ao dimensionamento em temperatura ambiente de 105%.

Analisando-se o mesmo painel quando exposto em uma de suas faces a um incêndio padrão com duração de 120 min, conclui-se da Figura 2 que há uma redução de 40 mm da espessura do painel. Portanto, a espessura do painel é reduzida para 11 cm e a distância entre o centro da armadura até a fibra mais comprimida é de 3,5 cm. Com essa redução de seção, a armadura longitudinal ainda não foi afetada, de tal forma que ainda não há minoração da resistência do aço. Aplicando-se o mesmo roteiro de verificação ao painel com uma barra de 16 mm a cada 23 cm, no centro do painel, constata-se que ele não re-

► Tabela 8 – Carregamento utilizado para o dimensionamento do painel em um incêndio com TRRF de 60 minutos pelo método das paredes esbeltas

Carregamento	Por painel
Peso próprio à meia altura (vertical)	105,399 kN
Carregamento vertical do telhado (P_u)	38,662 kN
Força vertical de cálculo (P'_u)	144,061 kN

► Tabela 9 – Dimensionamento pelo método das paredes esbeltas de painel com armaduras de 12,7 mm e 16 mm exposto a um incêndio padrão por 60 minutos

Resultados para um incêndio de 60 minutos	Armadura de 12,7 mm	Armadura de 16 mm
Fator de minoração para o momento resistente Φ	0,882	0,882
Área efetiva de armadura vertical (A_{se})	1,471 cm ²	2,826 cm ²
Linha neutra da seção plastificada (a)	1,135 cm	2,182 cm
c	1,336 cm	2,568 cm
Momento de inércia da seção fissurada I_{cr}	226,846 cm ⁴	369,614 cm ⁴
Momento resistente (M_n)	3,716 kNm	6,401 kNm
Momento resistente de cálculo minorado ΦM_n	3,277 kNm	5,646 kNm
Momento último de primeira ordem (M_{1u})	0,093 kNm	0,093 kNm
Deflexão do painel (Δ)	57,33 cm	60,630 cm
Momento último de cálculo (M_u)	5,283 kNm	5,581 kNm

sistiria a um incêndio padrão com duração de 120 min ($M_u = 5,891$ kNm > $\Phi M_n = 3,141$ kNm).

6. CONCLUSÃO

As normas brasileiras ainda precisam preencher a lacuna existente referente ao dimensionamento de paredes de concreto pré-moldado com grandes índices de esbeltez, como o caso dos painéis *Tilt-Up*. O projeto segundo a norma ABNT NBR 16475:2017 [9] não pode ser aplicado a esse sistema construtivo, tendo em vista que ele vale para paredes com esbeltez menor que 32. Para o caso estudado neste artigo, por exemplo, o painel possuía uma esbeltez igual a 65. Nesta situação, recomenda-se a utilização de códigos de projeto específicos, como o Manual de Construção em *Tilt-Up* da TCA [6] e o ACI 551 [5]. Já, para a verificação da segurança dos painéis em situação de incêndio, a aplicação desses métodos em conjunto com o método das isothermas de 500°C, como proposto neste artigo, mostra-se como uma forma racional de se avaliar a segurança desses painéis, tendo em vista a lacuna ainda existente nas normas para essa verificação.

No exemplo apresentado neste arti-

go, o painel dimensionado à temperatura ambiente pelo método das paredes esbeltas, quando exposto a um incêndio padrão com duração de 60 minutos, não atendeu ao requisito de segurança em situação de incêndio. O painel teve que ser redimensionado, o que gerou um aumento de 105% na armadura de flexão do mesmo para que o critério de segurança fosse atendido. Quando o tempo de incêndio é aumentado para 120 minutos, esse aumento de armadura de flexão não foi suficiente para garantir a segurança do painel em situação de incêndio.

Segundo o método tabular da norma ABNT NBR 9062, para que um painel maciço de concreto atendesse a um TRRF de 60 minutos, ele deveria ter uma espessura mínima de 90 mm. Por outro lado, um painel com 150 mm de espessura deveria atender a um TRRF de, pelo menos, 120 minutos. Os resultados do exemplo apresentado mostram que essas espessuras mínimas são pequenas para o caso de painéis *Tilt-Up*, mostrando a necessidade de melhorar as recomendações de projeto dessa norma para que ela possa ser aplicada ao sistema construtivo com paredes de concreto esbeltas.

Vale ressaltar que o perfil de temperatura no painel *Tilt-Up* quando submetido a incêndio em uma das faces, é um dado necessário para aplicação do método das isothermas de 500°C proposto pelo *Eurocode 2* [7]. Contudo, esse perfil nem sempre está disponível. Por isso, foi utilizado o perfil de temperatura previsto no trabalho de Lim [16] para um incêndio padrão compartimentado. Isso pode tornar a verificação da segurança desses painéis demasiadamente conservadora quando empregados em galpões industriais, uma vez que a curva de incêndio mais apropriada seria a de um incêndio não compartimentado, em que as temperaturas dos gases e, conseqüentemente, a dos elementos estruturais, não são tão altas quanto a do incêndio padrão da norma ABNT NBR 15200:2012 [3].

7. AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Civil João Alberto de Abreu Vendramini pela disponibilização do projeto estrutural de um galpão industrial construído com a técnica *Tilt-Up* e que serviu de base para a proposição do caso de estudo apresentado neste artigo. 📧



▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento. – NBR 6118, Rio de Janeiro, 2014.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. – NBR 9062, Rio de Janeiro, 2017.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. – NBR 15200, Rio de Janeiro, 2012.
- [4] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 R-14). American Concrete Institute. Farmington Hills. 2014.
- [5] ACI Committee 551. *Tilt-Up Concrete Structures* (ACI 551 R-92). American Concrete Institute. Farmington Hills, 2003.
- [6] TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION. The *Tilt-Up* construction and Engineering manual: A comprehensive reference manual for *Tilt-Up* contractors and engineers. 6th Edition. 2004.
- [7] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1992-1-2: Eurocode 2: design of concrete structures – part 1.2: general rules – structural fire design. Brussels: CEN, 2004.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio. – NBR 16055, Rio de Janeiro, 2012.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos. – NBR 16475, Rio de Janeiro, 2017.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças Devido ao Vento em Edificações. – NBR 6123, Rio de Janeiro, 1998.
- [11] TAVARES, T. S.; NOGUEIRA, U.A.. Análise de painéis de concreto armado em situação de incêndio. 2016. 147p. Trabalho de conclusão de curso. Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2016.
- [12] GOIÁS. Lei Estadual n.º 15802, de 11 de setembro de 2006. Institui o Código Estadual de Segurança contra Incêndio e Pânico e das outras providências. Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiás, 2006.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento – NBR 14432, Rio de Janeiro, 2000.
- [14] GOIÁS. Secretaria de Segurança Pública. Copo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Instrução Técnica n.º 14: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. Goiás, 2014.
- [15] GOIÁS. Secretaria de Segurança Pública. Copo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Instrução Técnica n.º 8: Resistência ao fogo dos elementos de construção. Goiás, 2014.
- [16] LIM, LINUS C. S. Stability of precast concrete tilt panels in fire. 2000. Fire Engineering Research Report No. 00/8. School Of Engineering – University of Canterbury. Christchurch, New Zealand, 2000.
- [17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Fire-Resistance Tests – Elements of Building Construction – Part 1.1: General Requirements for Fire Resistance Testing. ISO 834. Geneva: ISO/TC, 1990. [Revision of first edition (ISO 834:1975)]
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas – procedimento. NBR 8681, Rio de Janeiro, 2003.

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

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 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



Estudo da microestrutura do concreto em situação de incêndio: um termômetro da temperatura alcançada

ARNALDO FORTI BATTAGIN

ANA LÍVIA ZEITUNE DE P. SILVEIRA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP)

I. INTRODUÇÃO

Em situação de incêndio, a natureza não combustível e não tóxica do concreto, bem como sua baixa condutividade térmica, colocam-no como vantajoso em relação à maioria dos materiais de construção, funcionando até certo ponto como uma barreira que previne a propagação do calor e do próprio fogo. Nessas condições, as estruturas de concreto resistem por mais tempo durante um incêndio descontrolado, fato que tem impacto positivo no salvamento de vidas.

Entretanto, quando o concreto é submetido a altas temperaturas por longo tempo, pode haver uma deterioração em suas propriedades, como decréscimo da resistência à compressão, decréscimo do módulo de deformação, fissuração e perda da aderência entre a pasta de cimento e os agregados. Nessas condições, paradoxalmente, a baixa condutividade térmica gera gradientes de temperatura entre a superfície exposta ao fogo e o interior do elemento estrutural, que pode resultar em lascamento superficial também conhecido por “spalling”.

A avaliação do concreto danificado pelo fogo geralmente começa com inspeção visual de mudanças de cor, presença de fissuras, *spalling*, etc., mas raramente se recorre a ensaios de laboratório, além da determinação da resistência à compressão residual a partir de testemunhos extraídos da estrutura afetada e outros poucos procedimentos. Entretanto, o estudo da microestrutura pode constituir ferramenta de grande importância para subsidiar as medidas de recuperação.

As mudanças nas propriedades estruturais do concreto não se revertem, pois as transformações nas propriedades físicas e químicas da pasta de cimento e dos agregados causadas pelas altas temperaturas são irreversíveis. Assim, tais mudanças podem ser usadas como indicadores de temperaturas máximas de exposição, com base no exame pós-fogo da microestrutura do concreto. Neste artigo apresenta-se a metodologia adotada nos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para avaliação dos danos causados na microestrutura do concreto como ferramenta para

indicar a estimativa da temperatura máxima atingida pelo concreto na face exposta ao fogo, bem como a profundidade da degradação alcançada. O estudo da microestrutura reveste-se de importância, pois em algumas situações uma estrutura de concreto pode ter sido consideravelmente afetada devido ao incêndio, mesmo que não haja danos visíveis durante uma inspeção de campo.

2. OS DANOS CAUSADOS PELO INCÊNDIO NA MICROESTRUTURA DO CONCRETO

A reação dos compostos anidros do cimento com a água, como os silicatos e ferroaluminatos cálcicos, conduz à formação da pasta endurecida, formada pelos silicatos cálcicos hidratados (C-S-H), aluminatos de cálcio hidratados, hidróxido de cálcio e sulfoaluminatos de cálcio. Num estágio posterior, há formação de carbonato de cálcio, resultante dos fenômenos de carbonatação da pasta. Esses produtos são estáveis em determinada faixa de temperatura, o que faz com que o aumento desta, acima de 100° C, pode resultar



na decomposição da pasta, com perda das propriedades ligantes.

Aliado a esse fato, as pressões originadas pela formação de vapor de água nos poros e as tensões originadas pelos gradientes de temperatura, dependentes das taxas de aquecimento do incêndio, levam à deterioração do concreto, manifestada por desagregação ou esfaleamentos da sua superfície, com desprendimento de camadas superficiais pouco espessas, mas de longa extensão, conhecidas por delaminação, ou até a lascamentos, de ocorrência localizada, algumas vezes explosivos (*spalling*, geralmente entre 250 °C e 400 °C), de formação instantânea e com geração de grandes cavidades no concreto (KALIFA et al, 2000). Mas, o que ocorre propriamente com os constituintes da pasta endurecida quando em situação de incêndio? A Figura 1 correlaciona os aspectos macroscópicos e as transformações dos constituintes da pasta de cimento.

De fato, sob condições de aumento de temperatura, a partir de 80°C, embora visualmente não se observe nenhuma alteração na estrutura do concreto, em escala microscópica começa o fenômeno de desidratação das acículas de etringita cristalizada que, por volta de 100°C, se transforma em etringita amorfa. Por volta de 200°C, com a perda da fase líquida dos poros, começam a ser identificadas feições superficiais de microfissuração, que, no elemento estrutural, fica visível a olho nu por volta de 300°C. Nessa temperatura ocorre a decomposição dos aluminatos hidratados da pasta. Entre 480°C e 550°C, ocorre a desidroxilação da portlandita, que se transforma em cal livre, e a fissuração no elemento estrutural deixa de ser superficial para se tornar mais profunda. Por volta de 570°C, verifica-se o início da fissuração dos agregados quartzosos,

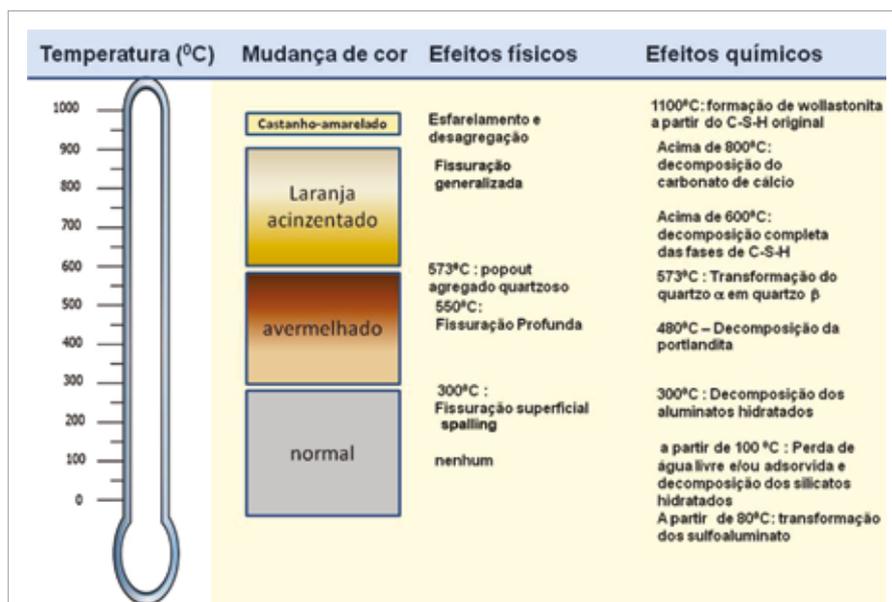
pois ocorre o fenômeno de transformação alotrópica do quartzo α em quartzo β , que embora reversível, leva a um aumento de volume de 0,8%, com forte repercussão nas propriedades físicas do agregado. Por volta de 800°C, é que se inicia a descarbonatação dos agregados calcários, explicando o melhor comportamento ao fogo dos concretos com esse tipo litológico de agregado em relação aos agregados de composição granítica (NEVILLE, 1997). Uma forte porosidade pela perda completa do CO_2 do agregado calcário somente ocorre a partir de 1000°C. Já, os principais minerais do granito (quartzo, feldspato e mica) se comportam de maneira diferenciada frente ao aumento de temperatura, perdendo a coesão entre 800°C e 1000°C, sofrendo forte retração, que leva à fissuração generalizada do agregado. A partir de 1100°C, a pasta de cimento começa a se tornar vitrificada pelo aparecimento das ligações cerâmicas em detrimento das ligações hidráulicas. Como conse-

quência, há formação de wollastonita (silicato de cálcio), a partir do C-S-H original, e de anidrita (sulfato de cálcio anidro), a partir da etringita original. Pela perda das propriedades hidráulicas, ocorrem esfaleamento e desagregação total do concreto do elemento estrutural.

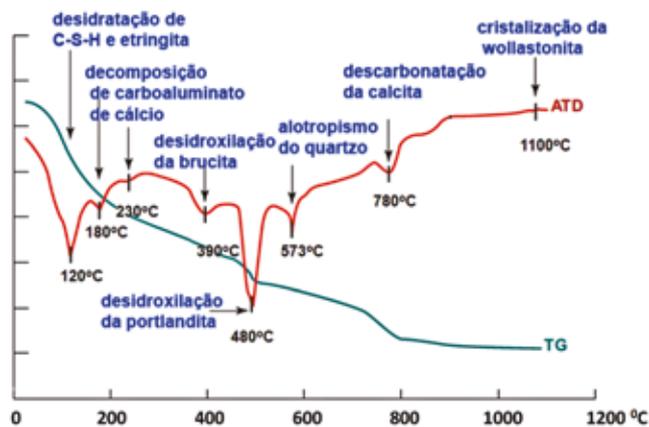
3. OS MÉTODOS ANALÍTICOS DE ESTUDO DA MICROESTRUTURA

3.1 Análises Termodiferencial e Termogravimétrica (ATD/ATG)

As análises termodiferencial e termogravimétrica constituem procedimentos analíticos que permitem estudar o comportamento térmico de determinada amostra sob uma taxa de aquecimento, isto é, determinar a presença e/ou teores dos constituintes suscetíveis a reações químicas ou fenômenos físicos em função do aumento da temperatura. Os resultados das análises podem ser observados



► **Figura 1**
Transformações na microestrutura do concreto com o aumento da temperatura e sua relação com efeitos visuais a olho nu



► **Figura 2**
Termograma com as curvas de ATD/TG de amostra de concreto

a partir de termogramas, que registram as transformações dos constituintes das amostras por meio de picos de reação endotérmicas ou exotérmicas, em relação a uma referência, detectadas por diferenças de temperatura entre a amostra e a referência, picos esses associados ou não à perda de massa.

Nos concretos, os compostos passíveis dessas transformações são, em geral, aqueles presentes na pasta endurecida decorrentes da hidratação/carbonatação do cimento, e, eventualmente, adições, como fíler calcário, escória ou certos materiais pozolânicos. Além disso, é possível detectar a presença de

quartzo constituinte do agregado por suas transformações alotrópicas pelo aumento da temperatura, como também de substâncias orgânicas, como os aditivos redutores de água. A Figura 2 apresenta as curvas de termograma clássico de uma amostra de concreto endurecido, mostrando seu comportamento com aumento da temperatura, isto é, as reações de desidratação e decomposição das fases da pasta hidratada (ATD) e as perdas de massa associadas a essas reações (TG).

Em concretos afetados por incêndio, a depender da temperatura alcançada, espera-se, portanto, a ausência ou diminuição da intensidade dos picos decorrentes dos hidratados de cimento, refletindo a destruição total ou parcial ou transformação destes materiais como consequência das altas temperaturas.

Uma amostra de concreto não é afetada de maneira homogênea sob as condições de incêndio, sendo verificado que a superfície da estrutura com face voltada ao fogo é a mais atingida e, a depender das condições, tempo e temperatura do incêndio, os danos no interior são menores ou mesmo insignificantes do ponto de vista da microestrutura. Por isso, a metodologia de análise consiste na amostragem a partir de diversas profundidades em relação à superfície. Essa metodologia abrange o corte dos teste-

munhos com serra de disco diamantada, porém, a depender do estado de degradação, mais frequentemente essa coleta é feita por meio de uma furadeira, que, com o seu impacto, cominuiu concreto, gerando um pó. Esse material é coletado e separado para análise e, a partir de seus resultados, consegue-se identificar até que profundidade o concreto foi afetado pelo fogo, tornando possível avaliar a temperatura atingida.

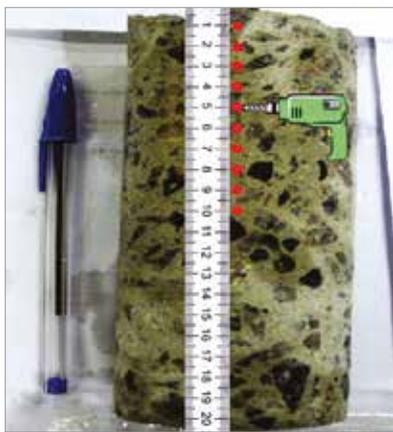
A Figura 3 ilustra o procedimento de amostragem.

No laboratório da ABCP, para a realização das análises térmicas, emprega-se um aparelho de Labsys Evo, marca Setaram (Figura 4), dotado de forno de alta temperatura (até 1600 °C), em geral nas seguintes condições analíticas:

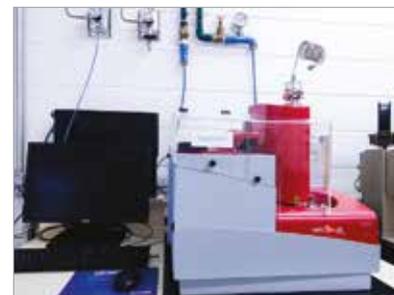
- taxa de aquecimento: 10 °C/min;
- faixa de análise: 30 °C a 1000 °C;
- inerte utilizado: coríndon (Al_2O_3);
- termopar: platina ródio;
- cadinho: platina ródio;
- capacidade do cadinho: 0,05cm³;
- massa das amostras: 30mg ± 0,1 mg.

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise por MEV conduz ao reconhecimento das feições microestruturais e especialmente a distribuição



► **Figura 3**
Imagem ilustrativa da preparação da amostra para análise



► **Figura 4**
Vista geral do aparelho de ATD/TG do laboratório da ABCP



e morfologia das fases, presença de fissuras, avaliação da compacidade e segregações. Quando acoplada com EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), a MEV permite identificar a composição química, apontando elementos químicos na área na qual se encontra o composto mineralógico, tornando possível seu diagnóstico. A técnica foi detalhada no artigo dos mesmos autores, publicado na edição 86 (abril – junho de 2017) desta Revista, com o título *Muito além do controle tecnológico convencional do concreto* (BATTAGIN e SILVEIRA, 2017). Muitas das feições observadas nos permitem deduzir a temperatura alcançada. Assim, ao se reconhecer por MEV, numa amostra de concreto, a presença de cristais aciculares de etringita, isso significa que amostra não superou 100°C (Figura 5), pois a etringita ficaria amorfa acima dessa temperatura, e a ausência de microfissuração é também um fator indicativo de que não se ultrapassou esse patamar de temperatura. Por outro lado, a presença de cristais fraturados de quartzo e de fraturas nas

suas interfaces cristalinas é indicativa de transformações alotrópicas do quartzo, significando que a temperatura foi superior a 570 °C (Figura 6).

Quando o MEV mostra cal livre na pasta, geralmente com morfologia similar a rosáceas, a melhor interpretação é a desidratação da portlandita, com recristalização, que ocorre entre 480 e 550 °C, sugerindo que a temperatura do incêndio superou essa faixa. Já, quando a presença de portlandita é notável (Figura 7), esse fato indica que a temperatura não atingiu 480 °C, que é quando ocorre a perda da água de cristalização desse composto.

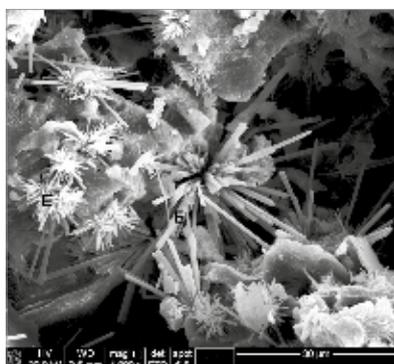
Amostras apresentando aspecto vitrificado, com presença de wollastonita e anidrita superficial, indicam temperaturas da ordem de 1100°C. Por fim, cabe registrar que a ausência de determinadas fases hidratadas esperadas para uma pasta de concreto em condições ordinárias de temperatura é um fator indicativo que a amostra foi submetida a temperaturas acima da faixa de estabilidade das fases hidratadas usuais.

4. ESTUDO DE CASO

Os resultados das análises térmicas de uma amostra de concreto extraída da estrutura de um hospital da cidade de Santo Andre (SP) permitiram determinar os danos provocados por incêndio em distintas profundidades em relação à face voltada ao incêndio. As tabelas 1 e 2 resumem esses resultados.

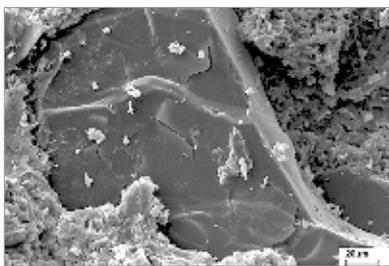
As análises realizadas em porções representativas da amostra, conforme procedimento ilustrado na Figura 3, em diferentes profundidades dos corpos de prova, isto é, desde a porção mais exposta ao fogo até a porção mais protegida, revelaram alterações na microestrutura decorrentes da calcinação causada pelo incêndio.

Na porção mais interna do testemunho (acima de 8 cm a partir da superfície exposta), com base nas Tabelas 1 e 2 foram identificados os compostos calcita, portlandita, aluminatos hidratados, escória de alto forno parcialmente anidra, provavelmente devido ao uso de cimento tipo CP II – E (cimento portland composto com escória de alto forno) ou



► **Figura 5**

Porção interna de amostra de concreto em relação a face exposta ao fogo, observada em MEV, onde a presença de cristais aciculares de etringita indica que amostra não superou 100 °C durante o incêndio



► **Figura 6**

Amostra de concreto coletada após incêndio e observada sob MEV, com presença de cristais fraturados de quartzo e fraturas nas suas interfaces cristalinas oriundas de suas transformações alotrópicas, sugerindo que a temperatura foi superior a 570 °C



► **Figura 7**

Amostra de concreto coletada após incêndio, sob observação em MEV, onde a presença de portlandita na região central indica que a temperatura não atingiu 480 °C

► Tabela 1 – Identificação das reações

Temperatura do pico (°C)	Natureza da reação	Interpretação
30-110	Endotérmica	Perda de água livre e/ou adsorvida e decomposição dos silicatos hidratados
155	Endotérmica	Decomposição dos aluminatos da pasta de cimento hidratada
444-450	Endotérmica	Decomposição do hidróxido de cálcio
555-565	Endotérmica	Transformação do quartzo α em quartzo β
650-695	Endotérmica	Descarbonatação do carbonato de cálcio (CaCO_3)
875	Exotérmica	Provável devitrificação da escória

► Tabela 2 – Perdas de massa determinadas nas amostras analisadas

Identificação da amostra	Perdas de massa nas diferentes temperaturas de análise (%)			
	30-120 °C (Perda de água livre e/ou adsorvida e decomposição dos silicatos hidratados)	120-400 °C (Decomposição dos aluminatos hidratados)	400-600 °C [Decomposição do Ca(OH)_2]	600-800 °C (Descarbonatação do CaCO_3)
prof. 0-2 cm	1,1	–	–	9,2
prof. 2-4 cm	0,8	–	–	9,0
prof. 4-8 cm	5,9	–	1,2	0,9
Acima prof. 8 cm	4,8	3,2	1,2	1,2

CP III (cimento portland de alto forno) e quartzo, constituinte do agregado. Isso indica que a microestrutura está íntegra e a temperatura não chegou a 100 °C nessa região.

Nas regiões entre 4 cm e 8 cm da superfície exposta, reconhecem-se os mesmos minerais identificados nas regiões sãs, com exceção dos aluminatos hidratados, decompostos em

função das temperaturas alcançadas avaliadas em cerca de 300 °C, conforme a ausência de perda de massa mostrada na Tabela 2

Nas amostras retiradas desde a superfície até 2 cm de profundidade, não foi identificada portlandita, nem aluminatos e silicatos hidratados, indicando que a temperatura atingiu valores acima de 480 °C e abaixo de 800 °C. A au-

sência de portlandita pode ser atribuída também à sua carbonatação, ou seja, à geração de carbonato de cálcio a partir da reação do hidróxido de cálcio (portlandita) com o CO_2 presente na atmosfera. Esta inferência é corroborada pelos teores de carbonato de cálcio mais elevados nestas porções da amostra, comparativamente ao determinado nas amostras mais internas. Em suma, as temperaturas mais altas ficaram restritas às partes mais superficiais, estando o concreto completamente íntegro a cerca de 8 cm, informação que, aliada a outras informações de inspeção de campo, foi útil nas ações de recuperação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios da microestrutura do concreto possibilitam a identificação da extensão dos danos causados por incêndio ao concreto, particularizando regiões e espessuras de cada elemento estrutural, permitindo avaliar as partes de uma estrutura que devam ser recuperadas e facilitando a escolha das medidas corretivas necessárias em cada caso, além de identificar elementos estruturais que devam ser substituídos.

As técnicas apresentadas e a correta interpretação dos resultados obtidos podem auxiliar na tomada de decisões para o desenvolvimento de projetos de recuperação que considerem o estado real da estrutura e, portanto, favoreçam uma análise com base em segurança e economia. 

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KALIFA, Pierre; MENNETEAU, François-Dominique; QUENARD, Daniel. Spalling and Pore Pressure in HPC at High Temperatures. Cement and Concrete Research, N° 30. Elsevier Science Ltd. Amsterdam, 2000
- [2] NEVILLE, Adam Matthews. Propriedades do Concreto. 2ª Ed. PINI. São Paulo, 1997.
- [3] BATTAGIN, AF; SILVEIRA, ALZ. Muito além do Controle Tecnológico Convencional do Concreto. Concreto & Construções N° 86. Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, abril-junho, 2017



LEAP: Concretos de baixa pegada de CO₂ com controle avançado de desempenho

RAFAEL G. PILEGGI • VANDERLEY M. JOHN • MARKUS S. REBMANN

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (POLI-USP)

JÚLIA SILVA RAUCCI • MARIANA FIGUEIRA MENEZES • CARLOS JOSÉ MASSUCATO

INTERCEMENT

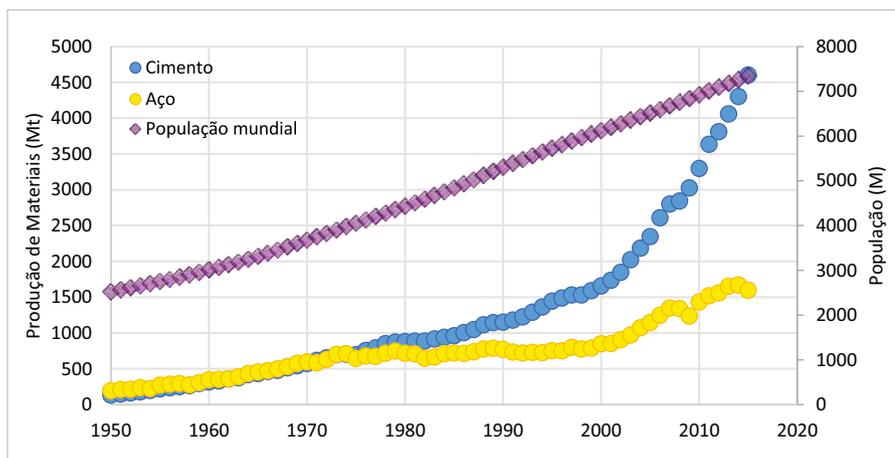
I. INTRODUÇÃO

O cimento Portland é o material artificial mais produzido no mundo atual. A produção de cimento vem crescendo mais rapidamente que a população (Figura 1), atingindo em torno de 575 kg.hab⁻¹.ano⁻¹ em 2015. Esse crescimento decorre da capacidade do cimento em transformar partículas em rochas de virtualmente qualquer forma e dimensão, bem como da abundância dos recursos naturais

envolvidos para sua produção. Essas características únicas tornaram o produto essencial para a produção do moderno ambiente construído, que está relacionado à qualidade de vida dos cidadãos. Nesse sentido, quanto mais cimento é utilizado, melhor é a qualidade de vida. Somada a carência de habitação e de infraestrutura de qualidade com o esperado aumento de população nos países em desenvolvimento, a produção mundial de cimento deverá crescer, atingindo em 2050 entre 5 e 6 bilhões de tone-

ladas. No Brasil a expectativa para o mesmo período está entre 130 e 150 milhões de toneladas (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016) e um pouco menos, 117 milhões de toneladas, segundo os resultados do Mapeamento Tecnológico do Cimento (ABCP, SNIC, 2018).

Como a fabricação do clínquer Portland exige a decomposição térmica do calcário, não é possível produzir cimento Portland sem liberar CO₂ para a atmosfera além daquele emitido durante queima de combustíveis, que, no caso brasileiro é de 564 kg de CO₂ (CSI, 2016). A indústria de cimento vem progressivamente reduzindo as emissões de CO₂, principalmente pela substituição do clínquer por materiais como escória granulada de alto forno e cinzas volantes. Em consequência, estima-se que, em 2014, apenas 67% do cimento brasileiro foi composto de clínquer, sendo a média mundial superior a 75% (CSI, 2016). Assim, o uso de adições combinado com o uso de combustíveis alternativos como biomassa, composta por produtos considerados neutros ou quase neutros



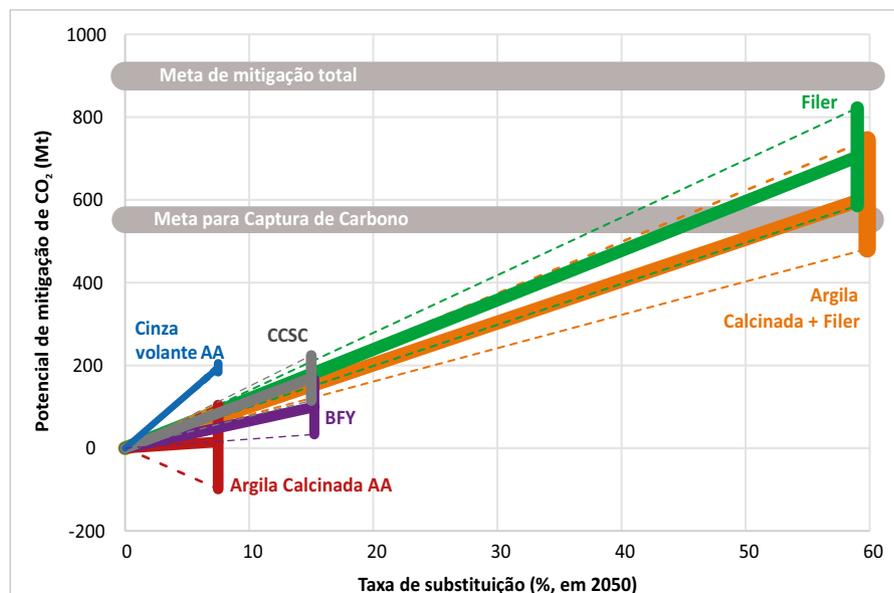
► **Figura 1**

Evolução da produção de cimento e aço comparada com o crescimento da população (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016)

em carbono, levou o cimento brasileiro a apresentar um dos menores fatores de emissão específica de CO₂ do mundo.

No entanto, a oferta de escória de alto forno e cinzas volantes é limitada, tanto globalmente como no Brasil. A geração dessa escória, expressa como fração da produção do cimento, vem caindo (ver Figura 1), sendo que, em 2013, representava menos de 9% da produção global de cimento e por volta de 13% da brasileira. A disponibilidade global de cinzas volantes é de aproximadamente 20% da produção do cimento, sendo a maior parte de baixa qualidade, e sua geração já começou a diminuir em termos absolutos, chegando a cerca de 4% da produção do cimento no Brasil. De forma geral, escórias, incluindo as de outras origens, e cinzas volantes devem representar algo em torno de 20% da produção mundial de cimento em 2050 (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016) e ainda menos no Brasil, cerca de 15% (ABCP, SNIC, 2018).

Mantidas as práticas atuais, a combinação do aumento da demanda por cimento com redução progressiva da disponibilidade dos tradicionais substitutos do clínquer, o baixo potencial de maiores ganhos com eficiência energética e o custo e limitações de disponibilidade de combustíveis neutros em CO₂, espera-se em âmbito mundial um forte crescimento das emissões de CO₂ do setor no futuro. No entanto, os acordos do clima estabelecem para 2050 metas de redução dos valores absolutos das emissões de gases do efeito estufa equivalentes a 18% das



► **Figura 2**

Potencial de mitigação de CO₂ em âmbito mundial das principais tecnologias identificadas como competitivas em função da sua taxa de substituição em 2050 (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016)

emissões do ano 2006 (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016). Para viabilizar uma redução absoluta das emissões de CO₂ será necessário capturar cerca de 600 Mt de CO₂ em 2050, o que exigiria um investimento em torno de US\$500 bilhões, aumentando o custo do cimento entre 15 e 30%¹.

Um estudo sistemático de estratégias de mitigação alternativas à captura de carbono, que sejam ecoeficientes, com baixo custo, baixo impacto ambiental e escaláveis foi conduzido pelo grupo de trabalho do Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas entre 2015 e 2016 (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016), reunindo 23 cientistas de 20 países. O estudo concluiu que existem soluções técnicas que, se forem introduzidas por investimentos em P&D, têm potencial de mitigação de

CO₂ que ultrapassa as metas do setor. As duas tecnologias escaláveis de maior potencial de mitigação foram a substituição de clínquer Portland por filer e por misturas de filer e pozolana de argila calcinada, com a vantagem adicional de preservarem investimentos em fábricas equivalentes a cerca de meio trilhão de dólares. O potencial de novos cimentos que não Portland, foi considerado limitado dada a necessidade de investimentos elevados, limitação de matérias primas – como cinzas volantes e silicatos de sódio e bauxita (BYF), limitações a mercados de pré-fabricados (no caso da cura térmica de cinzas volantes e argilas calcinadas com ativação alcalina e dos cimentos que endurecem por carbonatação acelerada – CCSC – em vasos de pressão) ou por custo elevado (BYF, cinzas volantes com ativação alcalina

¹ ASSUMINDO O CUSTO DE PRODUÇÃO DO CIMENTO TÍPICO DE US\$30/t E O CUSTO DA CAPTURA DO CO₂ ENTRE US\$40 E 80/t (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016, p. 6).



e possivelmente CCSC). A pesquisa que embasa o Mapeamento Tecnológico da Indústria de Cimento Brasileira, em fase final de elaboração, também concluiu que, dadas as limitações futuras de oferta de escória e cinzas volantes, um aumento na adição de fíler é a solução com o maior potencial de mitigação (ABCP, SNIC, 2018) (Figura 2).

Fíleres são materiais moídos que dispensam a etapa de calcinação, a qual é responsável por pelo menos 90% do consumo de energia e da emissão de CO₂ na produção de cimento. Como os fíleres são materiais de baixo impacto ambiental, com pegada de CO₂ abaixo de 20 kg/t (cimentos convencionais possuem pegada de 200-870 kg/t), a sua introdução permite uma substancial redução da pegada de CO₂ dos materiais cimentícios.

Este trabalho pretende discutir os fundamentos da tecnologia LEAP (*Low-Emission Advanced Performance*), que substitui ligantes por fíleres, permitindo a mitigação de CO₂ na cadeia do cimento a baixo custo e, simultaneamente, otimizando o desempenho dos produtos cimentícios.

2. FÍLERES E A TECNOLOGIA LEAP

2.1 Experiência de cimentos com fíler

É provável que a Espanha, a França e a Alemanha tenham sido as pioneiras em introduzir o uso sistemático de fíleres na década de 1960 e 1970. Durante a crise do petróleo nos anos 70, a Alemanha elevou o limite de 20% para 35%, valor que foi adotado pela normalização europeia

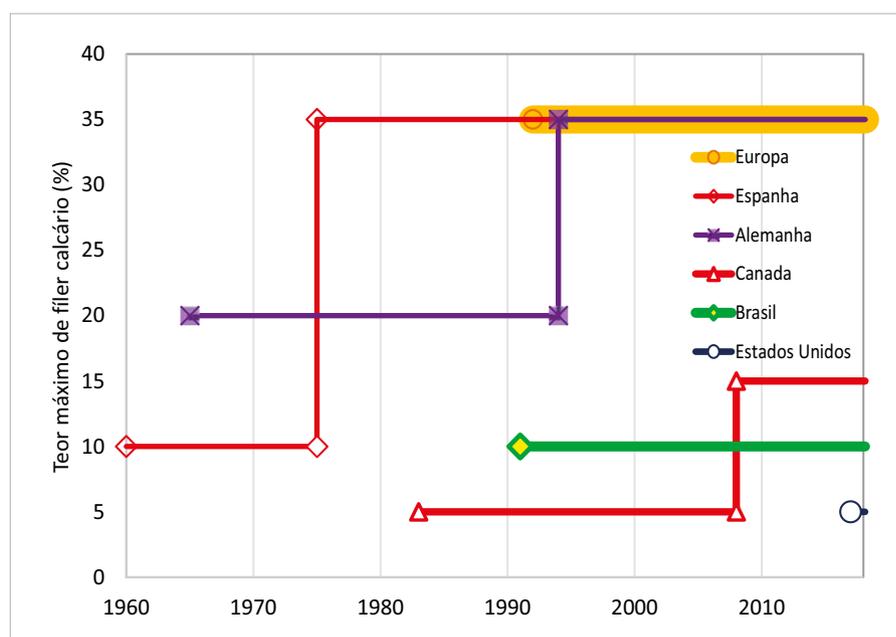
no início dos anos 90 e permanece até hoje. A normalização brasileira introduziu fíler nos cimentos no início dos anos 1990, com um limite máximo de 10% para o cimento CP II e de 5% para os demais, valores mantidos até a data de hoje. Recentemente outros países, como África do Sul e México, adotaram os limites Europeus (Figura 3).

A adição de até 35% de fíleres calcários ao cimento é uma tecnologia consolidada, contando com larga experiência internacional. A normalização europeia permite utilizar em estruturas cimentos CEM II/B-LL, que possuem até 35% de fíler, exceto em alguns ambientes agressivos. Atualmente a quantidade de fíler utilizada pela indústria cimenteira mundial é de 7%, sendo superior à de escória (5%) e cinzas volantes (4%). O teor médio de fíler no mercado europeu é de 6%, valor similar ao Brasil, apesar do limite máximo de substituição ser bem

menor (1/3 do europeu) (CSI, 2016). Esses dados revelam ainda uma limitação do uso potencial da tecnologia corrente de substituição de ligantes por fíleres, particularmente em mercados onde o principal uso do cimento é industrial. A realização do potencial de mitigação previsto na Figura 2 exige uma nova estratégia de adição de fíleres.

2.2 Fíleres em cimentos, argamassas e concretos LEAP

Do ponto de vista do uso do cimento em produtos, os fíleres colaboram com uma das funções essenciais do cimento: formar uma pasta que preenche o espaço entre os grãos de agregados, dando coesão e fluidez ao sistema. Tem, portanto, potencial para aumentar a eficiência do uso do cimento, reduzindo a quantidade de material reativo e de



► **Figura 3**

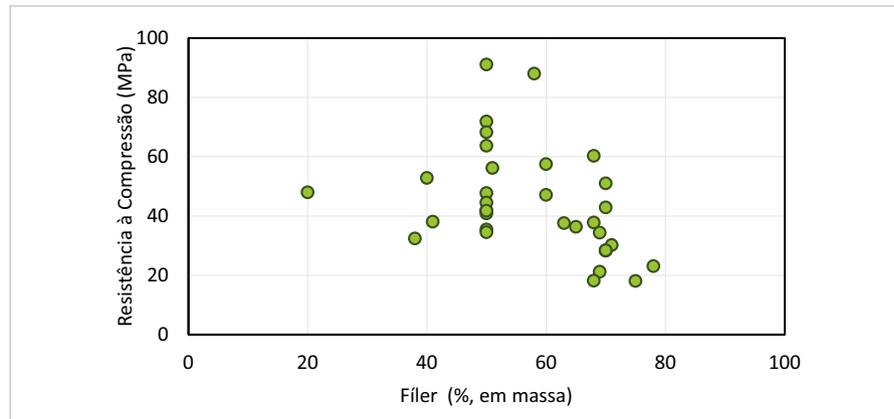
Evolução do teor máximo de fíler calcário na normalização de países e regiões selecionadas – (JOHN *et al.*, 2017)

alto impacto ambiental necessária para formular produtos.

Avanços no conhecimento sobre empacotamento, novas tecnologias de caracterização de partículas para seleção de materiais mais adequados e o surgimento de dispersantes e outros aditivos, permitem uma redução de até 50% na quantidade de água necessária, mantendo propriedades reológicas adequadas, quando comparada à tecnologia tradicional. A porosidade final de um produto cimentício endurecido é em grande parte associada ao volume de água no estado fresco para obter a trabalhabilidade desejada, desconhecida a água fixada na hidratação.

Dependendo do projeto de granulometrias, das propriedades das matérias-primas e da eficiência na dispersão, é possível reduzir a quantidade de água a ponto de compensar a diluição do clínquer ocasionada pela introdução de fileres. Isso decorre do fato da resistência final de um produto cimentício ser em grande parte associada à sua porosidade no estado endurecido. Por esta razão, não existe qualquer correlação direta entre o teor de substituição de ligantes por fíler e a resistência do concreto (Figura 4). Caso a taxa de redução de água seja superior à taxa de redução de ligantes, a resistência deverá crescer, apesar da redução do teor de ligantes totais (DAMINELLI, 2013; JOHN et al., 2017).

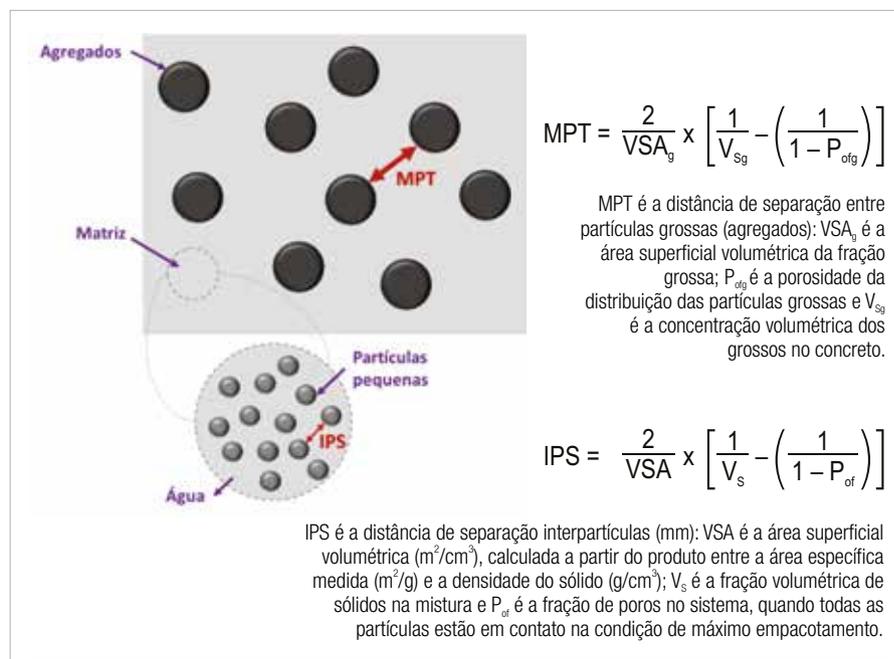
A tecnologia LEAP envolve a otimização de formulações na escala pasta e agregados, para garantir a desejável fluidez com o mínimo teor de água e ligantes, mantendo os requisitos de resistência mecânica e durabilidade. Essa otimização utilizando conceitos de empacotamento



► **Figura 4**
Influência do teor de fíler na resistência à compressão de concretos (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016)

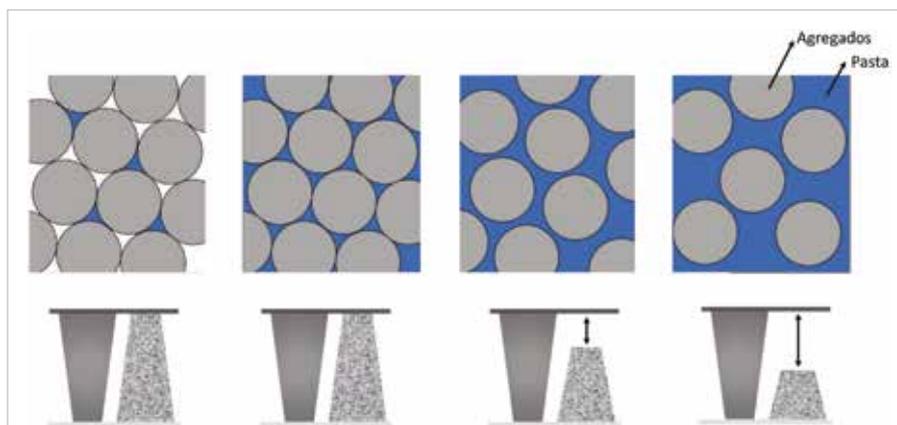
não é uma estratégia nova. Contudo, sistemas cimentícios com menores teores de água tendem a ter comportamento reológico mais complexo, algo que é acentuado em processos de produção e aplicação de produtos cimentícios.

Do ponto de vista industrial, para tornar essa abordagem uma realidade prática, é necessário rever como são feitos os controles de qualidade, tanto em termos dos ensaios que são usados como controle quanto as tolerâncias permissíveis, e o desenho



► **Figura 5**
Modelo microestrutural de uma suspensão cimentícia, como o concreto, por exemplo, incluindo suas equações de cálculo de distância de separação (ROMANO; CARDOSO; PILEGGI, 2011): MPT entre os agregados (partículas > 100mm); IPS entre os finos (partículas < 100mm)





► **Figura 6**
 Ilustração das etapas de preenchimento de vazios, recobrimento de superfícies e afastamento das partículas grossas (agregados) e o esperado impacto no abatimento dos concretos

de produtos cimentícios usando empacotamento de partículas, considerando desde a fabricação de cimento até o desempenho em uso dos produtos.

2.3 Modelo bifásico dos concretos

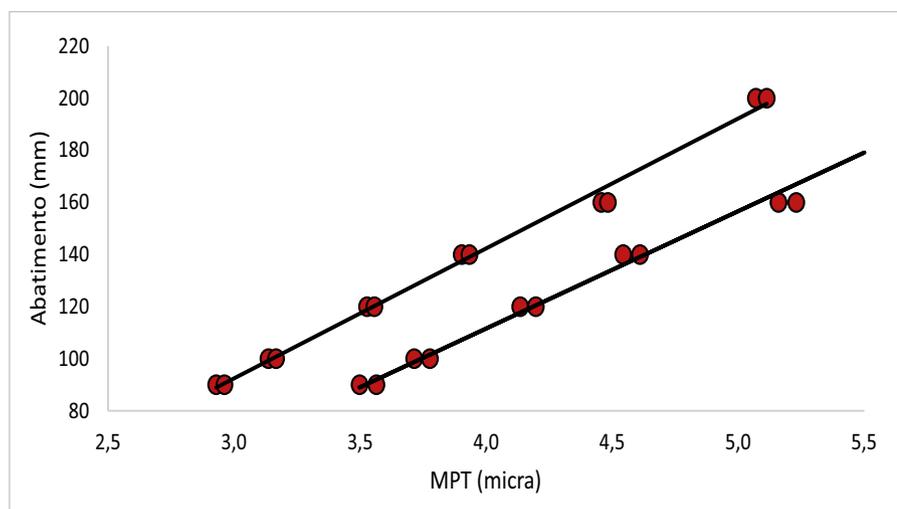
Ao se aplicar esses conceitos aos produtos cimentícios é importante

considerar o modelo microestrutural no estado fresco, incorporando todas as partículas presentes na mistura. Conceitualmente essas partículas podem ser entendidas como suspensões bifásicas, onde os agregados ($>100\mu\text{m}$) estão imersos em uma pasta constituída pelas partículas pequenas ($< 100\mu\text{m}$) e o líquido (água), como ilustrado na Figura 5. As partículas maiores se movimentam na pasta

sob domínio de forças mássicas, enquanto as menores se movimentam na água sob ação de forças de superfície. Quanto maior a distância de separação entre as partículas dentro de sua fase, maior a mobilidade das mesmas em suspensão. A distância entre os agregados, denominada “Maximum Paste Thickness – MPT”, e a distância entre os finos, “Interparticle Separation Distance – IPS” podem ser calculadas por equações específicas (ROMANO; CARDOSO; PILEGGI, 2011), permitindo estabelecer o potencial de mobilidade das suspensões.

A ideia de formular concretos prevendo seu abatimento por meio do cálculo da espessura da camada de pasta ao redor dos agregados (MPT) não é nova (Figura 6), sendo adotada por Powers na década de 1960 (POWERS, 1968), sabendo-se que quanto maior o MPT, mais fluido o concreto (Figura 7). O equacionamento de Powers calcula a espessura de pasta baseando-se somente em granulometria, desprezando as outras propriedades das partículas. A equação mais recente de MPT constitui um avanço por incorporar os efeitos da área específica e da densidade, além da porosidade prevista pelo empacotamento e do teor de sólidos em suspensão no cálculo.

Considerando a natureza bifásica dos concretos, a mobilidade de suas partículas decorrerá de ambas as fases, ou seja, dos agregados inseridos na pasta (MPT) e das partículas finas imersas na água (IPS). Essa conceituação é ilustrada para o caso de um cimento na Figura 8. A incorporação dos fileres de performance (partículas menores que o clínquer) em quantidade adequada reduz os vazios entre os grãos maiores, em



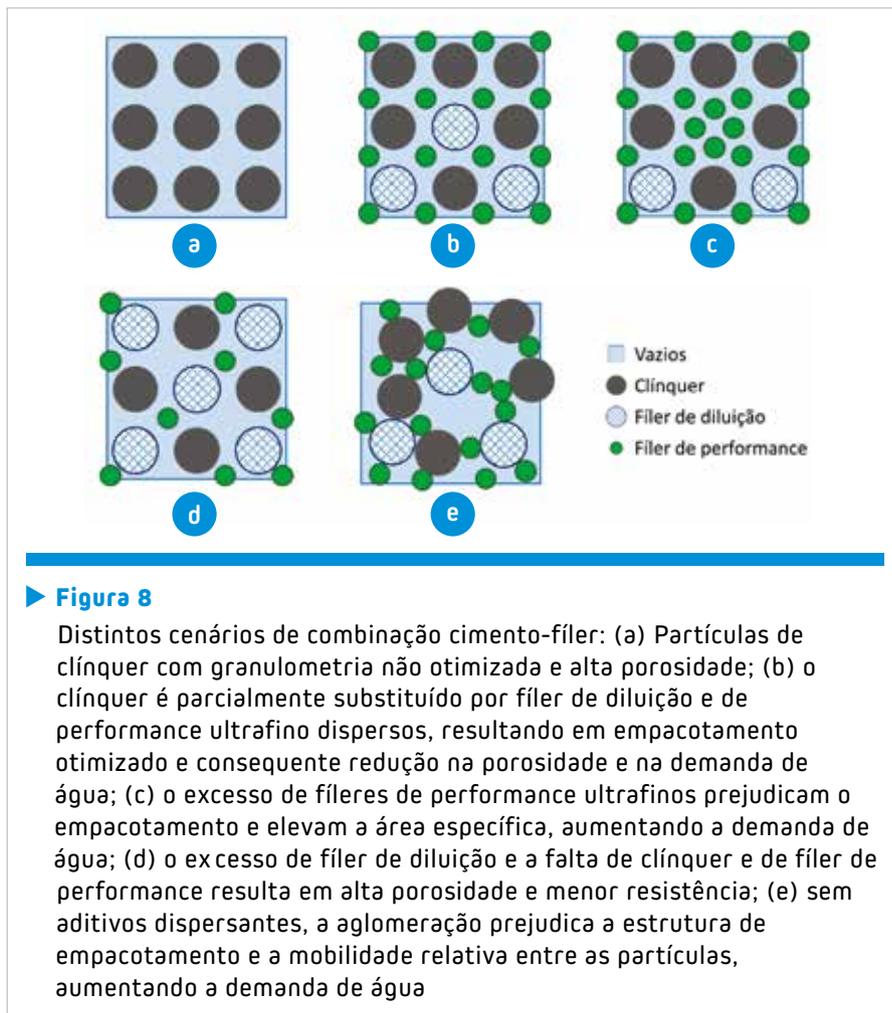
► **Figura 7**
 Valores de abatimento (mm) em função do MPT (microns) calculado a partir das informações de dosagem e das matérias-primas empregadas

sistemas dispersos. Diminui-se, assim, a demanda por água para obter as consistências desejadas, desde que o benefício da redução de porosidade não seja prejudicado pelo aumento na área específica devido aos finos, como equacionado no cálculo do IPS. Dessa maneira, resistências maiores são possíveis, abrindo espaço para substituição de parte do clínquer por fíleres de diluição (granulometria equivalente ao clínquer).

O conceito central para formulação de pastas cimentícias com natureza LEAP baseia-se, portanto, na obtenção de elevados valores de IPS com reduzido teor de água. Essa abordagem abre espaço para incorporação sistemática de matérias-primas alternativas às misturas cimentícias, acentuando ainda seu potencial de ecoeficiência.

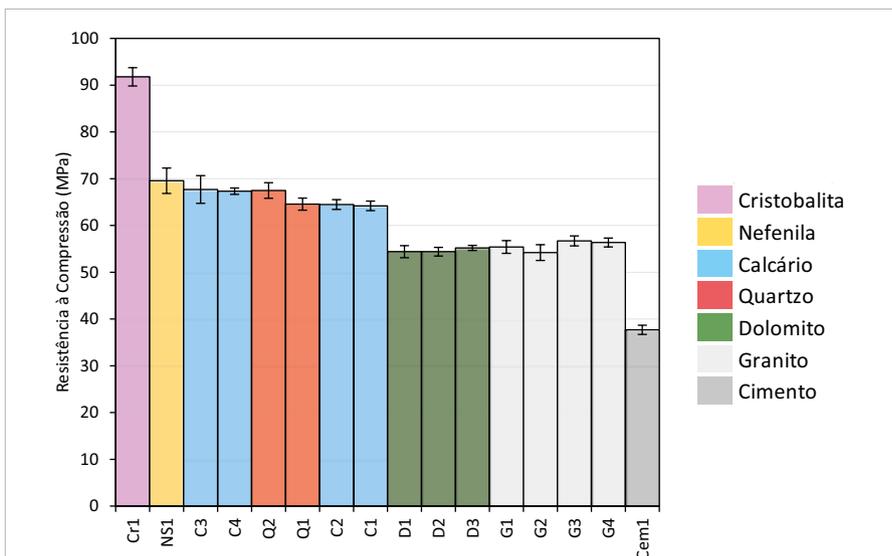
2.4 Opções de fíleres e eficiência em composições cimentícias

Do ponto de vista técnico, qualquer produto inorgânico pode cumprir papel de fíler. A literatura reporta experiências com fíleres de calcário, quartzo (embora ofereçam conhecidos riscos à saúde), rutilo, dolomito, granito, cristobalita, nefelina, wollastonita, entre outros. A Figura 9 apresenta resultados de resistência mecânica de pastas de cimento Portland com diferentes tipos de fíleres. No experimento (Damineli, 2013), o ajuste de mobilidade das pastas cimentícias dispersas possibilitou a substituição de grande parcela de clínquer (50%), obtendo grandes benefícios em resistência mecânica. Em resumo, eficiência no empacotamento das partículas, minimização



► **Figura 8**

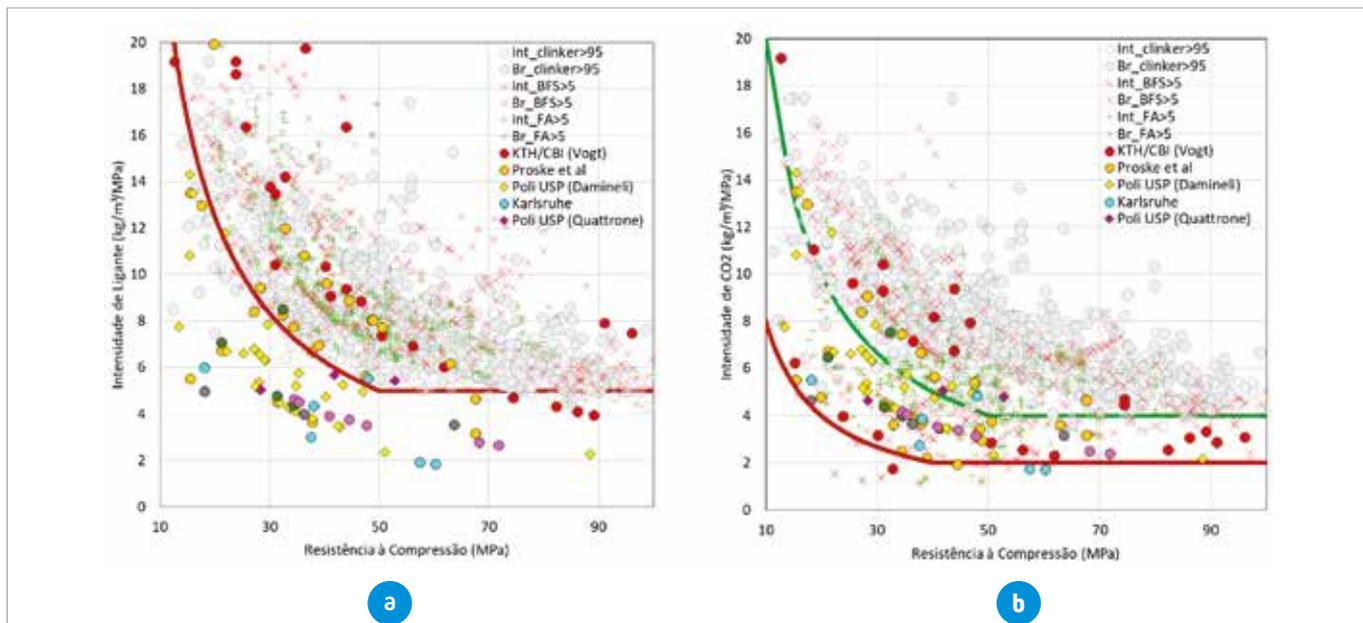
Distintos cenários de combinação cimento-fíler: (a) Partículas de clínquer com granulometria não otimizada e alta porosidade; (b) o clínquer é parcialmente substituído por fíler de diluição e de performance ultrafino dispersos, resultando em empacotamento otimizado e consequente redução na porosidade e na demanda de água; (c) o excesso de fíleres de performance ultrafinos prejudicam o empacotamento e elevam a área específica, aumentando a demanda de água; (d) o excesso de fíler de diluição e a falta de clínquer e de fíler de performance resulta em alta porosidade e menor resistência; (e) sem aditivos dispersantes, a aglomeração prejudica a estrutura de empacotamento e a mobilidade relativa entre as partículas, aumentando a demanda de água



► **Figura 9**

Influência da mineralogia dos fíleres na resistência à compressão de pastas cimentícias aos 28 dias (relação água / ligante = 0,5) (DAMINELI, 2013)





► **Figura 10**

Comparação de formulações de concreto com alto teor de fíleres e baixa demanda de água com um *benchmark* global — (JOHN *et al.*, 2017). As formulações com elevado teor de fíleres são representadas em cores mais escuras. (a) Intensidade de ligante versus resistência à compressão; (b) intensidade de CO₂ versus resistência à compressão; as linhas vermelhas identificam os limites do *benchmark* para concretos convencionais. A linha verde em (b) identifica os limites inferiores da pegada de CO₂ de concretos feitos com clínquer puro

da área específica e a criação de forças repulsivas (aditivos dispersantes) são os aspectos críticos na redução do consumo de água na pasta.

O emprego dessa abordagem microestrutural no estado fresco na formulação de concretos permite com-

binar maximização de MPT e IPS com dispersão de partículas. Como resultado, é possível obter composições com reduzido teor de água para a trabalhabilidade demandada, o que resultará em sistemas com elevada eficiência no uso do clínquer e me-

nor impacto ambiental. A Figura 10 (a) apresenta um gráfico de intensidade de ligantes versus resistência à compressão, tornando evidente o potencial dessa abordagem. Os pontos abaixo da linha vermelha se referem a formulações eficientes em sua classe de resistência,



► **Figura 11**

Fotos da aplicação em uma obra-piloto de um concreto LEAP bombeável, produzido em central de concreto

as quais adotam o conceito de mobilidade em sua concepção. Os impactos em emissões de CO₂ dessas formulações são apresentados na Figura 10 (b), em função da resistência à compressão das composições.

Essa tecnologia deverá permitir não apenas a formulação de concretos com baixas emissões de CO₂ associadas ao seu ciclo de vida, mas também um controle muito avançado do desempenho do produto, razão do acrônimo *LEAP* “*Low-Emission Advanced Performance*”. O teor de filer influencia a porosidade do concreto, e por consequência, a retração por secagem e a fluência para um mesmo volume de pasta. O módulo de elasticidade se torna menos dependente da resistência mecânica, pois é possível manter o volume de agregados constante e elevado. Apesar da redução do teor de ligante afetar a reserva alcalina, o que tende a acelerar a carbonatação, esses concretos apresentam menor porosidade total, mantida a resistência, e menor volume de pasta, o que tende a compensar a redução da reserva alcalina. Em aplicações nas quais não existe necessidade de proteção de armaduras, a maior velocidade de carbonatação é uma vantagem, pois os produtos capturam CO₂ atmosférico, colaborando com a mitigação de emissão de CO₂.

3. TECNOLOGIA LEAP EM CENTRAIS DE CONCRETO

A tecnologia *LEAP* é resultado de um processo de racionalização e uso de uma maior quantidade de informações no processo de formulação, mas não depende de materiais especiais para ser implementada. A Figura 11 apresenta imagens de uma concreta-

gem de um concreto *LEAP* bombeável, formulado com materiais comuns de uma central de concretos em São Paulo, acrescido de um filer transportado em caminhão betoneira e lançado em uma obra na mesma cidade. Toda a operação foi tratada como um teste de campo que, obrigatoriamente, se utilizaria de toda a tecnologia convencional. O projeto de granulometria, a seleção do tipo e do teor do filer e a estratégia de dispersão foram implementados na lógica de maximização de IPS, visando obter um concreto convencional *LEAP*. A formulação atendeu à ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655, atingindo o valor de 4,5 kg.m⁻³.MPa⁻¹ como índice de ligantes.

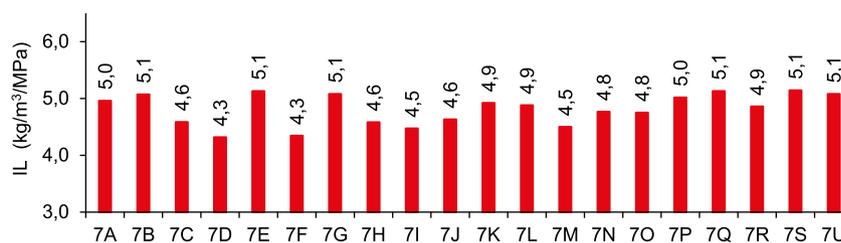
O emprego da abordagem microestrutural por meio do controle de MPT e IPS associados à garantia de dispersão nos finos responde pela robustez dos concretos *LEAP* em escala comercial, zelando por sua eficiência ambiental. A Figura 12 apresenta os valores do índice de ligantes de uma classe de concretos, produzidos com lotes diferentes de materiais, conforme empregados em uma central dosadora. Comparando-se com a Figura 10(a), todos os lotes apresentaram excelente grau de ecoeficiência, demonstrando a compatibilidade dessa tecnologia com as

centrais dosadoras existentes no país.

4. DESAFIOS DA TECNOLOGIA

A tecnologia *LEAP* está em desenvolvimento e os benefícios econômicos e ambientais dela dependem da superação de barreiras tecnológicas e de mercado. Do ponto de vista da pesquisa, os desafios estão relacionados a uma melhor compreensão de como controlar e projetar formulações considerando o desempenho global ao longo da vida útil. O desenvolvimento de técnicas de caracterização de ligantes, fileres e agregados que sejam mais completas e diretamente relacionadas com o desempenho durante a aplicação e o uso é também fundamental. Observa-se aqui que muitas das técnicas de controle de qualidade utilizadas são centenárias, particularmente em agregados. Técnicas de processamento têm sido tradicionalmente negligenciadas pela comunidade, mas têm um grande potencial em trazer ainda mais benefícios. No campo do controle reológico, por exemplo, a aplicação de reometria rotacional em pastas e concretos (Figura 13) é um avanço substancial, embora ainda não esgote a necessidade de caracterização mais global da trabalhabilidade.

Do ponto de vista do mercado,



► **Figura 12**
Intensidades de ligantes (IL) obtidas em concretos produzidos em condições de variabilidade de matérias-primas encontradas em central de concreto comercial





► **Figura 13**

Equipamentos para controle reológico avançado: reômetros para pastas (esquerda) e concreto (direita)

um grande desafio é a formação de recursos humanos para melhor explorar a tecnologia. Técnicas de monitoramento de processos, com suporte de sistemas de inteligência artificial, podem trazer grandes benefícios ao controle de materiais. Outro desafio é resolver os problemas que levam a eventuais

incompatibilidades com aditivos, que ainda hoje ocasionam variações de qualidade.

Finalmente, para que todo o potencial possa ser explorado, será necessário aperfeiçoar a normalização de insumos e produtos, em especial as normas prescritivas que limitam a introdução de tecnologias como

a *LEAP*. O desenvolvimento de um conjunto de normas baseadas em desempenho é um caminho que precisa ser buscado.

5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pela InterCement e FAPESP processo nº 2016/05278-5. ◀

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABCP, SNIC Mapeamento Tecnológico do Cimento - Brasil 2050. São Paulo, 2018 (em publicação)
- [2] DAMINELI, B. L. Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
- [3] JOHN, V. M.; DAMINELI, B. L.; QUATTRONE, M.; PILEGGI, R. G. Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances and future potential. *Cement and Concrete Research*, 2017.
- [4] POWERS, T. C. *The properties of fresh concrete*. New York: Wiley, 1968.
- [5] ROMANO, R.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Propriedades do concreto no estado fresco. In: *Concreto: ciência e tecnologia*. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1.
- [6] SCRIVENER, K.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. Eco-efficient cements: Potential, economically viable, solutions for a low-CO2, cement-based materials industry. Paris: UN Environment, 2016.

Concreto reforçado com fibras em situação de incêndio

RAMOEL SERAFINI – ENGENHEIRO CIVIL, MESTRANDO

DIMAS ALAN STRAUSS RAMBO – ENGENHEIRO CIVIL, PROFESSOR NA UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU E PESQUISADOR DE PÓS-DOUTORADO

ANTONIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO – ENGENHEIRO CIVIL, PROFESSOR ASSOCIADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

I. INTRODUÇÃO

Concretos reforçados com fibras (CRF) são, por definição, compósitos produzidos a partir de cimento hidráulico, agregados de diferentes dimensões e reforço fibroso (contínuo ou descontínuo). Hoje, a perspectiva de aplicação deste “novo material para estruturas”, definição dada pelo *fib Model Code 2010*, se estende a diversos elementos estruturais, entre os quais podem ser citados: pórticos, lajes, vigas, pilares, estacas, aduelas de túneis, concreto projetado, concreto pré-moldado, entre outros.

Sabe-se que a garantia da segurança estrutural e a preservação do bem social são princípios básicos da engenharia.

Neste contexto, torna-se particularmente interessante o estudo do comportamento do CRF frente a vários aspectos, dentre os quais deve-se destacar seu comportamento frente ao fogo. Dependendo da intensidade do fogo, tanto o concreto quanto o reforço, têm suas propriedades mecânicas diminuídas, uma vez que a elevação da temperatura afeta a microestrutura de ambos os materiais. O desenvolvimento das temperaturas no CRF, por sua vez, dependerá do cenário de incêndio propiciado pela estrutura em questão.

Frequentemente, curvas nominais de incêndio, representadas por equações simplificadas, são utilizadas para padronizar as temperaturas em testes reais de resistência ao fogo e simulações. Dentre as principais curvas nominais presentes na bibliografia pode-se citar a curva-padrão (*standard curve*) para incêndio de materiais celulósicos; a curva “H” (*hydrocarbon curve*) para incêndio em hidrocarbonetos; e a curva de incêndio externo (*external fire curve*). A Figura 1 apresenta as diferenças entre as principais curvas de incêndio.

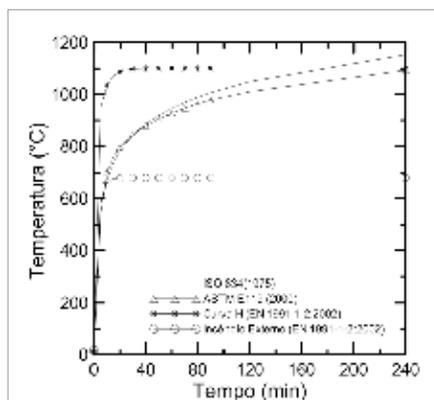
Apesar da existência de testes de resistência ao fogo e curvas padrão de incêndio, as normas atuais carecem de critérios técnicos para a avaliação do comportamento dos CRF quando submetidos a este tipo de condição. Além disso, não abordam a implicação do incêndio na segurança estrutural do CRF

nem apresentam modelos de previsão de comportamento, devido à falta de estudos específicos sobre o assunto [1, 2]. A utilização de CRF no revestimento de túneis, por exemplo, apesar de prevista, tem recebido pouca atenção quanto à avaliação do efeito do incêndio nas propriedades mecânicas residuais (pós-incêndio) da estrutura [2].

Este conjunto de fatos evidencia, portanto, a necessidade de trabalhos que tratem do comportamento mecânico de CRF distintos em situação de incêndio e da elaboração e validação de modelos de previsão de comportamento para este tipo de estrutura. No presente trabalho, são apresentadas as principais alterações dos componentes do CRF que afetam o comportamento global do compósito durante e após sua exposição ao fogo.

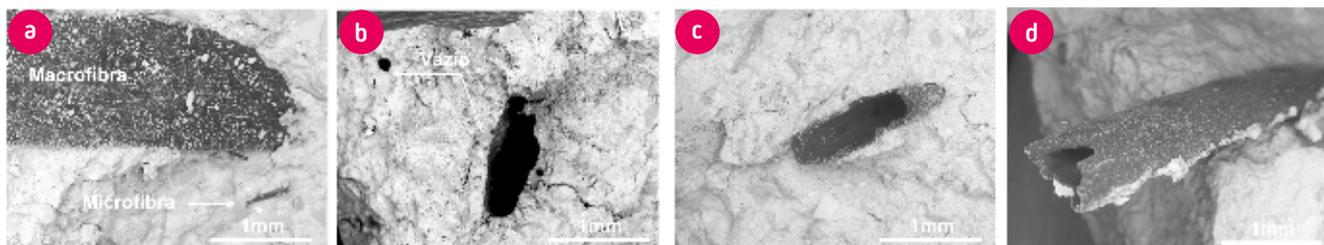
2. MATRIZ CIMENTÍCIA E AGREGADOS

As características da matriz afetam o comportamento dos compósitos e, portanto, podem gerar alterações significativas do comportamento do CRF. O aumento da temperatura produz significativas alterações na composição química e microestrutura da pasta de cimento Portland endurecida. Conforme há o aumento da temperatura, a água livre presente no concreto é expelida até a temperatura de cerca de 100°C. Em temperaturas



► **Figura 1**
Principais curvas de incêndio padronizadas existentes na literatura (Fonte: autores)





► **Figura 2**

Interface entre macrofibra sintética e matriz, sendo (a) temperatura ambiente e após aquecimento até 400°C em diferentes zonas do CRMFS: (b) Zona 1 (c) Zona 2 (d) Zona 3 (adaptado de [6])

superiores, inicia-se a liberação da água combinada dos produtos de hidratação do cimento Portland, ocasionando sua decomposição, que se estendem até cerca de 800°C, com a descarbonatação do carbonato de cálcio, geralmente sob a forma de calcita. Os principais produtos que desidratam são: etringita (~100°C), acompanhada do monossulfato (faixa extensa entre ~50°C e ~800°C), portlandita (~450°C) e o silicato de cálcio (C-S-H), que desidrata em uma longa faixa de temperaturas (50°C até 600°C ou mais) devido à perda de água interlamelar e desidroxilação [3]. Como resultado dessas alterações químicas e microestruturais, o concreto de cimento Portland tem, em geral, suas propriedades mecânicas impactadas negativamente. As principais alterações experimentadas pela matriz cimentícia após exposição ao fogo são: fissuração, deformação excessiva, redução da resistência à compressão, desintegração da pasta endurecida, perda de aderência entre agregados e pasta, além de possível fragmentação explosiva.

O comportamento do concreto quando submetido a elevadas temperaturas é altamente dependente do tipo de agregado presente em sua composição. Agregados silicosos (contendo quartzo) são muito comumente utilizados na construção civil. O quartzo, por sua vez, apresenta um aumento de volume devido à transformação cristalina do α -quartzo (trigonal) para β -quartzo (hexagonal) em torno de 575°C. Esses processos de expansão-retração causam microfissurações na

matriz cimentícia e agregados, os quais afetam a integridade da estrutura. A maioria dos agregados não silicosos, como o calcário, é estável até os 600°C-650°C. Agregados especiais, como argilas expandidas, vermiculitas, perlita expandida e aluminas, em geral, apresentam coeficientes de expansão térmica mais próximos e até compatíveis com a pasta de cimento. Isto faz com que a taxa de perda de resistência residual (pós-incêndio) seja menor em concretos contendo este tipo de agregados, em comparação a concretos com agregados convencionais.

3. PROPRIEDADES DAS FIBRAS E DA INTERFACE FIBRA-MATRIZ

As fibras mais comumente utilizadas no mercado são as fibras de aço e macrofibras poliméricas. No caso das fibras de aço, o aço encruado tipicamente utilizado nas fibras A1 (ABNT NBR 15530:07), mais comuns no mercado, pode perder encruamento com a exposição a temperaturas acima de sua temperatura de recristalização [4], ou seja, em torno de 500°C. O processo de recristalização afeta diretamente as propriedades de resistência e ductilidade da fibra, alterando suas propriedades e comportamento sob esforços de tração.

As macrofibras poliméricas são compostas majoritariamente por fases amorfas somadas a certo grau de cristalinidade conferido pelo processo produtivo de extrusão e alongamento. Essa cristalinidade é responsável diretamente pelas propriedades mecânicas da fibra

[5]. Uma vez que o grau de cristalinidade é afetado diretamente pelas cargas térmicas, a elevada temperatura também afeta as propriedades das macrofibras poliméricas. Por exemplo, a temperatura de fusão de fibras de polipropileno é de cerca de 160°C [4]. Logo especial atenção deve ser dada para concretos reforçados com macrofibras de polipropileno, visto que a sua degradação, mesmo que parcial, pode comprometer a capacidade resistente da estrutura em temperaturas inferiores ao que ocorre para fibras de aço. Como o comportamento pós-fissuração é fortemente influenciado pelas propriedades mecânicas das fibras, é importante parametrizar o grau de dano a que as fibras estão sujeitas em função de sua temperatura de exposição no interior do concreto.

Além disso, faz-se necessária a simulação dos mecanismos que envolvem as fibras e sua interação com a matriz cimentícia para caracterização da carga de pico e processo de deslizamento-arrancamento da fibra no CRF. Estas alterações podem vir a gerar alterações significativas da resistência e energia de arrancamento das fibras, culminando em alterações no comportamento global do composto. O ensaio mais utilizado para esta caracterização é o ensaio de arrancamento (*pullout*), que busca identificar alterações na interface fibra-matriz através da determinação das cargas associadas ao arrancamento. Os resultados deste tipo de ensaio podem ser utilizados para refinar modelos computacionais de

previsão de comportamento do CRF. Estudos em todo o mundo buscam avaliar a influência de parâmetros, tais como: tipo da fibra, tipo da matriz, inclinação e comprimento embebido na dinâmica de interação fibra-matriz. Entretanto, esta caracterização tem se restringido a concretos em condições normais de temperatura, evidenciando a lacuna técnico-científica nesta área do conhecimento. Já avaliações qualitativas da interface entre fibra e matriz cimentícia através de imagens de microscopia podem ser encontradas na literatura [6]. A Figura 2 apresenta avaliação por microscopia eletrônica de varredura da interface entre macrofibras sintéticas e matriz cimentícia em condições normais e após o aquecimento a 400°C para a superfície do corpo de prova (Zona 1) e dois pontos internos ao espécime (Zona 2 e Zona 3).

4. PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

O estudo das propriedades e do comportamento do concreto reforçado com fibras de aço e macrofibras poliméricas frente às elevadas temperaturas é um assunto ainda em desenvolvimento [6-9]. A grande maioria dos trabalhos publicados

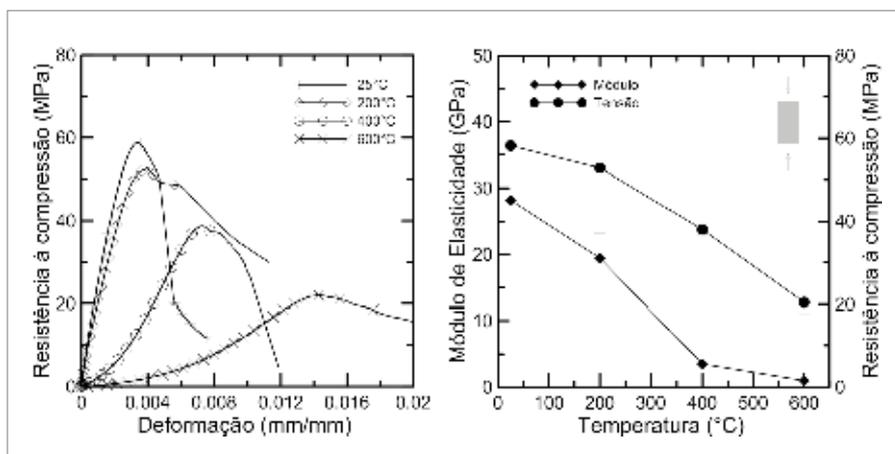
trata sobre a parametrização das características de concretos com fibra de aço. Trabalhos utilizando macrofibras poliméricas, por exemplo, tendem a ser mais escassos, porém não menos importantes, uma vez que as macrofibras poliméricas são degradadas em temperaturas mais baixas, diminuindo o volume de reforço do elemento e podendo comprometer a segurança do elemento estrutural.

As principais propriedades de interesse do CRF que são afetadas pelas elevadas temperaturas são: a resistência à compressão; a resistência à tração; o módulo de elasticidade; e a capacidade de absorção de energia, tanto antes quanto depois do incêndio.

A resistência à compressão começa a ser fortemente afetada a partir dos 300°C [6-8]. Em temperaturas desta magnitude são reportadas reduções acentuadas nos valores de resistência. Ao atingir temperaturas acima de 500°C, a taxa de perda de resistência à compressão residual tende a decrescer [7]. Para exemplificar as ordens de grandeza desta redução, pode-se tomar como exemplo compósitos reforçados com fibras de aço, com reduções que chegam a 41% para a temperatura de 400°C e a 69% para a temperatura de

600°C, quando comparadas à temperatura ambiente [9]. Já, para concretos reforçados com macrofibras poliméricas e similar resistência da matriz, as reduções foram da mesma ordem de grandeza em testes similares: 34,6% para a temperatura de 400°C e 64,9% para a temperatura de 600°C [6]. O módulo de elasticidade também é reduzido rapidamente com o aumento da temperatura [6-8] e este processo tem relação direta com a redução de volume de sólidos da pasta de cimento. A ordem de grandeza dessas reduções é da ordem de 80% para temperatura de 400°C e 95% para temperatura de 600°C [6,8]. Quando a temperatura excede os 600°C, a perda do módulo de elasticidade do compósito desacelera com o aumento da temperatura [8]. A Figura 3 apresenta, em forma de gráficos, as reduções de resistência à compressão e módulo de elasticidade.

A resposta pós-fissuração dos CRF é fundamental para seu comportamento estrutural. Quando os CRF são expostos a elevadas temperaturas, o comportamento pós-fissuração é afetado por três fatores: a temperatura de exposição, o tipo de fibra utilizada e o tempo de exposição. Para todas as temperaturas, a resposta do compósito em termos de carga pós-fissuração e tenacidade é dependente do tipo de fibra. Entretanto, para temperaturas acima de 400°C, concretos reforçados com fibra de aço apresentam menores perdas na resposta pós-pico, enquanto concretos reforçados com macrofibras poliméricas apresentam um acentuado grau de degradação das fibras [10]. Isto é evidenciado nos gráficos apresentados na Figura 4, onde se torna perceptível a queda de capacidade resistente residual para os concretos reforçados com macrofibras poliméricas já a 400°C. Isto demonstra claramente



► **Figura 3**

Redução da resistência à compressão e módulo de elasticidade em concretos reforçados com macrofibras poliméricas (adaptado de [6])



que estruturas reforçadas com macro-fibras poliméricas devem ser avaliadas com maior rigor para a condição de incêndio, como seria o caso de uma laje elevada de edifício, por exemplo.

5. CONCLUSÕES

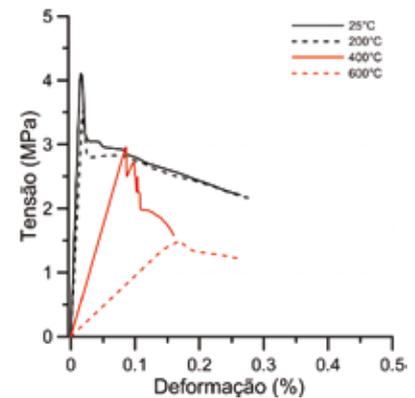
Neste artigo foram apresentados os principais efeitos da temperatura em concretos reforçados com fibras de aço e macrofibras poliméricas. Os efeitos da temperatura na matriz cimentícia, nos agregados, no reforço fibroso e interface com a matriz, e, por fim, no compósito como um todo. As principais conclusões que podem ser verificadas neste artigo são:

► O aumento da temperatura produz significativas alterações na composição química e microestrutura da pasta de cimento Portland endurecida; além disso, processos de transição cristalina de alguns minerais presentes nos agregados (ex: quartzo), associados com eventos de expansão-retração, podem causar microfissuração na matriz cimentícia e no próprio agregado, afetando, assim, as propriedades mecânicas globais do compósito;

► Fibras de aço encruado podem perder encruamento com a exposição a elevadas temperaturas, afetando diretamente as propriedades de resistência e ductilidade da fibra, e alterando as propriedades e o comportamento do compósito;

► Macrofibras poliméricas são afetadas com maior intensidade pelas elevadas temperaturas, uma vez que o grau de cristalinidade é afetado diretamente pelas cargas térmicas, além de estarem sujeitas à fusão e degradação em baixas temperaturas, podendo comprometer o reforço estrutural; no caso de concretos reforçados com macrofibras poliméricas, a capacidade do CRF de suportar esforços de compressão, tração e, principalmente, a resistência pós-fissuração são consideravelmente reduzidas acima dos 400°C;

► Avaliações qualitativas da interface entre fibra e matriz cimentícia através de imagens de microscopia podem ser encontradas na literatura; entretanto, a dinâmica de interação fibra-matriz quanto à carga de arrancamento e energia absorvida



► **Figura 4**
Curvas médias de carga por deslocamentos obtidos no ensaio de duplo puncionamento (ensaio Barcelona) do concreto reforçado com macrofibras poliméricas a distintos níveis de temperatura (adaptado de [6])

tem se restringido a concretos em condições normais de temperatura, evidenciando a lacuna técnico-científica nesta área do conhecimento;

► Após a exposição à elevada temperatura, concretos reforçados com fibra de aço apresentam menores perdas na resposta pós-pico, concretos reforçados com macrofibras poliméricas apresentam um acentuado grau de degradação das fibras, gerando grandes perdas na resposta carga-deformação quando solicitado à flexão. ☞

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DEHN, F.; HERRMANN, A. Concreto reforçado com fibra de aço (SFRC) em situação de incêndio – requisitos normativos, pré-normativos e código-modelo. *Concreto & Construções*, 2017, p. 108-112.
- [2] INTERNATIONAL TUNNELING AND UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION (ITA). ITAtech Design guidance for Precast Fibre Reinforced Concrete Segments. 2016. ITAtech Report no. 7, vol. 1, France, 2016.
- [3] TAYLOR, H. F.W. *Cement chemistry*. Thomas Telford, 1997.
- [4] SHACKELFORD, J. F. *Ciência dos materiais*. Pearson. 6ª. Edição. 2008. 556p.
- [5] MADDAH, H. A. Polypropylene as a Promising Plastic: a review. *American Journal of Polymer Science*. 2016, p. 1-11.
- [6] RAMBO, D. A. S.; BLANCO, A.; DE FIGUEIREDO, A. D.; DOS SANTOS, E. R. F.; TOLEDO, R. D.; GOMES, O. D. F. M. Study of temperature effect on macro-synthetic fiber reinforced concretes by means of Barcelona tests: An approach focused on tunnels assessment. *Construction and Building Materials*, 2018, 158, 443-453.
- [7] POON, C. S.; SHUI, Z. H.; LAM, L. Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(12), 2215-2222.
- [8] TAI, Y. S.; PAN, H. H.; KUNG, Y. N. Mechanical properties of steel fiber reinforced reactive powder concrete following exposure to high temperature reaching 800 C. *Nuclear Engineering and Design*, 2011, 241(7), 2416-2424.
- [9] CHEN, G. M.; HE, Y. H.; YANG, H.; CHEN, J. F.; GUO, Y. C. Compressive behavior of steel fiber reinforced recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 2014, 71, 1-15.
- [10] SUKONTASUKKUL, P.; POMCHIENGIN, W.; SONGPIRIYAKIJ, S. Post-crack (or post-peak) flexural response and toughness of fiber reinforced concrete after exposure to high temperature. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(10), 1967-1974.

Construção: o pior ficou para trás

ANA MARIA CASTELO – COORDENADORA DE PROJETOS

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS | INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA (FGV/IBRE)

As pesquisas de atividade divulgadas ao longo de 2017 trouxeram boas notícias: a economia brasileira voltou a crescer, configurando o fim de uma das piores recessões do país.

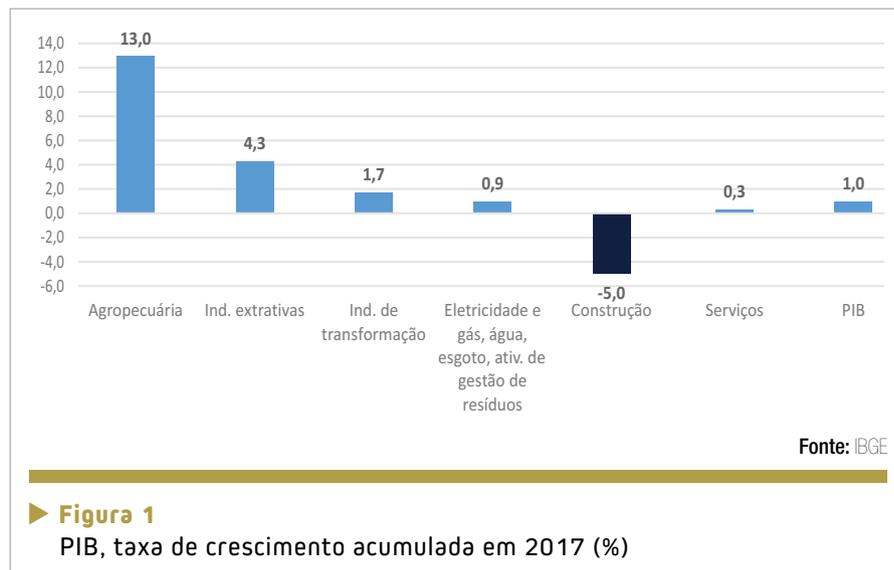
Em março, o número anunciado pelo IBGE para o PIB brasileiro de 2017 confirmou o fim da crise ao apontar que o crescimento alcançou 1,0%. Pela ótica da oferta, dois setores econômicos – Agropecuária e Serviços – tiveram expansão quando se compara com 2016, de 13,0% e 0,3%, nessa ordem e a Indústria, depois de três anos seguidos de retração, manteve-se estável.

O desempenho excepcional da agropecuária foi fundamental para permitir que a aceleração da atividade não pressionasse a inflação, que encerrou 2017 abaixo de 3%, ou seja, no menor patamar desde 1998. Mas o setor de serviços, que representa mais de 60% do PIB brasileiro, avançado pelo consumo das famílias, foi a força determinante para o fim da recessão.

Vale destacar que a estabilidade da indústria é resultado de um desempenho bastante desigual de seus segmentos: enquanto a indústria extrativa teve aumento de 4,3%, a construção registrou queda de 5%.

I. CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção foi a atividade econômica com pior desempenho no ano passado, e que “roubou” força da recuperação. Em outras palavras, o aumento do consumo das famílias não foi acompanhado pelo investimento, o que cer-



▶ **Figura 1**
PIB, taxa de crescimento acumulada em 2017 (%)

tamente não é um cenário sustentável para a retomada do crescimento. Com a queda de 5% em 2017, o setor da construção terá encolhido 20% em 4 anos!

É importante observar que a queda PIB setorial em 2017 decorreu em maior medida da redução da atividade formal, ou ainda, das obras realizadas pelas empresas formalmente constituídas. As obras e as pequenas reformas realizadas pelas próprias famílias ou por pequenos empreiteiros foram favorecidas pelas medidas de estímulo ao consumo, como a liberação dos recursos das contas inativas do FGTS. A queda na taxa de inflação também favoreceu o consumo. O aumento das vendas do comércio varejista de materiais de construção em 2017, que chegou a 9,2%, reflete a discrepância do desempenho entre as duas partes do setor.

Por outro lado, as restrições na oferta do crédito imobiliário e a retração severa do investimento público não permitiram a

recuperação da atividade formal. O emprego com carteira refletiu o cenário de declínio que afetou todos os segmentos.

A despeito dos números acumulados mostrarem um quadro muito negativo no setor, alguns indicadores também começaram a mudar para o segmento formal da construção no segundo semestre, mostrando um movimento de “despiora” na atividade.

De fato, a Sondagem da Construção da FGV realizada com empresários de todo o país registrou uma melhora gradativa do ambiente de negócios das empresas ao longo do ano. O Índice de Confiança empresarial (ICST) teve alta de 9,2 pontos, retornando ao patamar do início de 2015.

O índice tem dois componentes, o indicador que capta a percepção em relação ao ambiente corrente de negócios (Índice de Situação Atual – ISA-CST) e o que capta a percepção em relação a demanda e tendência futura dos negócios



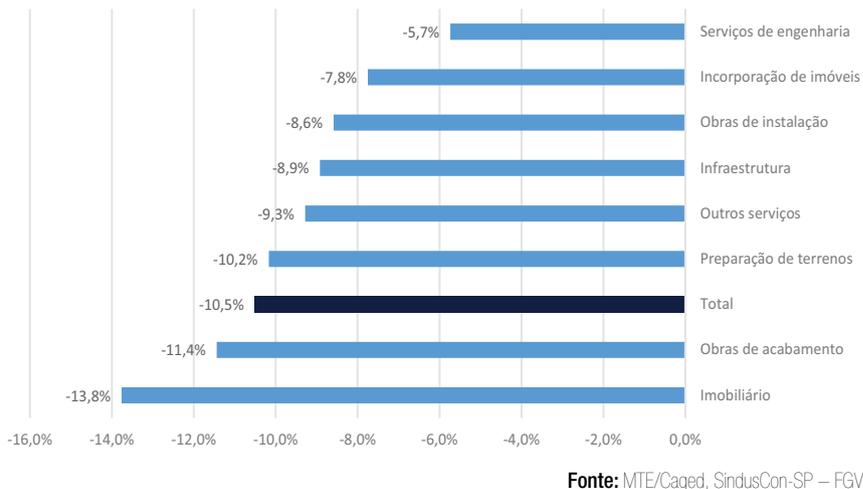
(Índice de Expectativas – IE-CST). Tanto o IE quanto o ISA tiveram elevação, mas em ritmos diferentes. Na verdade, as expectativas avançaram muito mais. O ISA não acompanhou. Isso significa que a perspectiva de melhora da atividade não ocorreu como esperado pelos empresários. A Figura 3 mostra a “boca de jacaré” – diferença entre a evolução dos dois índices - aumentando no ano passado.

O pior momento da atividade ocorreu em maio de 2016. Entre dezembro de 2012 e maio de 2016, o ISA caiu mais de 40 pontos. Assim, o aumento observado no ano passado parece irrelevante, mas ele aponta uma percepção dominante de que o pior ficou para trás. Pode-se notar como nos últimos meses de 2017, o ISA começou a avançar em ritmo mais forte.

Diversos fatores podem explicar essa percepção mais positiva da atividade. As contratações realizadas pelo Minha Casa Minha Vida, por exemplo, ganharam velocidade no segundo semestre de 2017. O mercado imobiliário voltado para a média renda também registrou aumento das vendas e dos lançamentos. Mas quando essa melhora irá repercutir efetivamente nos indicadores de emprego?

A construção tem um ciclo próprio, mais longo, que determina que o efeito sobre o emprego seja mais demorado. No entanto, a Sondagem de janeiro mostrou que a proporção de empresas relatando diminuição do quadro de pessoal nos meses seguintes caiu de 26,2%, em dezembro, para 18,8%; enquanto isso, a parcela das que reportaram projeção de aumento passou de 14,2% para 18,3%. Assim, o saldo chegou ao melhor patamar desde agosto de 2014 (2,8 pontos). Sem dúvida, um sinal inequívoco de melhora do ambiente de negócios das empresas.

É importante notar que a perspectiva



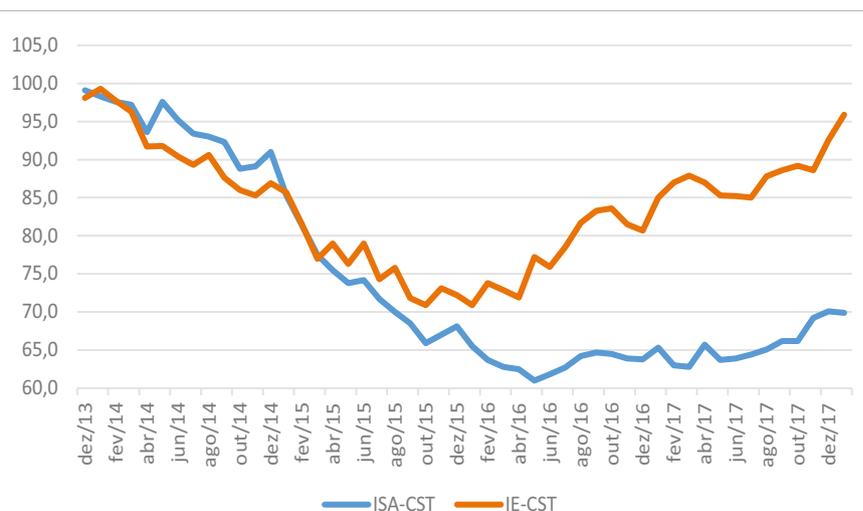
Fonte: MTE/Caged, SindusCon-SP – FGV

► **Figura 2**
Emprego com carteira na construção, Brasil – Taxa acumulada em 2017

de um crescimento maior da economia em 2018, de 2,9%¹ – projeção fortalecida pelos resultados do último trimestre de 2017 – também contribui positivamente sobre o ânimo do empresário da construção. Por outro lado, não se pode subestimar o efeito das incertezas no plano político, que continuam elevadas, e da questão fiscal não resolvida, impedindo a retomada de muitos planos de investimentos.

Assim, no todo, o cenário que se de-

senha, embora longe do período de “crescimento chinês” observado entre 2007 e 2013, permite uma projeção positiva para o PIB da construção em 2018 de 1,1%. O resultado sequer recupera a retração de 2017. Na verdade, nesse ritmo, o setor levará mais de quinze anos para voltar ao patamar anterior à crise. Enfim, as indefinições e incertezas não permitem assegurar o início de um novo ciclo de crescimento, no entanto, o ano começa, definitivamente de forma mais promissora! 🏗️



Fonte: Sondagem da Construção, FGV/IBRE

► **Figura 3**
Setor da construção – dados dessazonalizados – indicadores padronizados (em pontos)

¹ PROJEÇÃO DO BOLETIM MACRO DA FGV IBRE

Avaliação experimental do concreto armado de alta resistência submetido a elevadas temperaturas (parte complementar)

CARLOS BRITZ – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

BRITZ CONSULTORIA | PhD ENGENHARIA

PAULO HELENE – PROFESSOR TITULAR DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PhD ENGENHARIA

I. INTRODUÇÃO E CONTEXTO

Este artigo apresenta e discute os resultados obtidos em diversos exames e ensaios residuais (pós-simulação de incêndio), sendo um complemento da primeira parte da pesquisa, aqui publicada em 2012, que abordou as avaliações preliminares¹ de um programa experimental pioneiro de simulação de incêndio realizado no Brasil em um pilar protótipo, concebido em concreto de alta resistência, colorido, armado, com idade de 8 anos e réplica do concreto empregado em vários tramos de pilares do edifício *e-Tower*, localizado na cidade de São Paulo.² O pilar protótipo, precedente ao programa experimental térmico, bem como suas condições pós-simulação de incêndio, podem ser observados na Fig. 1.

Britz³ destaca que o conhecimento do fato das propriedades serem modificadas quando o concreto



a



b

► **Figura 1**
(a) Pilar protótipo precedente à simulação;
e (b) pilar protótipo pós-simulação de incêndio

é exposto ao calor já está bem consolidado no meio técnico. Pesquisas precursoras já alertam que os concretos sofrem altos gradientes térmicos quando expostos ao fogo e há uma forte tendência das camadas quentes da superfície se separarem das camadas mais frias do interior do elemento por deslocamento (*spalling*). No entanto, esse mecanismo de falha por deslocamento explosivo, no caso do concreto de alta resistência, não deve ser equivocadamente generalizado no meio técnico, pois depende de alguns fatores intrínsecos, principalmente relacionados ao programa experimental e às amostras envolvidas nas pesquisas. Quando em elevadas temperaturas, a anisotropia e a heterogeneidade do material concreto se tornam cada vez mais evidentes e, em elementos estruturais do tipo pilar, por exemplo, o comportamento não pode ser considerado uniforme para toda seção transversal. Na realidade somente poucos centímetros do concreto exposto diretamente ao fogo sofre com as elevadas temperaturas⁴.

2. RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Ressalta-se como interessante neste artigo a diversidade de ensaios residuais procedidos no pilar protótipo pós-simulação de incêndio, bem como outras características intrínsecas à própria amostra, como a idade avançada do concreto envelhecido naturalmente ao ambiente agressivo local (8 anos) e a natureza litológica do agregado graúdo (basalto). Além disso, este artigo também discute a importante contribuição da pigmentação inorgânica do concreto, com uso de óxido de ferro (Fe_2O_3), como recurso útil na interpretação dos resultados obtidos na avaliação do concreto após



► **Figura 2**

Índice colorimétrico promovido no interior do pilar devido à transformação química de redução, ocorrida com o calor, do óxido de ferro (Fe_2O_3): escura no interior do centro das faces e alaranjada na superfície das faces e profundidade das arestas

incêndio, através da mudança de cor do concreto colorido (pigmentado).

3. RESUMO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

As informações detalhadas do programa experimental e da amostra (pilar protótipo) submetida ao experimento de simulação de incêndio estão contidas na primeira parte desse artigo¹, que trata das avaliações preliminares. Em resumo, o programa experimental foi realizado no forno do Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, o qual possui um forno com dimensões compatíveis com o programa térmico planejado. Na oportunidade, foi estabelecido que o tempo de exposição ao fogo do pilar protótipo seria de 180min (3h), com ensaio de simulação de incêndio caracterizada pela curva padrão de aquecimento ISO 834. O pilar protótipo foi ensaiado sem carregamento e com exposição de três faces ao fogo, o que propiciou que uma das faces (onde os termopares estavam instalados) permanecesse de livre acesso durante a simulação de incêndio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO (PROPRIEDADE RESIDUAIS)

4.1 Indicador colorimétrico (pigmentação inorgânica com uso de óxido de ferro)

Devido ao uso de pigmentação inorgânica à base de óxido de ferro sintético (Fe_2O_3), incorporada na dosagem do concreto colorido de alta resistência (4% em relação à massa de cimento), foi possível avaliar mudanças de coloração ao longo (no interior) da seção transversal e na superfície do pilar pós-simulação de incêndio. Constatou-se que aproximadamente 55mm de profundidade da amostra apresentou coloração mais escura (ou negra), no meio das faces, e que também essa alteração de cor não foi tão evidente na superfície do pilar e na profundidade das arestas, onde a coloração se apresentou menos escura e somente um pouco “desbotada” (tipo alaranjada). Com base nesses indicadores observados, procedeu-se com diversas extrações de amostras, a fim de verificar a correlação da cor com as diferentes temperaturas obtidas no interior do elemento e as prováveis variações nas propriedades mecânicas,

térmicas e mineralógicas do concreto de alta resistência nessas regiões (Fig. 2).

4.2 Propriedades mecânicas residuais do concreto

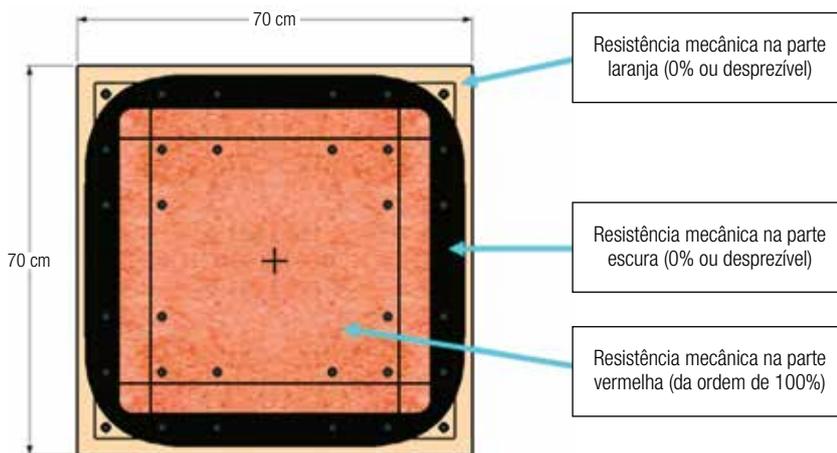
Diversos testemunhos foram extraídos na direção ortogonal à seção transversal (óculos da Fig. 3), sendo essas extrações realizadas nas regiões coincidentes com as diferentes profundidades dos termopares [distribuídos ao longo da seção transversal, vide em Brites (2012) a locação dos termopares], exceto para os termopares na região do cobrimento médio (25mm), que teve sua resistência à compressão desprezada nessa região, em função da existência de concreto friável (cor escura). As extrações dos testemunhos foram realizadas pela equipe do Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT com uma perfuratriz elétrica provida de coroa diamantada, fabricada pela Tyrolit do Brasil, modelo HCCB 6 Hydrostress, sendo as respectivas rupturas realizadas em uma prensa hidráulica, marca Mohr & Federhaff – AG, com capacidade de 200t e resolução de 100kgf.

Os resultados obtidos demonstraram que a região escura (negra) não possui resistência mecânica significativa (considerada desprezível: concreto friável) e que a parte que preservou a cor avermelhada original (imediatamente após a coloração escura, distante ortogonalmente 55mm da face) manteve resistência mecânica residual muito similar à do núcleo do pilar, ou seja, a resistência mecânica original (precedente a simulação de incêndio, $f_{ck} = 140\text{MPa}$), conforme Tabela 1 e sumário de cores da Fig. 4 (situação hipotética).

O sumário de cores da Fig. 4 possui uma boa correlação com a pesquisa



► **Figura 3**
 Detalhe de algumas perfurações realizadas na extremidade do pilar e detalhe de um dos testemunhos extraídos (com \varnothing 75mm) para posterior ensaio de ruptura à compressão



► **Figura 4**
 Resistências mecânicas residuais à compressão do concreto, pós-simulação de incêndio (situação hipotética)

► **Tabela 1 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão (residuais, pós-simulação de incêndio)**

Pós-fogo (cor vermelha, laranja e negra)		Pré-fogo (cor vermelha)
Localização do eixo da extração	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
3 mm da face (cor laranja)	desprezada (0,0%)	
25 mm da face (cor negra)	desprezada (0,0%)	
100 mm da face (cor vermelha)	139,0 (98,8%)	140,7 (100%)
200 mm da face (cor vermelha)	124,5 (88,5%)	
350 mm da face (cor vermelha)	136,1 (96,7%)	

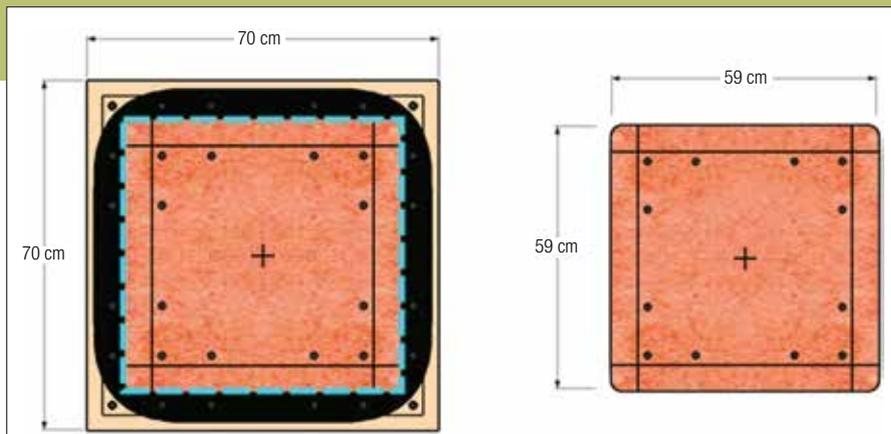
precursora desenvolvida por Anderberg (1978b) *apud* Purkiss (1996)⁵, popularmente conhecida como “Método dos 500°C”, especificamente com as premissas adotadas na aplicação do método, concernente ao desprezo (exclusão) de regiões periféricas da seção transversal (Fig. 5).

4.3 Propriedades mecânicas residuais do aço

No total, quatro amostras foram extraídas manualmente com comprimentos úteis equivalentes a 60cm (para cada amostra de barra de aço), através de prospecção superficial com auxílio de marreta, ponteiro, talhadeira e disco de corte especial para aço, sendo duas na região das arestas (longitudinais) e duas na região das faces (estribos). Para efeito comparativo, foi extraída também a amostra de uma barra longitudinal da região oposta ao fogo (protegida pela alvenaria de fechamento do forno), a qual foi identificada como “amostra de referência”. Exemplos de amostras extraídas podem ser observados na Fig. 6.

Os ensaios de tração nas amostras de barras de aço extraídas foram realizados no Laboratório de Equipamentos Mecânicos e Estruturas (LEME) do IPT em uma Máquina Universal de Ensaio tipo 03 (M.U.E. 03), fabricada pela Alfred J. Amsler & Co e os resultados podem ser observados na Tabela 2.

De acordo com os dados obtidos nos ensaios (Tabela 2) foi possível observar que as barras de aço longitudinais (\varnothing 16mm), alocadas nas arestas do pilar, após resfriamento lento “ao ar”, sofreram em média uma redução de sua resistência à tração da ordem de 25%, embora a tensão de escoamento tenha reduzido em aproximadamente 45%, quando comparadas com a amostra de



► **Figura 5**

Redução da seção transversal em função da resistência mecânica residual à compressão aferida posteriormente ao ensaio de simulação de incêndio (situação hipotética)

referência. No caso do centro das faces (armadura transversal \varnothing 8mm), observa-se uma redução bem menor, da ordem de 10% na resistência à tração e da ordem de 25% no valor da tensão de escoamento. Os resultados obtidos, possuem boa correlação com outros trabalhos experimentais^{5,6}, que são unânimes em apontar que as propriedades residuais de aços submetidos a temperaturas acima de aproximadamente 550°C sofrem perdas irreversíveis e que a partir dos 700°C essas se tornam bem mais evidentes, podendo superar perdas de 30%. Pesquisadores⁶ destacam, também, que quanto menor o diâmetro da barra, menor a magnitude de redução, sendo a redução mecânica mais evidente para barras de aço com maiores diâmetros,

principalmente, quando as amostras são “resfriadas ao ar”. O sumário de cores da Fig. 7 indica o local das extrações em comparação com as estimativas de temperatura e as reduções de resistência mecânica à tração do aço.

Observa-se, também, que os patamares de redução da tensão de escoamento das barras de aço amostradas, em virtude das altas temperaturas procedentes da exposição ao fogo, acompanham os valores de redução mecânica da resistência à tração, sendo válidas as mesmas observações referidas sobre os diâmetros das armaduras. Os patamares mais significativos da redução da tensão de escoamento do aço, observados na Tabela 2 (da ordem 45% para amostras de barras longitudinais



► **Figura 6**

Detalhe das amostras de barras de aço extraídas (longitudinais e transversais)

► Tabela 2 – Resultados obtidos nos ensaios realizados nas amostras de aço (armadura do pilar) comparados com a amostra de referência

Identificação	Amostras expostas ao fogo				Amostra de referência
	Arestas expostas ao fogo (concreto cor laranja / temperatura bem acima de 600°C)		FACES expostas ao fogo (concreto cor negra / temperatura máxima inferior a 570°C)		Amostra não exposta ao fogo (concreto cor vermelha / temperatura ambiente de aproximadamente 25°C)
	Barras longitudinais \varnothing 16mm		Estribos \varnothing 8mm		
	A	B	C	D	"referência / original"
Tensão de escoamento (MPa)	354,0 \pm 3 (56,8%)	343,0 \pm 3 (55,1%)	464,0 \pm 8 (74,5%)	460,0 \pm 9 (73,8%)	623,0 \pm 4 (100%)
Resistência à tração (MPa)	562,0 \pm 4 (74,8%)	556,0 \pm 4 (74,0%)	652,0 \pm 10 (86,8%)	698,0 \pm 11 (92,9%)	751,0 \pm 4 (100%)

extraídas das arestas e de 25% para barras transversais extraídas dos centros das faces) estão diretamente relacionados, também, com as diferenças de temperatura nessas regiões, sendo que esses valores registrados corroboram as observações apontadas em outros trabalhos^{5,7}.

4.4 Caracterização mineralógica e análises térmicas

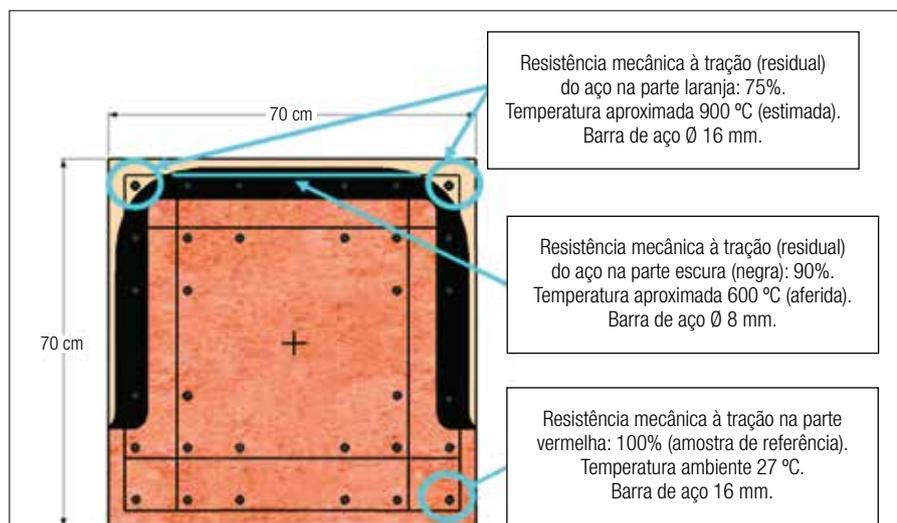
Tendo em vista a evidente diferença de coloração na parte superficial e interna do pilar protótipo após a simulação de incêndio, algumas amostras foram extraídas para caracterização mineralógi-

ca por difratometria de raios X e análises térmicas por ATD-TG (análises termogravimétrica e termogravimétrica). Planejou-se que as caracterizações mineralógicas e as análises térmicas fossem procedidas em quatro amostras extraídas em regiões estratégicas do pilar protótipo experimentado, bem como em uma amostra extraída da parte remanescente que permaneceu no pátio do Laboratório de Materiais de Construção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, totalizando-se ensaios em amostras selecionadas de cinco regiões.

Todos os exames de caracterização mineralógica, bem como as aná-

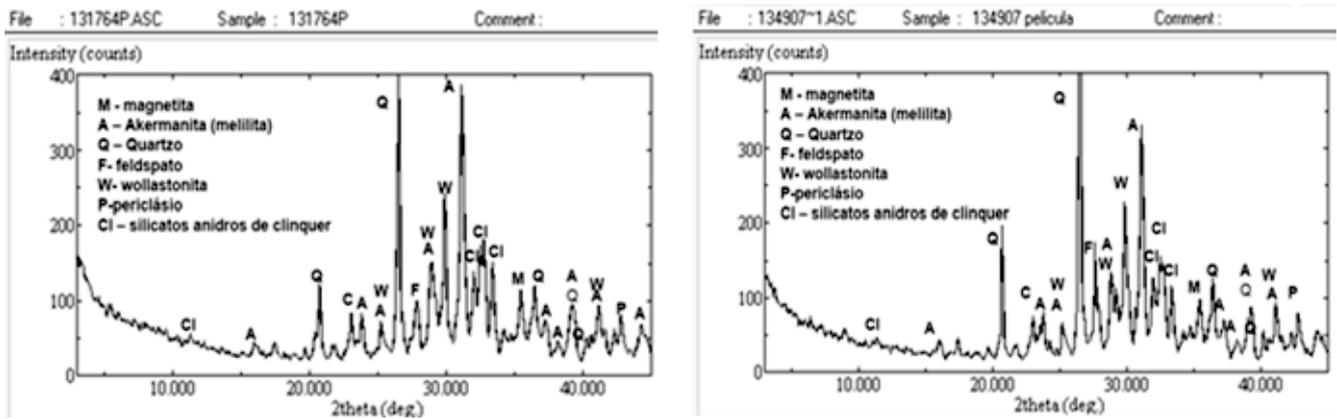
lises térmicas, foram realizados pela equipe do Laboratório de Mineralogia da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). As cinco amostras de concreto extraídas do pilar de concreto (precedentemente e posteriormente à exposição ao fogo) foram analisadas termicamente em um equipamento Rigaku modelo TAS 100.

Nos resultados obtidos observou-se claramente a similaridade na composição mineralógica das Amostras 01 e 02 (remanescente USP e centro da face transição, cor vermelha), ambas com coloração vermelha. No entanto, destaca-se que uma delas (Amostra 02) foi exposta ao fogo e a outra não (Amostra 01). Nesse caso, as difrações de raios X realizadas permitiram inferir que, certamente, a amostra exposta ao fogo que preservou a coloração vermelha, similar à original, manteve as mesmas propriedades, inclusive mecânicas, do pilar de concreto de alta resistência nas condições precedentes à exposição ao fogo. No caso da Amostra 03 (centro da face transição, cor negra), foi possível verificar a presença de magnetita (Fe_3O_4), em substituição a hematita (Fe_2O_3), procedente da reação química de redução do óxido de ferro, a qual foi induzida por uma atmosfera levemente redutora na câmara do forno (caracterizada pela combustão incompleta do gás natural), pelas altas temperaturas e pelo tempo da de simulação de incêndio.



► **Figura 7**
Resistências mecânicas à tração do aço, posteriormente à simulação de incêndio





► **Figura 8**
Difratogramas das amostras 4 e 5: aresta intacta e película superficial – região alaranjada (com exposição ao fogo)

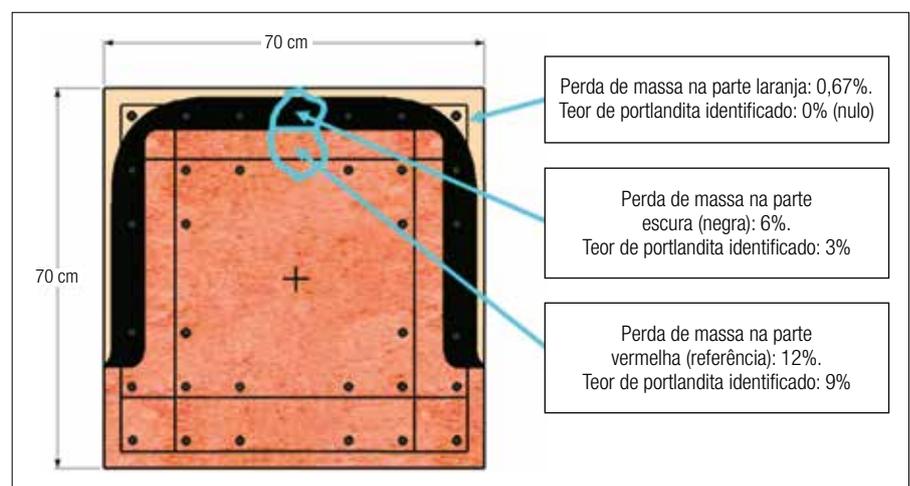
As Amostras 04 e 05 (aresta intacta e película superficial), ambas com coloração laranja, se destacaram por possuir uma mineralogia diferenciada, principalmente, por sintéticos neoformados similares aos minerais akermanita e wollastonita (Fig. 8). Observa-se que a presença desses compostos sintéticos, formados por sinterização, na região mais exposta ao fogo (cor alaranjada), pode indicar a presença de elevadas temperaturas, superiores a 900°C, necessárias para promover o surgimento desses minerais anidros a partir dos compostos hidratados^{8,9}. Nessas amostras nota-se, também, a presença de magnetita (Fe_3O_4), em substituição a hematita (Fe_2O_3).

Por sua vez, percebeu-se que as análises térmicas contribuíram potencialmente para indicar a real extensão da degradação do concreto, que foi muito mais evidente através da verificação da perda de massa nas amostras. Foi possível constatar que as amostras situadas na parte mais periférica do pilar protótipo perderam valores bem menos significativos de massa em relação à parte que manteve a coloração vermelha original. Na parte escura (negra) obteve-se uma perda de massa total da ordem de 6% e na parte laranja (região da aresta) uma perda de massa

total de somente 0,67%. Os teores de portlandita também sofreram reduções significativas nessas regiões, sendo nulos no caso das amostras extraídas da região das arestas (coloração laranja) e de 3% na região escura. Como base comparativa, a amostra extraída da parte que manteve a coloração vermelha teve uma perda de massa total da ordem de 12% e um teor identificado de portlandita da ordem de 9% (mesmo teor encontrado na amostra remanescente de referência que não foi exposta ao fogo), o que indicou a presença de compostos ainda hidratados nessas regiões (Fig. 9).

5. CONCLUSÕES

1. Independentemente dos ensaios para determinação da resistência mecânica à compressão dos testemunhos extraídos, já seria possível inferir, somente pelo índice colorimétrico, que a região do pilar onde conservou sua coloração avermelhada original praticamente não sofreu alterações significativas em suas propriedades mecânicas;
2. No caso da resistência mecânica residual à compressão do concreto exposto ao fogo, nota-se uma excelente correlação com as temperaturas mensuradas pelos termopares,



► **Figura 9**
Perdas de massa constatadas nas análises térmicas residuais e teores de portlandita

as quais, por sua vez, também, possuem boa correlação com as diferentes mudanças colorimétricas, ocasionadas pela presença do pigmento inorgânico base óxido de ferro. O pilar protótipo teve um bom desempenho quando exposto 180min (3h) ao fogo, mantendo sua integridade original preservada em uma seção transversal aproximada de 59cm x 59cm (dimensão original de 70cm x 70cm), onde a coloração vermelha se manteve (vide Fig. 5);

3. A redução das propriedades mecânicas residuais do aço foi mais significativa quanto maior a temperatura e quanto maior o diâmetro da barra de aço. Sendo mais evidente ainda, devido ao processo de têmpera empregado em sua fabricação, se o tipo de resfriamento da amostra for do tipo “ao ar”, sem uso de jatos de água. Observou-se também que os resultados obtidos nos ensaios de propriedades residuais não podem ser considerados diretamente na avaliação do comportamento do material durante o evento de simulação de incêndio, pois parte de suas propriedades é de fato recuperada na etapa de resfriamento (pós-incên-

dio). O caso mais expressivo deste fenômeno está relacionado com as armaduras de aço que estão no interior do elemento de concreto armado: durante o incêndio, dependendo do posicionamento e da temperatura, podem perder da ordem de 75% ou mais de sua resistência mecânica à tração, a qual pode ser quase integralmente recuperada dependendo do método de resfriamento e da temperatura máxima atingida;

4. Quanto aos resultados obtidos nos ensaios residuais, observa-se que o emprego de exames de caracterização mineralógica e de análises térmicas pode contribuir potencialmente para avaliação de estruturas que sofreram intensa ação do calor, procedente de um cenário de incêndio, com a ressalva da interpretação correta dos resultados, no que tange principalmente a contaminação de água nas amostras extraídas. Foi possível constatar uma mineralogia diferenciada, além de uma redução menos significativa de massa, as quais foram condizentes com as partes mais degradadas do concreto, na região da periferia da seção transversal do pilar protótipo. Desta-

ca-se que essas regiões degradadas também coincidem com os índices colorimétricos e, por conseguinte, com as mais altas temperaturas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem especialmente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) pelo apoio nos ensaios de simulação de incêndio e principalmente nos ensaios residuais do concreto e aço; às associações e institutos nacionais ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem) e IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), pelo apoio profissional e financeiro; às empresas BASF, ENGEMIX, TECNUM, GCP, VIAPOL, FRANÇA & ASSOCIADOS, RM SOLUÇÕES, EKIPE-C e PhD ENGENHARIA, pelo fornecimento de materiais, equipamentos especiais, mão de obra e suporte financeiro para o desenvolvimento e a realização de todo o programa experimental; e finalmente agradecem ao ilustre Dr. Venkatesh Kodur, que, em passagem pelo Brasil, acompanhou a pesquisa e trocou valiosas informações com estes pesquisadores. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRITZ, C. A.; HELENE, P.; BILESKY, P.; BERTO, A. Avaliação experimental do concreto armado de alta resistência submetido a elevadas temperaturas. *Concreto & Construção*, v. 67, p. 90-99, 2012.
2. HELENE, P.R.L.; HARTMANN, C.T. HPCC in Brazilian office tower. *Concrete International*, v.25, n.12, p. 64-68, Dec. 2003.
3. BRITZ, C. A. Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas. São Paulo: USP, 2011. 252 f. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
4. FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (*fib*). Fire design of concrete structures – materials, structures and modeling – State-of-art report. Lausanne, *fib* 2007. 97p. (Bulletin d’information; 38).
5. PURKISS, J. A. Fire safety engineering design of structures. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996. 369p.
6. CABRITA NEVES, I.; RODRIGUES, J. P. C.; LOUREIRO, A. P. Mechanical properties of reinforcing and prestressing steels after heating. *Journal of Materials in Civil Engineering*, p.189-194, Nov. 1996.
7. SUPRENANT, B. Evaluating fire-damaged concrete: concrete and reinforcing steel properties can be compromised at elevated temperatures, *Fire Safety of Concrete Structures*, ACI SP-80. Michigan: American Concrete Institute, 1983.
8. JACOB, C. J. Bureau de Recherche Géologiques et Minières. Synthesis of wollastonite from natural materials without fusion. USA. US 3966884. 20 jun. 1974, 29 jun. 1976. United States Patent, 1976. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com/3966884.pdf>> Acesso em: 25 nov.2010.
9. ROSENQVIST, T. Principles of extractive metallurgy. 2nd ed. Trondheim: Tapir Academic Press, c2004. 506p.



Estudos experimentais sobre o fenômeno de deslocamento em estruturas de concreto submetidas a elevadas temperaturas

AUGUSTO GIL – ANALISTA DE PROJETOS / MESTRANDO

FABRÍCIO BOLINA – PROFESSOR PESQUISADOR / DOUTORANDO

MICHAEL MOREIRA – RELAÇÕES COM O MERCADO / DOUTORANDO

BERNARDO TUTIKIAN – PROFESSOR

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)

BRUNO FERNANDES – MESTRANDO

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS (UNICAMP)

I. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento do concreto em elevadas temperaturas tem conduzido o setor da construção civil a avanços no que se refere à segurança contra incêndios. Muito em função de sua elevada empregabilidade ao redor do mundo, o estudo do comportamento de elementos de concreto em situação de incêndio tem fundamental importância para garantir a segurança dos usuários e reduzir a perda patrimonial em casos de incêndio.

Pode-se considerar que o concreto apresenta um bom comportamento quando submetido a altas temperaturas, devido às suas características incombustíveis, sem propagar chamas, liberar calor e fumaça, sendo ainda capaz de proporcionar isolamento térmico adequado. Entretanto, o aquecimento provoca alterações consideráveis nas propriedades do material, principal-

mente em suas propriedades mecânicas, que permitem o surgimento de fissuras e a ocorrência do fenômeno de deslocamento, largamente conhecido pelo termo em inglês “*spalling*”.

O fenômeno de deslocamento é caracterizado pelo desprendimento das camadas superficiais de um elemento de concreto exposto a elevadas temperaturas. O rápido aquecimento provoca o surgimento de tensões internas decorrentes da dilatação diferencial dos elementos constituintes do material e de poropressões provenientes das transformações físicas da água presente no interior do concreto. Essas tensões, quando superam a resistência à tração do material, ocasionam o fenômeno de deslocamento, que pode ocorrer de forma suave ou severa, até mesmo explosiva. Sua ocorrência pode ocasionar a redução da seção transversal de um elemento e a exposição direta das armaduras às elevadas tempera-

turas que, por sua vez, podem conduzir ao colapso do elemento estrutural.

Existem basicamente dois mecanismos que podem desencadear o deslocamento do concreto, conhecidos como termomecânico e termo-hidráulico. A restrição de expansão e o gradiente de temperatura formado entre a superfície da estrutura exposta ao fogo e o seu núcleo ainda resfriado podem ocasionar tensões indiretas de tração, que podem conduzir ao deslocamento do concreto pelo mecanismo termomecânico. Por outro lado, parte da água livre é dissipada pelo sistema de poros nas camadas superficiais, enquanto que o restante migra para o interior do elemento, provocando o acúmulo de umidade e a formação de uma camada saturada, que, ao entrar em processo de evaporação, ocasiona poropressões suficientes para desencadear o deslocamento do concreto pelo mecanismo termo-hidráulico.

Apesar de esses mecanismos funcionarem de forma independente, a preponderância de cada um é discutível e alguns autores defendem que a ação combinada desses dois mecanismos é a forma mais comum de ocorrência do fenômeno (Figura 1).

A ocorrência do fenômeno do deslocamento pode se dar de diversas formas e geralmente é dividido em seis categorias: deslocamento de agregado; deslocamento de aresta; deslocamento de superfície; deslocamento explosivo; deslocamento por delaminação; e deslocamento pós-resfriamento. Cada uma dessas formas pode apresentar diferentes características e fatores de influência e o fato de estarem inter-relacionados aumenta a complexidade na definição dos parâmetros para predição de sua ocorrência. Os principais fatores estão relacionados com a composição do concreto, características do elemento estrutural e sua forma de exposição. Destaca-se a resistência e a idade do concreto, o tipo e tamanho dos agregados, teor de umidade e permeabilidade do material, temperatura máxima e a taxa de aquecimento, forma e tamanho da seção transversal, configuração das armaduras, presença de fibras e a forma e a intensidade de carregamento do elemento estrutural.

A descoberta do *spalling* não é recente e entrou em maior evidência devido a incêndios ocorridos em túneis na década de 1990, principalmente no *Great Belt Tunnel* (1994), no *Channel Tunnel* (1996) e no *Mont Blanc Tunnel* (1999). No entanto, a compreensão total dos parâmetros que desencadeiam o fenômeno ainda é uma lacuna na área, visto a natureza estocástica do problema. No Brasil, o tema também tem despertado interesse e discussão entre pesquisadores em diversas uni-

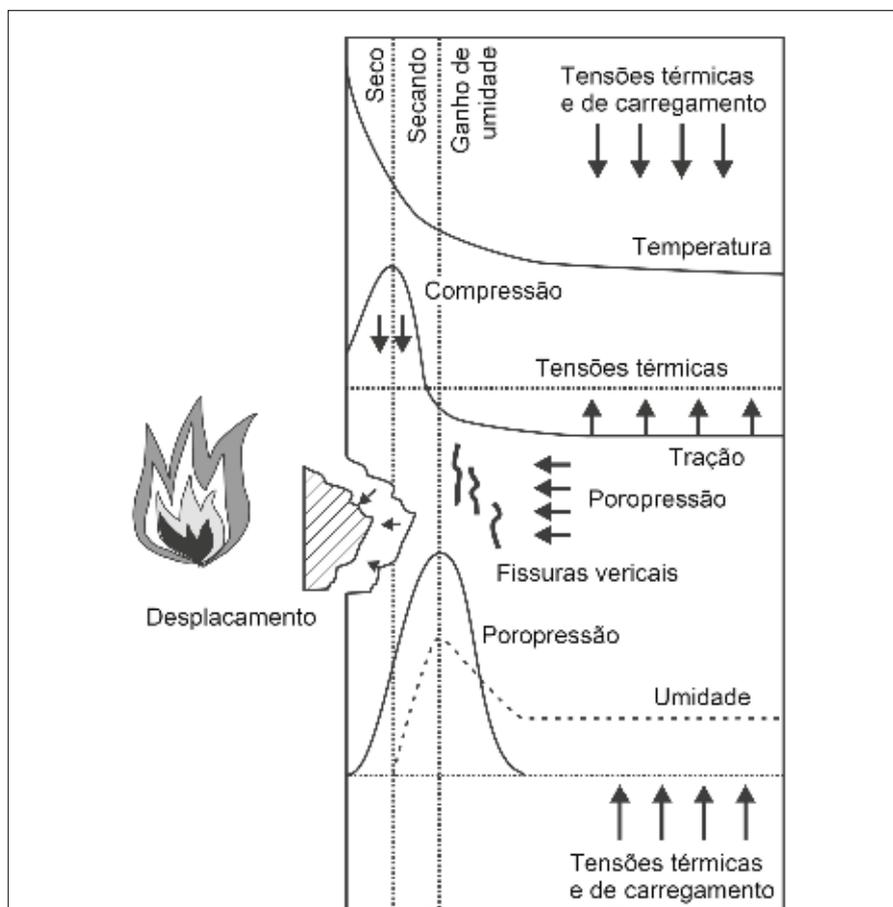
versidades e centros de pesquisa. Visando contribuir para esta demanda, criou-se em 2015 um núcleo de pesquisa sobre o tema no Itt Performance – Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil da Unisinos. O presente artigo apresenta resultados experimentais obtidos no âmbito deste projeto, onde foi estudado o comportamento de elementos estruturais em escala real (pilares e painéis pré-fabricados) submetidos a ensaios de resistência ao fogo.

2. ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Considera-se que, mesmo após décadas de pesquisas, ainda não foi possível compreender com precisão a

relação entre os fatores que ocasionam o deslocamento, o que limita o desenvolvimento de modelos de previsão fidedignos quanto ao comportamento das estruturas de concreto em situação de incêndio. Por estar atrelado a vários fatores, muitos deles combinados entre si, os resultados de estudos têm levado a divergências entre os pesquisadores acerca da caracterização dos parâmetros que são indutores do fenômeno do deslocamento.

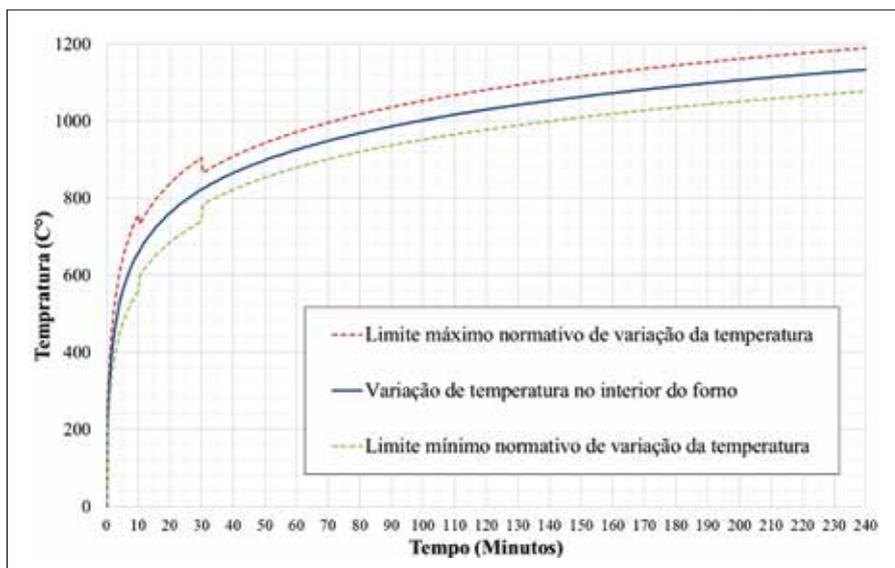
A maior parte desses estudos tem sido realizada em muflas elétricas, em corpos de prova de concreto sem nenhum tipo de reforço, expostos a taxas de aquecimento constantes. Uma das principais limitações deste tipo de



Fonte: Klingsch (2014, p. 31)

► **Figura 1**
Mecanismos de desenvolvimento do fenômeno de deslocamento





► **Figura 2**
Curva padrão de incêndio em edificações

avaliação se refere às condições dos corpos de prova, uma vez que o programa de aquecimento padronizado para ensaios de resistência ao fogo é difícil de ser executado pela necessidade de equipamentos com alto poder calorífico. Por outro lado, estudos realizados em corpos de prova não contemplam as diversas variáveis de uma

estrutura de concreto real, como as dimensões da seção transversal de um elemento, presença e configuração de armaduras, condições de vinculação e carregamento, que governam a distribuição de temperaturas e o estado interno de tensões do elemento.

Obviamente que estudos realizados em corpos de prova permitem obter uma ideia de padrão de comportamento e são importantes para o desenvolvimento de estudos prévios. No entanto, a influência do comportamento de um elemento estrutural na resistência ao fogo será conhecida apenas pela realização de ensaios que representem a realidade. Mesmo assim, a variabilidade nos resultados poderá ser elevada, visto a sensibilidade do material à ocorrência de tal fenômeno.

A seguir serão apresentados os resultados de estudos realizados em elementos de concreto para verificar a influência que fatores exercem na ocorrência do fenômeno de deslocamento. Sendo assim, foram avaliados pilares de concreto armado com diferentes espessuras de cobrimento das armadu-

ras e diferentes traços de concreto. A influência do tempo de cura foi avaliada em painéis de concreto pré-fabricados, além do tipo de reforço empregado, de acordo com os procedimentos apresentados a seguir.

2.1 Procedimento de ensaio

A avaliação da resistência ao fogo de sistemas construtivos é realizada por meio do procedimento estabelecido pela norma ISO 834-1 (ISO, 2014), que serviu de base para os procedimentos das normas brasileiras NBR 5628 (ABNT, 2001) e NBR 10636 (ABNT, 1989) para ensaios de elementos estruturais e ensaios de paredes de vedação, respectivamente. Apesar dessas normas possuírem algumas diferenças em seus procedimentos, o programa de aquecimento (Figura 2) e requisitos exigidos na determinação do tempo de resistência ao fogo são os mesmos: estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico.

Os ensaios de resistência ao fogo foram realizados em um forno vertical aquecido por quatro queimadores com gás liquefeito de petróleo, localizados nas paredes laterais da câmara interna do forno, que possui 2,5 m de altura, 2,5 m de largura e 1,0 m de profundidade. O forno é controlado por pressão diferencial, com potência de aquecimento total de 654 kcal/h, sendo 396 kcal/h na parte inferior e 258 kcal/h na parte superior, programado para realizar o aquecimento automático de acordo com a curva padrão.

Neste trabalho são apresentados os resultados da avaliação dos elementos após sua exposição ao programa térmico, por meio da inspeção visual e da determinação da perda de seção transversal, quando possível.



► **Figura 3**
Forno vertical empregado na realização dos ensaios

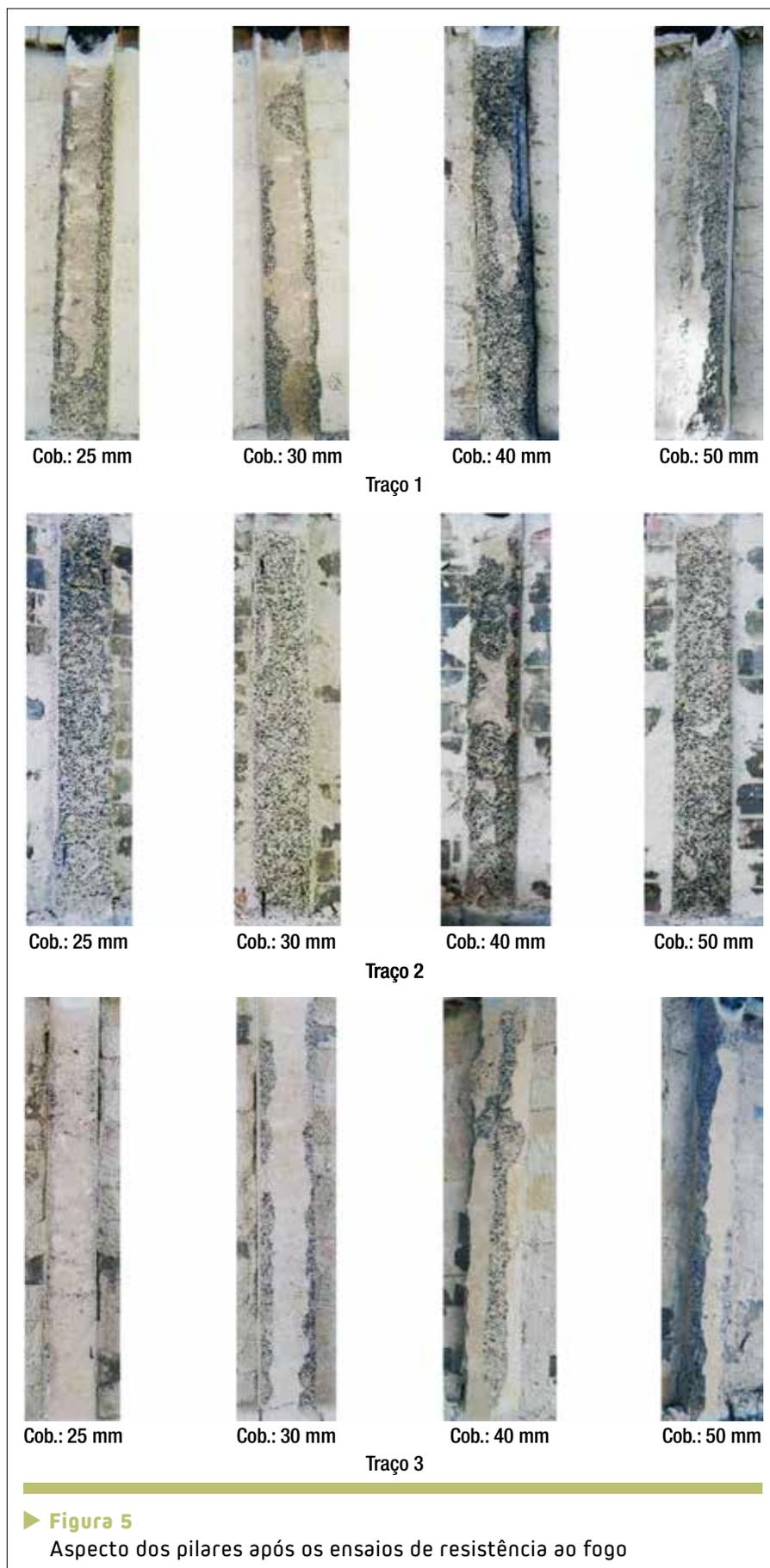
2.2 Estudo em pilares de concreto armado – influência do traço de concreto e da espessura de cobrimento

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência que a relação a/c da composição do concreto, a espessura de cobrimento e o diâmetro das barras das armaduras principais exercem sobre a ocorrência do fenômeno de deslocamento. Para tanto, foram avaliados 12 pilares de concreto armado pré-fabricados em escala real, projetados a partir da relação entre quatro espessuras de cobrimento e três composições de concreto. Os pilares possuíam 300 cm de altura e seção transversal quadrada com 25 cm de lado (BOLINA, 2016).

A configuração de armaduras empregada em todos os pilares é a mesma, variando-se apenas a espessura de cobrimento (25 mm, 30 mm, 40 mm e 50 mm). Na face dos pilares exposta ao aquecimento, foram adotados dois diâmetros de armadura longitudinal comumente empregados neste tipo de elemento estrutural: 10 mm e 16 mm. A armadura longitudinal na face não exposta ao aquecimento foi constituída



► **Figura 4**
Protótipo de ensaio dos pilares



► **Figura 5**
Aspecto dos pilares após os ensaios de resistência ao fogo

por duas barras com diâmetro de 8 mm. Os estribos, barras de diâmetro 6,3 mm e espaçados a cada 15 cm, foram amarrados com gancho de amarração em ângulo reto. Todas as armaduras foram constituídas por aço CA-50.

As misturas foram produzidas com os mesmos materiais: cimento CPV-ARI, areia quartzosa, agregado graúdo basáltico e aditivo plastificante. O teor de argamassa e o abatimento dos concretos foram fixados em 52% e 100 mm, respectivamente, variando o consumo de cimento e a relação a/c. Os resultados de resistência à compressão potenciais foram 47,9 MPa, 61,9 MPa e 75,6 MPa, representativos dos traços 1, 2 e 3, respectivamente.

O sistema desenvolvido para o ensaio consistiu em dois pilares embutidos em uma parede de alvenaria sobre uma estrutura metálica acoplável ao forno vertical, de modo que um lado e dois cantos dos pilares fossem expostos às elevadas temperaturas (Figura 4). Todos os pilares foram expostos por 240 minutos, sendo realizadas medições de temperatura na amostra e monitorados ruídos que pudessem caracterizar a ocorrência de deslocamento, principalmente do tipo explosivo.

Durante a realização dos ensaios de resistência ao fogo foram observa-

dos comportamentos distintos entre as amostras, principalmente no que se refere à liberação de água pelos pilares e aos ruídos que pudessem caracterizar a ocorrência do deslocamento do concreto no interior do forno. A duração dessas manifestações não ultrapassou 35 minutos do ensaio e foram acompanhados por liberação de água e vapor pela superfície não exposta às altas temperaturas. O aspecto dos 12 pilares após os ensaios é apresentado na Figura 5.

É possível verificar que a ocorrência do deslocamento do concreto se deu predominantemente nas arestas dos pilares e, em alguns pontos, alcançou toda a seção transversal exposta ou a exposição da armadura. Após os ensaios, foi possível verificar que pedaços de concreto ficaram presos no revestimento interno do forno, o que caracteriza a ocorrência do fenômeno de deslocamento do tipo explosivo em alguns ensaios. A Figura 6 apresenta a relação entre os valores de resistência à compressão axial e a perda de seção transversal média.

Verifica-se que, nas condições deste estudo, o grau de ocorrência do fenômeno de deslocamento pôde ser previsto por uma curva onde existem valores críticos de resistência à compressão, de acordo com a espessura

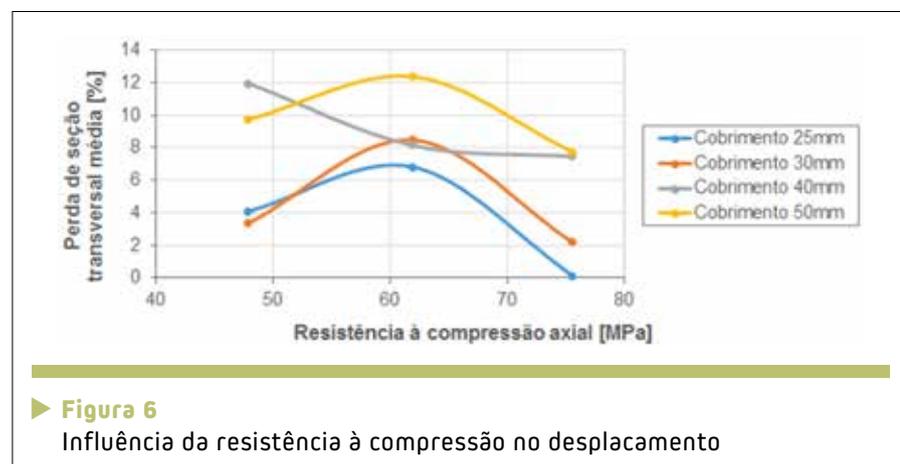
de cobrimento utilizada. Observou-se, nas condições do estudo, tendência ao aumento do deslocamento com o aumento da resistência à compressão axial do concreto até valores da ordem de 60,0 MPa. Para valores de resistência à compressão superiores a 60,0 MPa, o grau de deslocamento começou a diminuir.

O menor grau de deslocamento em concretos com valores de resistência inferiores a 60,0 MPa pode ser explicado pelo fato de esses concretos serem mais permeáveis e terem uma menor resistência à tração, reduzindo a pressão no interior dos poros causada pelo processo de evaporação da água. Por outro lado, o menor grau de deslocamento para valores de resistência superiores a 60,0 MPa pode ser explicado por sua maior resistência à tração e, portanto, por sua capacidade de absorver as tensões que provocam o deslocamento do concreto. Sendo assim, pode-se afirmar que, para as condições estudadas, há um valor de resistência à compressão crítico para a ocorrência do fenômeno de deslocamento, sendo, neste caso, na ordem de 60,0 MPa.

Um trabalho mais detalhado sobre este estudo, abordando resultados de medições de temperatura e outras análises, já foi aceito para ser publicado nas próximas edições da Revista Ibraccon de Estruturas e Materiais.

2.3 Estudo em painéis de concreto – influência do tipo de reforço

Buscando-se comparar a influência do tipo de reforço estrutural na resistência ao fogo de painéis de concreto, foram realizados três tipos de painéis: com reforço em armadura convencional,



► **Figura 6**
Influência da resistência à compressão no deslocamento

com armadura protendida e reforçado com fibras de polipropileno (GIL et al., 2017). Os painéis com dimensões 315x100x10cm foram justapostos para preencher um vão com largura de 315 cm e altura de 300 cm, todos empregando o mesmo traço de concreto, com resistência característica à compressão de 30 MPa. Os painéis de concreto reforçados com fibras de polipropileno tinham como armadura convencional uma malha de aço com espessura de cobertura de 20 cm em sua face exposta ao fogo e espessura de cobertura de 25 mm em sua face não exposta ao fogo. Foram adicionadas 3 kg/m³ de fibra de polipropileno na mistura de concreto. Cada placa de concreto protendido foi produzida com 6 barras de diâmetro 12.5 mm, distribuídas no sentido de maior comprimento da placa. As amostras foram submetidas ao programa térmico padronizado aos 28 dias de idade pelo período 4 horas e o aspecto final de cada tipo de painel pode ser verificado na Tabela 1.

Os painéis em concreto protendido exibiram menor desempenho quando expostos a altas temperaturas, porque não cumpriram o requisito mínimo de estabilidade. O deslocamento do concreto em toda a seção transversal foi observado 18 minutos após o início do teste. Os painéis de concreto armado convencional atingiram requisitos adequados de estabilidade e integridade durante 240 minutos, falhando no critério de isolamento térmico aos 210 minutos. O deslocamento do concreto foi registrado uniformemente na superfície do painel inferior. Os painéis reforçados com fibras de polipropileno mantiveram sua integridade, conforme apresentado na literatura. A amostra analisada alcançou requisitos de estabilidade e

integridade por 240 minutos. No entanto, a amostra falhou no critério de isolamento térmico 140 minutos após o início do teste. O deslocamento do concreto foi registrado em pontos isolados e no nível mais baixo.

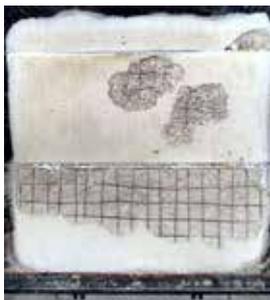
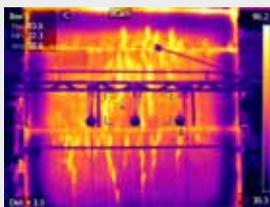
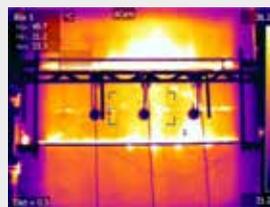
A liberação de água e ruídos por deslocamento dos painéis armado e protendido ocorreram cerca de 20 minutos após o início do ensaio, conforme caracterizado pela literatura para ocorrência do fenômeno. Contudo, observou-se que o uso de reforço (com e sem tensão) e a presença de fibras de polipropileno tiveram uma influência significativa na ocorrência do deslocamento do concreto. Os painéis reforçados com fibras não apresentaram deslocamento do concreto, atendendo aos critérios normativos por um período mais longo, determinado pelo critério de isolamento térmico. Verificou-se ainda que o selante elastomérico usado para selar as juntas deteriorou-se, po-

rém sem prejudicar o comportamento e o desempenho dos sistemas.

2.4 Estudo em painéis de concreto armado – influência do tempo de cura

Visando comparar a influência do teor de umidade na resistência ao fogo de painéis de concreto, foram ensaiadas amostras com 7, 14, 28, 56 e 84 dias de cura, submetidas à cura ambiente (MOREIRA, 2016). Cada amostra consistiu em três painéis com dimensões de 100 x 315 x 10 cm, unidas e seladas com selante resistente ao fogo. O concreto utilizado possuía resistência à compressão de 37,8 MPa aos 7 dias; 43,5 MPa aos 14 dias; 59,9 MPa aos 28 dias; 70,8 MPa aos 56 dias e 75 MPa aos 84 dias. O reforço dos painéis foi composto de barras de diâmetro de 5 mm e 8 mm, com cobertura de 46 mm.

► Tabela 1 – Verificação da influência do tipo de reforço na resistência ao fogo de painéis de concreto

Tipo de painel		
Painel de concreto armado	Painel de concreto armado reforçado com fibras poliméricas	Painel de concreto protendido
		
		

O aspecto final das amostras, conjuntamente com imagens termográficas registradas aos 90 minutos, pode ser verificado na Tabela 2.

É possível verificar que o tempo de cura afeta significativamente o comportamento dos painéis. As duas primeiras amostras, de 7 e 14 dias, apresentaram alto grau de deslocamento em suas placas constituintes. Com o acréscimo de tempo de cura, a área deslocada reduziu, sendo nula na amostra com 84 dias de tempo de cura. Ressalta-se que,

nas duas primeiras amostras, foi possível identificar estalos já nos primeiros 10 minutos de ensaio. Também se verificou maior perda de água nestas amostras, o que ocorreu de forma mais reduzida na amostra com 84 dias de cura.

A influência do tempo de cura também afetou o tempo de resistência ao fogo das amostras. Em relação à estabilidade, todas as amostras apresentaram comportamento satisfatório. Em relação à estanqueidade, a amostra de 7 dias apresentou desempenho insatisfatório, per-

dendo esta propriedade aos 72 minutos. As demais cumpriram o requisito pela duração completa do ensaio. Por fim, o isolamento térmico foi o fator determinante para o desempenho das amostras, sendo a perda desta propriedade associada diretamente ao tempo de cura. A amostra de 84 dias apresentou o melhor desempenho de todos, perdendo seu isolamento térmico apenas aos 156,9 minutos.

3. CONCLUSÃO

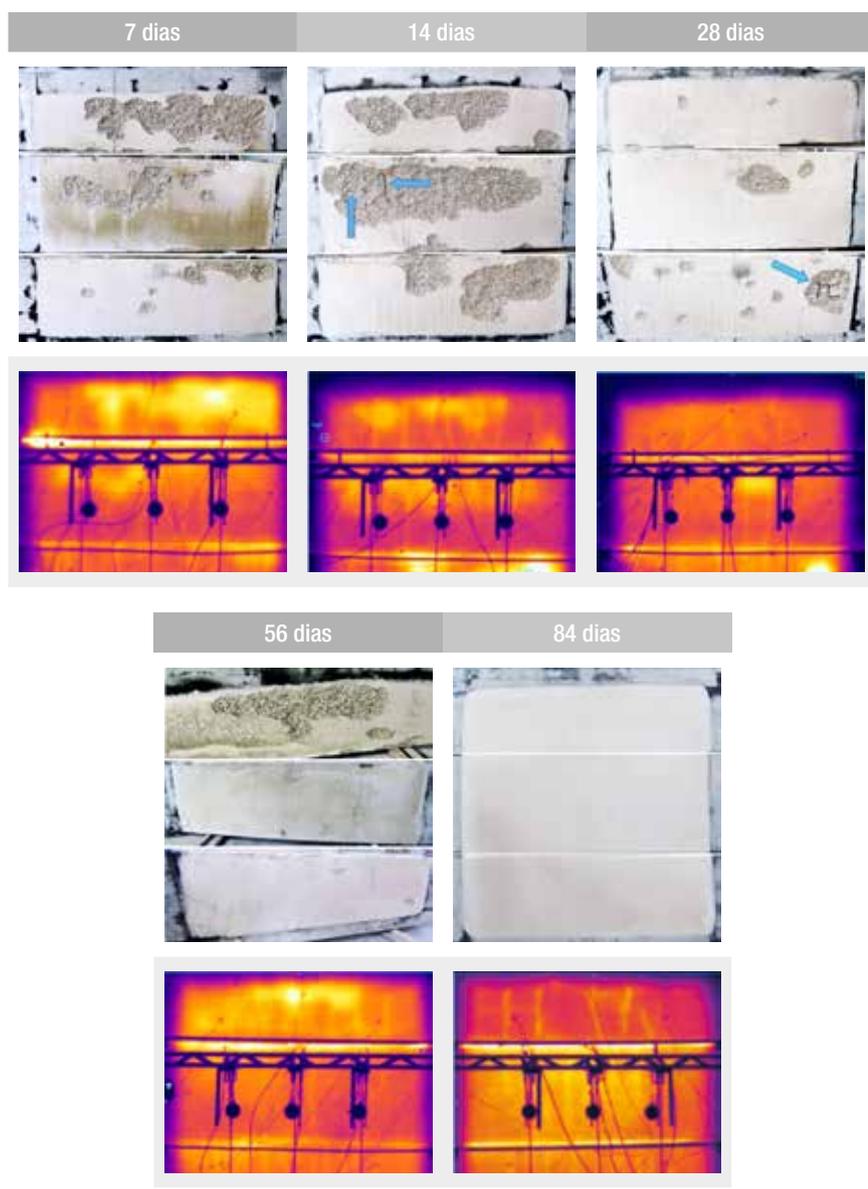
O fenômeno do deslocamento do concreto é um processo complexo, que envolve diversas variáveis e parâmetros intervenientes. O presente artigo apresentou um panorama geral dos programas experimentais desenvolvidos no Itt Performance/Unisinos. Como característica, ressalta-se o ineditismo das pesquisas realizadas, principalmente por se tratar de amostras em escala real ensaiadas em forno vertical normalizado.

Em relação aos ensaios de pilares, foram avaliadas diferentes composições do concreto, espessuras de cobrimento e diâmetros das barras. Verificou-se maior tendência ao deslocamento nos pilares com maiores espessuras de cobrimento e valores de resistência intermediários, na ordem de 60 MPa. Esse comportamento pode ser explicado pela maior porosidade e permeabilidade destes concretos que permitem o alívio das pressões causadas pela vaporização da água, enquanto concretos com resistência maior do que 60,0MPa apresentam maior resistência à tração, capazes de absorver as tensões provocadas.

Quanto aos painéis, a pesquisa desenvolvida avaliou três tipos de painéis pré-fabricados: de concreto armado, de concreto armado com fibras poliméricas e de concreto protendido. Em termos de deslocamento, os painéis com fibras apresentaram o melhor desempenho, enquanto os painéis de concreto protendido apresentaram o fenômeno na forma explosiva.

Outro estudo buscou avaliar a

► Tabela 2 – Verificação da influência do tempo de cura na resistência ao fogo de painéis de concreto



influência do tempo de cura no desempenho de painéis pré-fabricados de concreto armado. Verificou-se que o tempo de cura, e por consequência, o teor de umidade, influencia diretamente no grau de deslocamento do concreto, sendo observado deslocamento intenso nas amostras de 7 dias e 14 dias de tempo de cura. Por sua vez, o fenômeno não foi observado na amostra com 84 dias de cura.

De maneira geral, verificou-se experimentalmente a complexidade e a variabilidade do fenômeno em questão. Pode-se perceber que este está atrelado não apenas às propriedades do concreto, mas também a condições de cura, formas geométricas e tipo de reforço utilizado. Ressalta-se que estudos experimentais como estes, em larga escala, próximas a condições reais, auxiliam

projetistas a prever o comportamento do concreto em situação de incêndio, incrementando a segurança das estruturas e dos usuários em casos de sinistros.

4. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil – itt Performance/UNISINOS pelo apoio financeiro para realização destas pesquisas. ➤

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KLINGSCH, E. W. H. Explosive spalling of concrete in fire. 2014. 252 f. Dissertação (Doctor of Sciences) -- Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Zürich, 2014.
- [2] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 834: fire resistance tests – Elements of building construction. Geneva, 2014.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.
- [5] BOLINA, Fabricio Longhi. Avaliação experimental da influência dos requisitos de durabilidade na segurança contra incêndio de protótipos de pilares pré-fabricados de concreto armado. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2016.
- [6] GIL, A.; PACHECO, F.; CHRIST, R.; BOLINA, F.; KHAYAT, K.; TUTIKIAN, B. Comparative Study of Concrete Panels' Fire Resistance. ACI Materials Journal, v. 114, n. 5, p. 755-762, 2017.
- [7] MOREIRA, M. A. B. Estudo da influência do teor de umidade na resistência ao fogo de placas maciças pré-fabricadas de concreto. São Leopoldo, 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2016.



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

Patrocínio



O ensino de Engenharia passado a limpo

CLAUDIO DE MOURA CASTRO – ACESSOR DA PRESIDÊNCIA

GRUPO POSITIVO

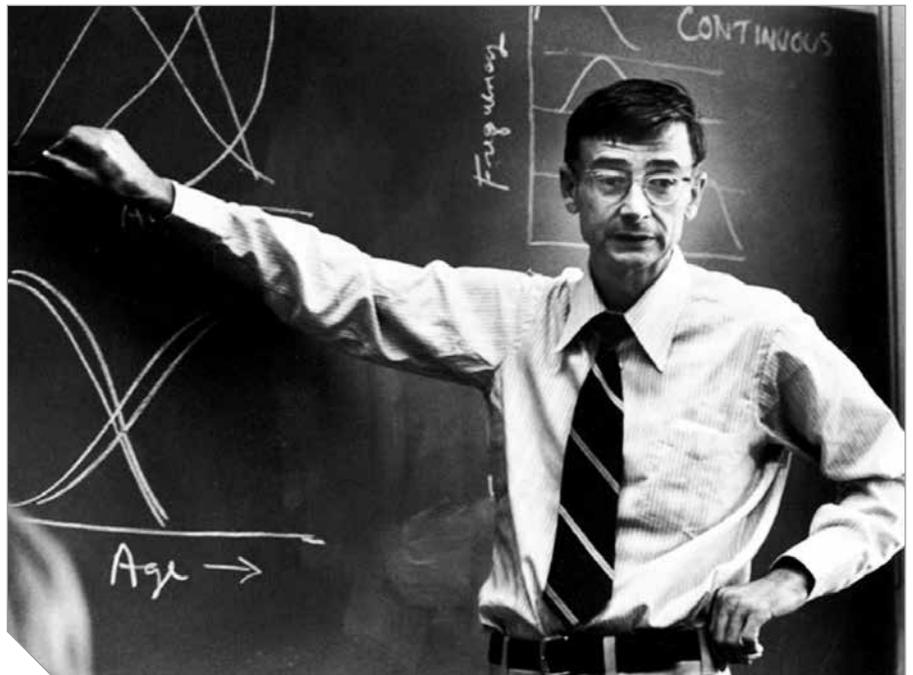
Como é possível que uma profissão cujo papel é construir o novo mundo possa ficar tão atrasada na preparação dos futuros engenheiros, a quem caberá esta tarefa? Esse é o tema do presente ensaio.

Revisitamos a evolução do ensino da Engenharia, incluindo o Brasil. Em seguida, considerando a inteligência das mãos, pregamos um ensino mais prático e literalmente, com a mão na massa. Diante deste desafio, revisamos as velhas e as novas maneiras de se conduzir uma sala de aula. Finalmente, tentamos alinhar as novas tendências no ensino, inauguradas em algumas instituições de ponta.

I. NASCIMENTO E EVOLUÇÃO DO ENSINO DE ENGENHARIA

O ensino para as carreiras científicas tem uma longa história e pouca mudança. A maneira de se ensinar Física ou Biologia é mais ou menos a mesma que se observava em séculos pretéritos. Simplificando, é aula teórica e laboratório.

Mas certas carreiras profissionais, cujo ensino é mais recente, encontram uma escolha difícil de enfrentar, pois têm um lado teórico distante de um outro prático. O que é rabiscado no quadro negro é uma imagem esmaecida do mundo real. É árduo o desafio de combinar os dois?



Os médicos que conhecemos são o produto de um cruzamento que se deu no século XIX. Intelectuais que nem sequer tocavam nos pacientes fundiram-se com os barbeiros que eram também cirurgiões. Surpreendentemente, conseguiu-se uma excelente harmonia entre o ensino das teorias e a clínica médica. De fato, é o único curso profissional em que os dois lados convivem bem.

Em que pese esta proeza do ensino médico, a convivência do ensino das teorias com o desempenho na prática sempre foi o calcanhar de Aquiles do ensino das profissões. A Administração de Empresas é um caso clássico. Busca preparar pessoas para a

prática, mas seu ensino se refugia na exposição de teorias e pseudoteorias. De prática, quase nada.

A Engenharia é um caso muito mais convoluto. Faz pouco mais de um século, muitos dos engenheiros não eram mais do que mecânicos práticos. A grande revolução se dá ao início do século XIX, com a fundação da *École Polytechnique*, que vai para o extremo oposto, pois foi fundada por cientistas. Cria-se então um curso com muita ciência, muita Matemática, atividades em laboratórios e quase nada de prática. Os polos da prática sem teoria e da teoria sem prática são os casos extremos dos muitos modelos de engenharia atuais.

Curiosamente, a *Polytechnique* foi a fonte de inspiração para uma radical mudança de rumo do ensino americano. Não deve ser coincidência, mas a *École Polytechnique* é uma escola militar e a americana que primeiro a copiou foi *West Point*, que além de ensinar Engenharia, é a academia militar do Exército Americano. O modelo foi progressivamente adotado pelas demais escolas de engenharia que se formavam ou se transformavam.

Sua escola de engenharia combinou a “overdose” de teoria francesa com a sólida índole prática de tudo que se faz naquele país. Ademais, manteve no currículo um substancial conteúdo de Humanidades – inexistentes na tradição francesa das escolas puramente profissionais.

Aparte esse casos polares, o mundo tendeu para soluções paralelas. Na Alemanha, forma-se o *Ingenieur*, mais teórico, em paralelo aos técnicos formados nas *Fachhochschulen*. Com as variantes esperadas, o modelo duplo se reproduziu em boa parte do mundo. Na própria França, em contraponto à Engenharia teórica da *Polytechnique*, foram criados os *Institutes Universitaires de Technologie (IUT)*, versões mais práticas da Engenharia.

2. COMO O BRASIL CRIOU A SUA ENGENHARIA

Em grande medida, até a metade do século XX, nossa Educação se inspirou na França. Dada a forte influência cultural deste país, optamos por copiar a *École Polytechnique*. Assim sendo, há muita Matemática e muita teoria. Mas como as cópias tendem agravar as fraquezas do copiado, temos pouco laboratório e ainda menos prática.

Note-se, mesmo na França, trata-se de um modelo elitista, voltado para os poucos candidatos de excelente preparação, o que não é mais o caso entre nós. De fato, sendo um modelo único para todos, chegam às nossas engenharias alunos sem a base científica e de Matemática requerida.

Mas, o que é pior: não temos a solução dupla da França e Alemanha. O tecnólogo deveria cumprir esse papel. Mas nem em quantidade e nem em qualidade consegue dar conta do recado.

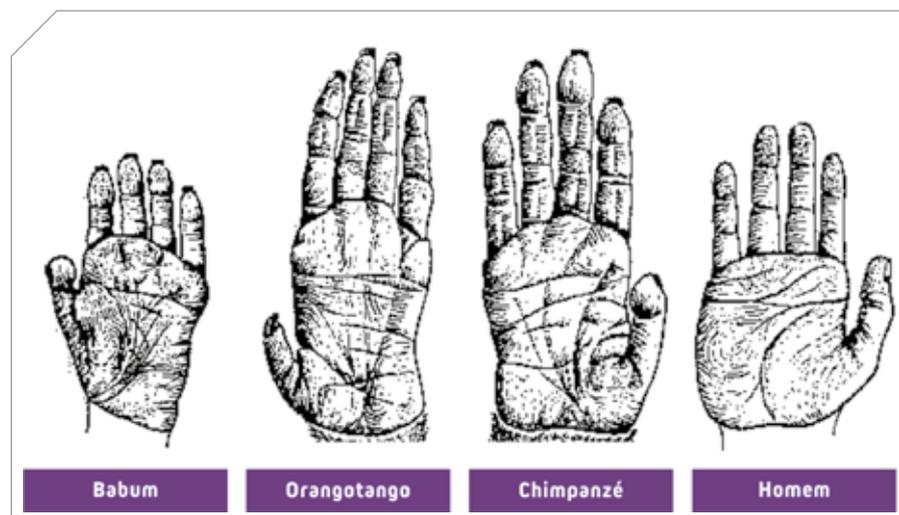
Pensemos na construção civil. O nosso peão é tão analfabeto quanto o argelino que carrega tijolos na obra francesa. Mas acima dele há um francês com um *Certificat d’Aptitude Professionnel* (equivalente ao SENAI). No patamar seguinte está o graduado de um *Lycée Technique* (equivalente ao nosso técnico). Ainda mais alto está o graduado da IUT. E no topo, o soberbo “*polytechnicien*”. Ou seja, há gente com o perfil requerido em todos os níveis da hierarquia da obra.

Dentre nós, acima do peão há o encarregado, um ex-peão, cuja formação é improvisada e cheia de limitações. Não há técnicos e nem tec-

nólogos, pois seu número é ínfimo. E mandando em todo mundo, está um engenheiro que quase nada sabe dos processos sob a sua supervisão. Ou seja, há um vácuo profissional entre o peão e o nosso “*polytechnicien*”. O resultado bem conhecemos, um deles sendo a perda de 30% de materiais na obra. Poucos discordam de que estamos diante de um modelo amplamente disfuncional. Em outros ramos da Engenharia, os problemas podem ser menores, mas não estão ausentes.

3. A INTELIGÊNCIA DAS MÃOS E A ENGENHARIA

Na transformação para *Homo sapiens*, deixando de ser um primata irrelevante, duas mudanças chamam a atenção. A primeira é o polegar, que cresce, tornando a mão uma ferramenta muito mais versátil e poderosa. A segunda é o cérebro, que se desenvolve, passando de 300 para 1300 gramas. Mas essas não são evoluções independentes. O cérebro cresce para permitir à mão façanhas antes impossíveis. E a mão estimula o cérebro a crescer, por abrir as portas para manipulações cada vez mais ambiciosas.



Como isso acontece simultaneamente, as conexões neuronais das mãos se localizam nos campos mais novos do cérebro, responsáveis pelo raciocínio analítico – que avançava também nesta etapa. Assim sendo, a mão e a inteligência estão fisicamente conectadas. Dizendo de outra forma, há uma inteligência da mão. Vejamos o que dizem autores acima de qualquer suspeita:

- ▶ “Por ter mãos, o homem é o mais inteligente dos animais”
(Anaxágoras)
- ▶ “O que temos que aprender, aprendemos fazendo”
(Aristóteles)
- ▶ “A mão é a janela da mente”
(Kant)
- ▶ “A Inteligência da mão existe”
(Charles Bell)
- ▶ “Fazer coisas e fazê-las melhores está na essência da humanidade”
(Piaget)
- ▶ “Quando a mão e a cabeça se separam, o resultado é uma disfunção mental”
(R. Sennet)

Se aprendemos com as mãos, uma profissão cujo *leit motiv* é fazer não deveria jamais perder a ajuda das mãos ao ser estudada. Como diz uma corporação de ofício francesa: “O

conhecimento mora na cabeça, mas entra pelas mãos”. Ao construir o que quer que seja, as mãos aprendem e ensinam para o cérebro.

Com esses comentários, passamos a examinar os equívocos da didática predominante nos cursos de Engenharia – que aliás, neste particular, não é muito diferente das outras carreiras. Em seguida, falamos de sua evolução recente.

4. ERROS E ACERTOS NA SALA DE AULA

O ensino de Engenharia comparilha com quase todos os outros cursos os mesmos problemas de uma pedagogia velha e equivocada. Mas isso não é um grande consolo.

Apenas ouvir o professor jamais foi uma boa maneira de aprender. Também pouco é encher o quadro negro e obrigar os estudantes a copiar e memorizar o que lá está. Ensinar assuntos cuja utilidade os alunos não percebem é uma péssima ideia. Entupir os alunos com mais matéria do que conseguem digerir é outro erro contumaz, pois se não dá tempo para entender, o jeito é decorar. Ouvir falar de tudo e não aprender nada em profundidade é o resultado dessa pedagogia.

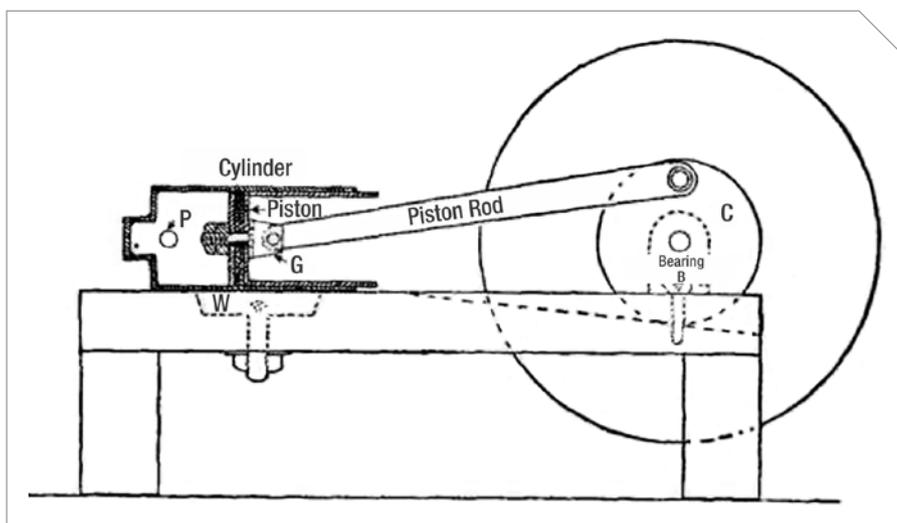
Como na Medicina, a didática da Engenharia deveria ser mais do que óbvia. Uma profissão em que se fazem coisas só pode se aprender fazendo. Mas nos cursos não se pratica, apenas se ouve falar de prática. Lembremo-nos, tecnologia se aprende fazendo e não vendo a foto da máquina no livro.

Esses são os problemas, sérios e muito bem conhecidos. De fato, a educação acontece na sala de aula e sem uma aula eficaz não há salvação. O lado bom é que conhecemos também os caminhos certos.

A primeira lição importante é que só se aprende quando se aplica. O professor dá uma aula brilhante. O aluno fica admirado e acredita que aprendeu. Mas se for proposta uma aplicação, verá que não havia aprendido. Tem então que lutar bravamente com o assunto novo, até conseguir entender. Mas na volúpia dos currículos frondosos e exagerados, raramente se aplica o ensinado. Fica então o aluno na ilusão de que sabe, talvez quebrada no dia da prova – se esta pedir aplicação. Se isso não acontecer, é na obra ou na fábrica que vai tomar conhecimento das profundezas da sua ignorância.

É preciso entender claramente o que é aplicação. Se a resposta está no livro ou foi mencionada pelo professor, não é aplicação, mas um mero exercício de memória. Aplicar é ser capaz de resolver um problema que não foi proposto, que não é o mesmo da aula. No fundo, é testar a portabilidade do conhecimento.

Em uma área aplicada como a Engenharia, a prática não é simplesmente aplicar mecanicamente números a um algoritmo. A teoria não explica tudo, não prevê tudo. É necessário



experimental e, por via de consequência, errar. E errar muito não é má ideia. É a chance de entender em maior profundidade. A tolerância diante do erro faz parte da profissão. Obviamente, não é na construção da imensa ponte que se defende o direito de errar. É no processo de aprender.

Outro princípio mais do que central no aprendizado é a contextualização. De uma forma ou de outra, os bons professores sempre mostraram as ideias novas no bojo de outras já familiares aos alunos. Esta boa prática foi confirmada por ampla pesquisa, demonstrando que quando se aproxima a ideia nova do que o aluno já conhece, o nível de aprendizado é bem superior.

Uma coisa é decorar uma fórmula. Outra coisa é entender o que realmente ela quer dizer, como formulação sintética de uma teoria relacionando algumas variáveis. Há inúmeras maneiras de contextualizar, para que a lei seja realmente aprendida e não apenas memorizada. Por exemplo, contando histórias, usando metáforas, analogias ou através de problemas e projetos.

Um dos fracassos mais conhecidos nos cursos de Engenharia é a altíssima reprovação na disciplina de Cálculo I. De fato, pode chegar a 50%. Mas a razão é simples, o cálculo não é contextualizado. Os professores não explicam para que serve cada conceito ou como pode ser aplicado no mundo real.

Felizmente, há bons exemplos de inovação por aí. Devemos considerar quatro direções que está tomando o novo ensino de engenharia.

1 – *O uso do método indutivo*, substituindo a tradição dedutiva fran-



cesa. Tudo começa com um problema real.

2 – *Aplicação antes de aprender a teoria*. O problema real desperta interesse e a busca de uma solução, ainda que trôpega, prepara a cabeça para entender a teoria.

3 – *O que se ensina será contextualizado*. Como já foi dito, o novo precisa ser mostrado em uma situação real e familiar para o aluno.

4 – Mão na massa!

Obviamente, o dito acima não passa de um resumo curto das falhas e das boas práticas no ensino de Engenharia. Mas pelo menos, dá uma ideia dos principais culpados pelos maus resultados, bem como aponta para novos rumos e estratégias de ensino.

5. REPENSANDO A ENGENHARIA E SEUS CURSOS

Grandes cabeças estão hoje tentando repensar os cursos de Engenharia. O exemplo mais destacado é o *Olin Institute*, cujo curso foi criado do zero e concebido por um time ex-

cepcional de figurantes. A Universidade de Illinois adotou o modelo do Olin e imagina-se que Olin será imitado múltiplas vezes, pois foi criado com esta intenção. As grandes universidades americanas experimentam também em outras linhas. A Inglaterra se revela talvez como o maior laboratório de experimentos em novos modelos de cursos de Engenharia.

No Brasil, ainda que tardiamente, instituições como a Politécnica da USP, o ITA e o IME formulam programas ambiciosos de reformulação dos seus cursos. E resta lembrar o Insper que criou um curso com assessoria direta de Olin. Diante deste início de movimentação, outras instituições começam a repensar seus cursos. O momento é interessante.

Vale a pena tentar rascunhar os novos rumos pensados para o ensino da Engenharia. O que está dito adiante foi fortemente inspirado por um encontro no ITA, no qual grandes figuras do ensino da Engenharia, brasileiros e estrangeiros, discutiram o assunto¹.

¹ E TAMBÉM, PELO JÁ CLÁSSICO LIVRO DE D. GOLDENBERG E M. SOMMERVILLE, A WHOLE NEW ENGINEER (DOUGLAS: TREEJOY: 2014)



Como foi claramente dito no evento citado, a Ciência busca entender o mundo. Já a Engenharia usa a Ciência para construir ou mudar o mundo. Mas a esse legado científico, soma milênios de experiência de fazer. Dito de outra forma, engenharia é combinar ciência com “fazeção”. Também é preciso entender, Engenharia não é um corpo estático de conhecimentos, mas um processo de usar ciência e experiência para fazer o que quer que seja.

A Engenharia combina a beleza da ciência com a solução de problemas reais. Um dos seus grandes atrativos é estar sempre com um pé em cada lado desta dualidade teoria/“fazeção”.

No modelo Olin, há sempre a preocupação de começar com um problema, ou melhor, um mistério. Por que o viaduto caiu? Por que a cozinha explodiu? Por que o acidente com o avião? Tenta-se dar ao curso uma índole de decifrar mistérios e enfrentar desafios.

Fala-se sempre em resolver problemas como o objetivo de um bom curso de Engenharia. Mas em Olin, isso é pouco, considera-se essencial descobrir onde está o problema e não apenas encontrar soluções para os problemas propostos.

Ao longo do curso, espera-se que os alunos criem empresas de verdade. Com efeito, está disponível a cada aluno um crédito de 50 mil dólares para iniciar a empresa concebida.

Outra característica interessante do curso é a presença próxima das empresas, não apenas colaborando, mas discutindo o que deve e o que não deve ser ensinado.

Olin segue a tradição americana de oferecer um ciclo de educação geral dentro dos quatro anos de graduação (em contraste com a chamada Escola Napoleônica francesa, adotada no Brasil, na qual o ensino superior é puramente profissional). Não obstante, vai um pouco mais longe, insistindo nas Humanidades, nas leituras e na redação. Ou seja, o objetivo é formar um aluno que enxerga além das equações e das oficinas.

Há também uma preocupação de instilar valores, tais como o cultivo da cultura da inovação e da percepção da beleza nas obras. Além disso, o aluno deve aprender a trabalhar em equipe. Tem também que entender que o engenheiro imprevista e que tudo pode ser melhorado. Como já se disse, o bom engenheiro é quem faz com um dólar o que qualquer idiota gasta dois. E para tais empreendimentos, convive sempre com o risco e a incerteza.

Seja em Olin, seja nas grandes escolas de engenharia que se reinventam nos dias de hoje, há uma visão clara de que a missão do engenheiro é criar um mundo novo, diferente e melhor. O engenheiro deve sempre estar se perguntando: o que está mal, como posso melhorar, como posso consertar ou revolucionar alguma coisa? O desafio da criação e da invenção é permanente.

Mas ao mesmo tempo, os pés precisam estar solidamente no chão. Só há inovação quando alguém compra. Engenharia é a fusão da ciência com o negócio.

Tudo tem custo e tudo pode ser feito de diferentes maneiras. O desafio é combinar uma boa solução técnica com a sua viabilidade eco-

nômica. É da natureza da profissão que sem o lado econômico não é Engenharia, mas sim alguma forma de diletantismo. Ou o cliente paga a conta ou não se sai da miragem.

E também se deve entender que sempre paira o risco de que os concorrentes consigam fazer melhor ou mais barato. A competição é parte do cotidiano de um engenheiro.

Engenharia é integrar a inovação com o negócio. Tudo começa com um bom diagnóstico: onde estamos, o que não funciona bem, o que poderia mudar, o que pode ser melhorado? Mas note-se que, nesta etapa, é mais ciência do que técnica. É na hora de encontrar e escolher soluções que se entra no seu âmago.

Voltamos a insistir, a Engenharia não é movida pela curiosidade, mas pelo negócio. Fazer é só o início. Alguém precisa comprar. Portanto, vender pode até ser mais crítico ou difícil do que criar um produto novo.

Há muitos exemplos mostrando que uma tecnologia mais ou menos, porém bem vendida, faz mais vantagem do que outra perfeita, mas que não se impôs no mercado. O exemplo clássico é o VHS que desbancou o *Betamax*, apesar de ser uma solução tecnicamente inferior.

Resumindo, os grandes centros de ensino de engenharia borbulham com propostas de mudança. Já passaram da fase de serem apenas cogitações de professores idealistas ou irrequietos. Há muitos experimentos bem sucedidos de transformação dos cursos. Mesmo no Brasil, alguns dos melhores cursos estão planejando mudanças muito significativas, seja no como, seja no que ensinar.

Assim sendo, é hora de embarcar. 

Resistência ao fogo das estruturas pré-moldadas de concreto e as considerações da ABNT NBR 9062:2017

CASSIANO DA SILVA ZAGO – ENGENHEIRO ESTRUTURAL E MESTRE EM ESTRUTURAS

LEONARDI – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

ÍRIA LÍCIA OLIVA DONIAK – PRESIDENTE EXECUTIVA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC)

MARCELO CUADRADO MARIN – DIRETOR TÉCNICO, DIRETOR DE ENGENHARIA E SECRETÁRIO DA COMISSÃO DE ESTUDOS ABNT NBR 9062

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC) – LEONARDI

I. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente artigo é apresentar os aspectos referentes às estruturas pré-moldadas de concreto em situação de incêndio, bem como os recentes estudos internacionais monitorados pela ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto), por sua participação na comissão 6 de pré-fabricação da *fib* (*International Federation for Structural Concrete*) e por sua parceria com o PCI (*Precast Concrete Institute*). Não serão aprofundados os conceitos técnicos que envolvem a resistência ao fogo, objeto dos demais artigos desta edição da Revista CONCRETO & Construções.

Dentre os aspectos da matéria de suma importância, podem-se citar: o comportamento dos elementos estruturais frente ao sinistro, o efeito do “*spalling*” nas peças de concreto armado e protendido, questões relacionadas às melhorias nos processos e produtos por meio de pesquisas e prototipagem que servem como referência para melhorias contínu-

as, e, por fim, as questões relacionadas às ligações entre os elementos estruturais e o efeito do colapso progressivo.

Para tanto, se faz necessário o entendimento de que as estruturas pré-moldadas de concreto não se tratam de elementos isolados, mas sim de uma solução estrutural, envolvendo a análise do sistema estrutural como um todo.

2. HISTÓRICO

A industrialização da construção civil tornou-se um tópico recorrente quando se trata de construções de grande porte e que exigem o atendimento de prazos ousados, sem que haja o detrimento da qualidade e o desenvolvimento de processos de execução que geram naturalmente soluções que atendam não somente o desempenho, mas forma e função. Neste cenário, a indústria do pré-moldado assimilou o conceito de qualidade e vem crescendo no decorrer dos anos, trazendo novos processos e tecnologias em seus produtos.

Quanto ao dimensionamento estrutural, é necessário prever adequada-

mente as solicitações impostas, fazendo com que a resistência do elemento seja suficiente para evitar sua ruína. Porém, mesmo uma estrutura com resistência admissível em situações de temperatura normal tem seu quadro alterado em situações de incêndio, pois, quando um elemento estrutural é submetido a altas temperaturas, as suas características mecânicas sofrem alterações, podendo ocasionar danos estruturais com possível risco de colapso.

Após estabelecido pela ABNT NBR 15200:2012 (Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio) em seu escopo que “Para estruturas ou elementos estruturais pré-moldados ou pré-fabricados de concreto aplicam-se os requisitos das Normas Brasileiras específicas. Na ausência de normas específicas, aplicam-se as recomendações desta norma”, o tema da resistência ao fogo foi abordado e contemplado na recente publicação das normas ABNT NBR 9062:2017 (Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado) e ABNT NBR 16475:2017

(Painéis de parede de concreto pré-moldado - Requisitos e procedimentos).

Nesse contexto, é necessário evidenciar o papel do projetista da estrutura e a sua responsabilidade em projetar uma estrutura pré-moldada para suportar as ações e as alterações nas propriedades mecânicas ocasionadas pelo aquecimento a altas temperaturas. Tanto é verdade que historicamente há exemplos de estruturas que sofreram tais solicitações e que, apesar dos prejuízos materiais e humanos, deixaram um legado no âmbito da segurança contra o incêndio.

Na cidade de Rotterdam, na Holanda, ocorreu em 2007 um incêndio nas garagens de um edifício de múltiplos pavimentos, localizado sob um complexo de apartamentos. Logo após o início do incêndio, ocorreu o colapso de parte do piso composto por placas alveolares protendidas. Apesar de não ter sido um colapso completo, esta falha não foi bem vista pela comunidade técnica, ocasionando assim a necessidade de se realizar um estudo abrangente para averiguar se este elemento estrutural teria sido capaz de resistir às solicitações impostas pela combinação da ação térmica e das cargas permanentes sobre as placas.

Alguns desses trabalhos foram publicados em revistas especializadas e outros resultados foram resumidos em uma carta aberta da BFBN (Federação dos fabricantes de produtos de concreto na Holanda), nos Países Baixos, em novembro de 2009 e depois em uma carta atualizada em junho de 2011, incluindo as conclusões encontradas pelos autores [1]. Esses trabalhos contribuíram de forma significativa para a compreensão da resposta mecânica das lajes alveolares quando submetidas a tal ação.

No caso do edifício Ronan Point, de 21 andares, com tipologia estrutural em

placas portantes estruturais, localizado em Londres, ocorreu o colapso progressivo de parte da estrutura devido a uma explosão de gás, causando assim a morte de quatro pessoas e ferindo mais dezessete.

A notória ruína, causada por uma solução de baixa redundância, levou a uma perda de confiança pública em edifícios residenciais de grande porte que utilizam essa tipologia estrutural, resultando dessa forma em grandes mudanças nos regulamentos de construção do Reino Unido.

Apesar dessa ruptura não ter sido ocasionada diretamente por um incêndio, e sim por uma explosão, não deixa de ser um exemplo real de uma estrutura pré-moldada que merecia uma atenção especial com relação às ações excepcionais. Van Acker, em contribuição para o livro de Chastre e Lúcio, apresenta soluções para o problema do colapso progressivo [2].

3. CENÁRIO INTERNACIONAL

Tendo em vista os casos descritos, lições podem ser aprendidas com base no desempenho de edifícios que sofreram incêndios reais. De acordo com a publicação do texto “Concrete and Fire Safety” pela The Concrete Centre [3], diferentes tipologias de estruturas de concreto danificadas pelo fogo no Reino Unido foram investigadas. Nesta investigação foram reunidas informações sobre o desempenho, avaliação e reparação de mais de 100 estruturas, incluindo edificações residenciais, escritórios, armazéns, fábricas e estações. As tipologias estruturais examinadas incluíam pisos planos, vigas e pilares, tanto pré-moldadas quanto de concreto moldado “*in loco*”.

Foi concluído que a maioria das estruturas foram reparadas e voltaram a

ser utilizadas. Para as outras que não tiveram esse destino, poderiam ter sofrido algum tipo de reforço estrutural, porém, por motivos diversos, foram demolidas. Por fim, quase sem exceção, as estruturas funcionaram bem durante e após o incêndio.

Na Europa, recentemente foi realizado um amplo estudo sobre a questão da resistência ao fogo em um dos produtos pré-fabricados considerado mais crítico. Nele, destaca-se que a laje alveolar, utilizada em edifícios de múltiplos pavimentos de grandes proporções, especialmente na Bélgica e Holanda, apresenta características que devem ser avaliadas com grande critério. Sua geometria, sua armação ser composta apenas por armadura ativa e, em algumas situações, a utilização de concreto de alto desempenho, tendo como características principais a elevada resistência e o baixo índice de absorção, são exemplos de características importantes a serem avaliadas.

Este estudo integra um projeto denominado HOLCOFIRE (*Hollow Core Fire Resistance*), que consiste no estado da arte sobre o assunto e foi baseado em testes de laboratório que conduziram a uma análise estatística com 162 resultados de ensaios, simulações com métodos de elementos finitos em diferentes situações de projeto e metodologias revisadas. Envolvendo toda a indústria europeia, seu escopo foi definido na Bélgica em 2009 e apresentado em maio de 2010 na Holanda. Por fim, foi finalizado em 2013, após exaustivos trabalhos realizados nos laboratórios mais renomados da Europa em condições de ensaio não apenas elementos isolados, mas o sistema estrutural como um todo.

Os dados foram publicados em um livro em 2014, pela BIBM (Federação



Fonte: FIB, 2004

► **Figura 1**
Sistema estrutural em esqueleto com núcleo rígido (central)

das associações de estruturas pré-fabricadas da Europa), que coordenou as atividades definidas neste projeto e organizou as reuniões do grupo de trabalho, reunindo os mais renomados experts e pelo IPHA (*International Prestressed Hollowcore Association*). O título do livro em tradução livre é “O comportamento estrutural das lajes alveolares protendidas expostas ao fogo”.

O estudo, registrando que existe na Europa milhões e milhões de metros quadrados de lajes alveolares já instaladas, com base numa infinidade de testes realizados e nas conclusões do acidente

ocorrido em Rotterdam, concluiu que os sistemas de lajes alveolares atendem a todos os regulamentos de segurança, qualidade e requisitos de resistência ao fogo. Além disso, o estudo salientou que as lajes alveolares apresentam desempenho adequado quando expostas ao fogo, e que, portanto, a sociedade pode continuar a confiar no desempenho deste tipo de solução [4].

Na Bélgica e Holanda, a solução com pré-fabricados de concreto tem sido amplamente utilizada em edifícios de múltiplos pavimentos, de altura considerável de até 60 andares, porém, com diferen-



Fonte: FIB, 2004

► **Figura 2**
Sistema estrutural com painéis portantes e lajes alveolares protendidas

tes tipologias. Na Bélgica, com estrutura tipo esqueleto com núcleo rígido moldado “*in loco*” (Figura 1) e, na Holanda, com painéis autoportantes (Figura 2). A primeira missão técnica da ABCIC realizada em 2008 visitou, acompanhada do projetista Arnold Van Acker, um dos idealizadores destes edifícios, a fábrica produtora dos elementos e também as obras em fase de montagem.

Uma das obras visitadas foi o Edifício North Galaxy, em Bruxelas, concluído em 2009, com 28 pavimentos e 107 metros de altura (Figura 3). Neste empreendimento foi utilizada a solução em pré-moldados, por apresentar uma resistência ao fogo superior a duas horas sem necessidade de proteção complementar e por manter a rapidez de execução característica dos processos industrializados, com comprovado desempenho térmico e acústico.

Mais recentemente na missão técnica de 2016, foi realizada uma visita, na Dinamarca, a um hotel 100% pré-fabricado em sistema de painéis com lajes alveolares (Figura 4), composto por duas torres de 23 andares, 76,5 metros de altura, inclinação de 15 graus em direções opostas e cujo case foi apresentado por seu projetista no ENECE (Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural) em 2015, e publicado na íntegra na revista “Industrializar em Concreto”.

4. CENÁRIO BRASILEIRO

As referências obtidas no Manual do PCI, bem como uma análise de normas europeias e estudos acadêmicos diversos, como o projeto HOLCOFIRE, formaram a base de discussões das propostas para a Comissão de Estudos da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Esse aporte de informações motivou um amplo debate sobre o tema e resultou no acréscimo



considerável de diretrizes para o dimensionamento e formulação da proposta que culminou com a aprovação e a publicação da norma ABNT NBR 9062:2017, atendendo ao disposto no escopo da ABNT NBR 15200.

O tema de projeto de estrutura em situação de incêndio foi, na versão de 2006, abordado em apenas 4 linhas e referenciava a norma ABNT NBR 15200. Havia uma lacuna na abordagem de alguns elementos em concreto pré-moldados (lajes alveolares e painéis maciços de concreto). A revisão da norma em 2017 permitiu estabelecer critérios e parâmetros de dimensionamento para os elementos citados. Esse grupo de trabalho teve a colaboração do professor Fernando Stucchi, da POLI/USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), que conduziu uma avaliação baseada nos Eurocódigos e normas europeias específicas, como a espanhola, e debateu o tema com especialistas no âmbito da *fib* (*International federation for structural concrete*) [5]. Como resultado deste trabalho e dos debates ocorridos na Comissão de Estudos da ABNT, a ABNT NBR 9062:2017 apresenta no seu texto indicações de verificação com relação ao incêndio como se descreve na sequência.

Para as lajes alveolares foram consideradas três condições de contorno para dimensionamento à flexão: lajes biapoiadas, lajes biapoiadas confinadas e lajes contínuas confinadas. A definição da distância da face do elemento estrutural ao eixo da armadura (c_1) depende de três fatores:

- ▶ Condição de contorno;
- ▶ $M_{sd, incêndio}$: Esforço solicitante de projeto para combinação de ações na situação de incêndio;
- ▶ TRRF: Tempo requerido de resistência ao fogo.

Para avaliação da capacidade à força



▶ **Figura 3**
Edifício North Galaxy, em Bruxelas, em construção

cortante, foram estabelecidas relações de redução, conforme Tabela 1.

Os critérios para avaliação dos painéis maciços em situação de incêndio correlacionam a espessura do painel, o tipo de agregado empregado na sua produção e o TRRF (Conforme tabela 2).

Para o dimensionamento dos pilares e vigas em concreto pré-moldado, a norma especifica que a estrutura como um todo deve ser projetada atendendo aos requisitos das ABNT NBR 14432 e ABNT NBR 15200, bem como da ABNT NBR 8681, quanto às combinações de ações a serem consideradas.

Na área acadêmica, atualmente poucos trabalhos são publicados no Brasil envolvendo o tema do pré-moldado em situação de incêndio. Com destaque, pode-se citar Zago [6], que apresenta as principais questões em um dimensionamento de lajes alveolares em situação de incêndio. Os tópicos abordados pelo autor são: o comportamento quanto à flexão; o comportamento quanto ao cisalhamento; a aderência da armadura protendida no concreto; o efeito do confinamento da laje por meio da capa estrutural de concreto armado; a influência das características geométricas da seção

no gradiente de temperatura; as perdas de protensão e o efeito do *spalling*, que é o lascamento explosivo que ocorre nas faces do elemento de concreto exposto a altas temperaturas. Além disso, uma análise térmica computacional é apresentada buscando simular o gradiente de temperatura na seção transversal das lajes.



▶ **Figura 4**
Edifício Bella Sky, em Copenhaga

► Tabela 1 – Relação de redução de cortante

TRRF	Espessura das lajes (com ou sem capa) (mm)		
	≤ 210	220 - 350	> 350
	$V_{Rd, incêndio} / (V_{Rd})$ em %		
30	100	100	100
60	80	75	70
90	75	70	65
120	70	60	55
180	50	45	45

Onde: V_{Rd} é o esforço cortante resistente de cálculo em temperatura ambiente e o $V_{Rd, incêndio}$ é o esforço cortante resistente de cálculo em situação de incêndio

► Tabela 2 – Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado

Tipo de agregado	Espessura efetiva em função da resistência ao fogo (mm)				
	1 h (60 min)	1,5 h (90 min)	2 h (120 min)	3 h (180 min)	4 h (240 min)
Argila expandida, vermiculita ou ardósia expandida	65	80	90	115	130
Pedras calcárias	75	90	110	135	160
Pedras silicosas (quartzos, granitos ou basaltos)	80	100	120	150	175

O efeito do *spalling* é tratado no trabalho do autor, e é comentado que os requisitos para a prevenção do *spalling* nos elementos estruturais são apresentados no *Eurocode*, que recomenda um teor de umidade no concreto abaixo de 3%. Abaixo desse valor, portanto, considera-se que existe pouca probabilidade de ocorrência desse efeito. Para o caso de lajes alveolares,

o efeito do lascamento explosivo não oferece grande prejuízo, uma vez que este elemento possui um baixo teor de umidade. No entanto, o autor adverte que, para os casos em que se observa um teor de umidade elevado ($U > 3\%$), é necessário que medidas corretivas sejam adotadas.

Como conclusão, o autor defende que os modelos matemáticos recomen-

dados pelos documentos normativos brasileiros e internacionais são suficientes para determinar a capacidade de suporte do elemento estrutural em situação de incêndio. No entanto, por ser um tema pouco abordado nacionalmente, estudos complementares são necessários para dar continuidade ao seu trabalho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os tópicos abordados neste artigo, fica evidenciada a aplicabilidade do sistema estrutural em pré-moldado para todas as solicitações impostas, ou seja, fazendo um bom uso das normas e dos conceitos técnicos é possível tornar a estrutura segura e confiável, obtendo assim sucesso em um projeto mesmo em situações de incêndio.

Vale salientar que os acidentes ocorridos no passado não podem ser esquecidos nem negligenciados, pois eles são exemplos reais e que, apesar dos prejuízos materiais e humanos, deixaram um legado no âmbito da segurança contra o incêndio. Nesse contexto a norma ABNT NBR 9062:2017, alinhada com o panorama internacional, onde há uma efetiva participação brasileira, apresenta uma resposta no sentido evolutivo da tecnologia e naturalmente na contribuição acerca das lições aprendidas. ➤

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LANGE, D.; McNANEY, R. J. Modelling of hollow core concrete construction exposed to fire. Brandforsk, Estocolmo, 2016, 60 p.
- [2] CHASTRE, C.; LÚCIO, V. Estruturas pré-moldadas no mundo. Aplicações e comportamento estrutural. Editora Parma, Ltda, 2012, 320 p.
- [3] The Concrete Centre. Concrete and Fire Safety. How concrete contributes to safe and efficient structures. Camberley, 2008, 16 p.
- [4] JANSZE, W.; ACKER, A. V.; BELLA, B. D.; HOLTE, R. K.; LINDSTROM, G.; PY, J. P.; SCALLIET, M.; NITSCH, A; BENHOFER, H. Structural behaviour of prestressed concrete hollow core floors exposed to fire. 's-Hertogenbosch: Uitgeverij BOXPress, 2014. 226 p.
- [5] MARIN, M.C. ABNT NBR 9062:2017 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado. CONCRETO & CONSTRUÇÕES, n.86, p. 37-44, 2017
- [6] ZAGO, C. S. Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de lajes alveolares em situação de incêndio. 2016. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2016.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado - procedimento. Rio de Janeiro - PROJETO DE REVISÃO, 2016. 57 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012. 48 p.
- [9] FEDERATION INTERNATIONALE DU BETÓN, fib(CEB-FIP). Planning and Design Handbook on Precast Building Structures, 2nd edition, 2004.



Comitês Técnicos do IBRACON e entidades parceiras – ações de fortalecimento da normalização de concreto e estruturas

INÊS LARANJEIRA DA SILVA BATTAGIN – ENGENHEIRA CIVIL, SUPERINTENDENTE DO ABNT/CB-018

ASSESSORA DA PRESIDÊNCIA – IBRACON

I. INTRODUÇÃO

Normalizar, em seu mais amplo sentido, é estabelecer as bases técnicas aceitas pela sociedade para atividades ou seus resultados.

Esse entendimento, aceito internacionalmente, aliado à força da normalização técnica oficial nas economias desenvolvidas e emergentes, há anos direciona a atuação de entidades setoriais na preparação e na difusão de documentos que possam servir de base à aprovação de normas nacionais e internacionais.

No campo específico do concreto, seus materiais constituintes e aplicações, muitas são as referências internacionais que merecem citação. No entanto, não cabe aqui enumerá-las, mas apenas ressaltar casos de avanços expressivos, obtidos com planejamento e trabalho contínuo, comparando-os com a realidade nacional.

Neste cenário, a atuação dos Comitês Técnicos do IBRACON ganha

expressão nos últimos anos, sendo feito neste artigo um relato das conquistas obtidas.

2. COMITÊS TÉCNICOS IBRACON E ENTIDADES PARCEIRAS

Criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre materiais, projeto, construção, uso e manutenção de obras de concreto, desenvolvendo o seu mercado, articulando seus agentes e agindo em benefício dos consumidores e da sociedade, em harmonia com o meio ambiente, são objetivos estatutários do Instituto Brasileiro do Concreto.

Para cumpri-los, o Instituto organiza atividades diversas, como cursos, congressos, seminários, publicações, concursos, palestras, entre outras. Nesse contexto, a sociedade ora atua como autora ora como usuária dos produtos oferecidos pelo IBRACON e essa sinergia fortalece tanto a entidade como o meio.

Os Comitês Técnicos aparecem nesse cenário como células de de-

envolvimento e registro do conhecimento, possibilitando reunir especialistas em torno de objetivos comuns, visando a busca de soluções técnicas viáveis para problemas específicos. Esse é basicamente o modelo adotado por instituições técnicas em todo o mundo e também no Brasil.

No caso específico do IBRACON, muito empenho foi dedicado à formação de Comitês Técnicos até o início dos anos 2000. No entanto, com raras exceções, verifica-se que não houve continuidade no desenvolvimento desse trabalho.

Uma nova abordagem em 2012 veio propor mudanças nesse processo, com a aprovação de um regulamento específico para os Comitês Técnicos, o estabelecimento de parcerias com entidades afins e a criação do CTA – Comitê Técnico de Atividades, com a seguinte missão:

Promover a formação e o desenvolvimento de Comitês Técnicos em todas as áreas do conhecimento ligadas ao concreto.

Atuar de forma a direcionar e a dar suporte ao planejamento e ao desenvolvimento das atividades desses Comitês, em consonância com os trabalhos nacionais e internacionais de normalização técnica.

Avanços interessantes foram constatados desde então, iniciando pela constituição e instalação dos Comitês Técnicos relacionados na Tabela 1,

com missões claramente estabelecidas.

Mais de trezentos profissionais se dedicaram ao desenvolvimento dos trabalhos desses Comitês Técnicos nos últimos cinco anos e os resultados obtidos estão consolidados nas Tabelas 2 a 4. A cada um desses profissionais dedico um sincero agradecimento, pela forma ética com que sempre conciliaram suas diferenças e pela valiosa

contribuição prestada à engenharia nacional.

Para não deixar de citar o importante trabalho realizado em anos anteriores, as Tabelas 2 e 3 mostram também as Práticas Recomendadas publicadas pelo IBRACON antes de 2012 e o texto-base elaborado pelo Comitê de Projeto de Estruturas de Concreto (CT 301), em apoio à normalização nessa área.

► Tabela 1 – Comitê Técnicos IBRACON e entidades parceiras¹

Comitê Técnico	Missão
CT 101 – Comitê Técnico IBRACON de Gestão Ambiental de Concreto e Estruturas de Concreto	Contribuir para a construção de sociedades sustentáveis por meio de ações voltadas para adoção de gestão, planejamento e gerenciamento com a finalidade de minimizar a utilização de recursos naturais e energia, conservar o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida.
CT 201 – Comitê Técnico IBRACON de Reação Álcali-Agregado	Reunir o corpo técnico com o propósito de ampliar o conhecimento sobre a reação álcali-agregado e, dentro desse escopo, promover o desenvolvimento de documentos que auxiliem no direcionamento técnico visando à durabilidade das estruturas.
CT 202 – Comitê Técnico IBRACON de Concreto Autoadensável	Promover a integração dos diversos setores envolvidos na produção do concreto autoadensável, fortalecendo o desenvolvimento dessa tecnologia e o seu uso.
CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Promover a integração dos diversos setores envolvidos no Projeto de Estruturas de Concreto, fortalecendo o desenvolvimento desse setor e a tradição brasileira de construir em concreto.
CT 302 – Comitê Técnico IBRACON de Durabilidade e Vida Útil de Estruturas de Concreto	Integrar o meio técnico no estudo e no fortalecimento de ações visando a durabilidade do concreto e das estruturas de concreto, de forma a ampliar o conhecimento sobre as técnicas de avaliação da vida útil dessas estruturas e dos processos construtivos, para utilizar todo o potencial do concreto.
CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE de Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	Promover a integração dos diversos setores na 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.
CT 304 – Comitê Técnico IBRACON/ABCIC de Pré-Fabricados de Concreto	Fortalecer o desenvolvimento das soluções industrializadas em concreto no país, promovendo a integração dos setores de projeto, produção, controle da qualidade e montagem de estruturas pré-fabricadas.
CT 401 – Comitê Técnico IBRACON de Ensaios de Concreto	Reunir o corpo técnico com o propósito de melhorar as metodologias de comprovação das características e propriedades do concreto e seus materiais constituintes.
CT 402 – Comitê Técnico de Ensaios Não Destrutivos	Direcionar esforços para elaborar documentos que contribuam à ordenação, informação, disseminação do conhecimento, desenvolvimento técnico e normalização no setor de concreto e construção civil, no campo dos ensaios não destrutivos.
CT 701 – Comitê Técnico IBRACON de Inspeção de Estruturas de Concreto	Promover a convergência dos profissionais envolvidos com o tema, de forma a estabelecer as bases para o desenvolvimento de inspeções em estruturas de concreto.
CT 801 – Comitê Técnico IBRACON de Atividades Estudantis ²	Promover e organizar concursos e outras atividades estudantis correlatas, estimulando a competição sadia entre alunos e instituições de ensino, despertando no futuro profissional o interesse pelo concreto e suas estruturas, introduzindo conceitos firmes de qualidade, durabilidade, sustentabilidade e resistência.
CT 802 – Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT de Manutenção e Reabilitação de Estruturas de Concreto	Integrar o meio técnico no estudo e no fortalecimento de ações visando a manutenção e a reabilitação das estruturas de concreto, de forma a ampliar o conhecimento sobre Especificação, Controle Tecnológico e Aplicação de Produtos e Sistemas para Recuperação de Estruturas de Concreto.

¹ MAIS INFORMAÇÕES SOBRE OS COMITÊS TÉCNICOS, SUA COMPOSIÇÃO E FORMA DE TRABALHO PODEM SER OBTIDAS NO SITE DO IBRACON.

² EM 2016, COM ALTERAÇÃO DO ESTATUTO DO IBRACON, FOI POSSÍVEL CRIAR A DIRETORIA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS, A PARTIR DA EXPERIÊNCIA E DO DINAMISMO Atingidos PELO CT-801, SOB A COORDENAÇÃO DA ENG^a JÉSSICA PACHECO.



► Tabela 2 – Práticas Recomendadas elaboradas pelos Comitês Técnicos e lançadas pelo IBRACON

Título	Comitê Técnico	Coordenação e participantes	Formato	Lançamento / publicação
Estruturas de edifícios de nível 1 – Estruturas de pequeno porte	CT 301 – Comitê IBRACON / ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng. Augusto Vasconcelos Eng. Sérgio Mangini Eng. José Zamarion Diniz 14 participantes	 Caderno Impresso, 42 páginas	1998
Comentários Técnicos NB1 (NBR 6118:2003 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento)	CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng. Fernando Stucchi Eng. Ricardo França 48 participantes	 Caderno Impresso, 68 páginas	Junho de 2003
Comentários e Exemplos de Aplicação da ABNT NBR 6118:2014	CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng. Fernando Stucchi Eng. Ricardo França 48 participantes	 Caderno Impresso, 260 páginas	Junho de 2006
Comentários e Exemplos de aplicação da ABNT NBR 6118:2014	CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Coordenação: Engª Suely Bueno Eng. Alio Kimura CTA: Eng. Eduardo Millen 89 participantes	 Livro impresso, 480 páginas	57º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Bonito – MS 2015
Concreto Autoadensável	CT 202 – Comitê IBRACON de Concreto Autoadensável	Coordenação: Eng. Bernardo Tutikian Eng. Roberto Christ CTA: Engª Inês Battagin 59 participantes	 e-book, 56 páginas	57º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Bonito – MS 2015
Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras	CT 303 – Comitê IBRACON/ABECE – Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	Coordenação: Eng. Marco Carnio CTA: Engª Sofia Diniz 44 participantes	 e-book, 39 páginas	58º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Belo Horizonte – MG 2016

► Tabela 2 – Práticas Recomendadas lançadas elaboradas pelos Comitês Técnicos e lançadas pelo IBRACON (continuação)

Título	Comitê Técnico	Coordenação e participantes	Formato	Lançamento / publicação
Controle da Qualidade do Concreto Reforçado com Fibras	CT 303 - Comitê IBRACON/ABECE – Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	Coordenação: Eng. Marco Carnio CTA: Eng ^a Sofia Diniz 29 participantes	 e-book, 31 páginas	59º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Bento Gonçalves – RS 2017
Macrofibras de vidro álcali resistentes (AR) para concreto destinado a aplicações estruturais: Definições, especificações e conformidade			 e-book, 26 páginas	
Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: Definições, especificações e conformidade			 e-book, 37 páginas	

Cumpra registrar ainda o trabalho do CT 201 – Comitê Técnico IBRACON de Reação Álcali-Agregado, iniciado há cerca de dois anos e que deve ser concluído e publicado em 2018 como Prática Recomendada de aplicação da nova ABNT NBR 15577 Reação Álcali-Agregado (sete partes), em fase final de aprovação pela ABNT. Com mais essa Prática Recomendada do IBRACON, certamente o meio técnico poderá contar com importantes esclarecimentos sobre a aplicação da nova ABNT NBR 15577, que em suas sete partes abrange a avaliação do risco de uma estrutura de concreto vir a apresentar manifestações patológicas que possam interferir em seu funcionamento, bem como procedimentos de coleta e ensaios de verificação, tanto dos agregados como do concreto.

Finalmente, merece destaque neste relato, o apoio do CT 301 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE de Projeto de Estruturas de Concreto às ações realizadas no âmbito internacional, para registro da norma de Projeto de estruturas de concreto, ABNT NBR 6118, na ISO, conforme os critérios estabelecidos pela norma ISO 19338 – *Performance and assessment requirements for design standards on structural concrete*, em duas ocasiões:

- em 2008, quando foi realizado o registro inicial (reunião do ISO/TC71 em Los Angeles, nos EUA);
- em 2015, quando esse registro foi renovado (reunião do ISO/TC 71 em Seoul, na Coreia do Sul).

Esse trabalho compreendeu, mas não se limitou, à preparação da do-

cumentação exigida pela ISO (texto da norma brasileira traduzida para o idioma inglês, informações sobre suas referências normativas, e um resumo, em formato de *check-list*, apontando de que forma a ABNT NBR 6118 atende aos requisitos internacionais); além da realização da apresentação desse conteúdo em reunião plenária do Comitê Técnico da ISO, de especialistas do IBRACON representando a ABNT.

3. CONCRETO E ESTRUTURAS DE CONCRETO NO ÂMBITO INTERNACIONAL

Com mais de 200 Comitês Técnicos, atuando nas mais diversas áreas³, a ISO, entidade que congrega atualmente 162 países, responsável por 98% da economia mundial,

³ A ISO DESENVOLVE AS NORMAS INTERNACIONAIS, EXCLUÍDAS APENAS AS ÁREAS ELÉTRICA, ELETROTÉCNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES.



desenvolve as normas internacionais por consenso entre seus membros (Organismos Nacionais dos Países Membros), contando atualmente com mais de 24.000 documentos publicados e em vigor.⁴

Concreto simples, concreto armado e concreto protendido são tratados no âmbito do ISO/TC71, cuja Secretaria

Técnica geral passou a ser exercida pelo ACI – *American Concrete Institute* em 1993, por delegação da ANSI – *American National Standards Institute* (representante oficial dos Estados Unidos na ISO). Esse Comitê Técnico Internacional conta atualmente com sete subcomitês (secretariados respectivamente por Israel, Noruega, Estados Unidos, Colômbia,

Coréia do Sul e dois pelo Japão), contando com 51 normas publicadas e 24 projetos em desenvolvimento.

O envolvimento desses e de outros países e a celeridade dada à aprovação dos projetos de norma, demonstra o interesse na normalização técnica internacional, que é reconhecida pela OMC – Organização Mundial do Comércio.

► Tabela 3 – Textos-base de normalização elaborados pelos Comitês Técnicos do IBRACON e entidades parceiras

Título	Comitê Técnico	Coordenação do CT e participantes*	Ano de entrega dos textos-base para a ABNT	Situação atual*
ABNT NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto	CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng. Fernando Stucchi Eng. Ricardo França 48 participantes	2001	Norma publicada pela ABNT em 2003
ABNT NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto	CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE – Projeto de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng ^a Suely Bueno Eng. Alio Kimura CTA: Eng. Eduardo Millen 89 participantes	2012	Norma publicada pela ABNT em 2014
ABNT NBR 9452 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento	CT 701 – Comitê IBRACON de Inspeção de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng ^a Adriana Rivera CTA: Eng. Júlio Timerman 8 participantes	2014	Norma publicada pela ABNT em 2016
ABNT NBR 15823 Concreto Autoadensável (seis partes)	CT 202 – Comitê IBRACON de Concreto Autoadensável	Coordenação: Eng. Bernardo Tutikian Eng. Roberto Christ CTA: Eng ^a Inês Battagin 59 participantes	2016	Norma publicada pela ABNT em 2017
ABNT NBR 15577 Reação Álcali-Agregado (sete partes)	CT 701 – Comitê IBRACON de Inspeção de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng ^a Adriana Rivera CTA: Eng. Júlio Timerman 8 participantes	2016	Projeto em Consulta Nacional pela ABNT
ABNT NBR 9607 Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido	CT 701 – Comitê IBRACON de Inspeção de Estruturas de Concreto	Coordenação: Eng ^a Adriana Rivera CTA: Eng. Júlio Timerman 8 participantes	2016	Projeto em Consulta Nacional pela ABNT
ABNT NBR 8802 Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica	CT 402 – Comitê IBRACON de Ensaios Não Destrutivos	Coordenação: Eng. Rodrigo Moyses Costa Eng ^a Juliana F. Fernandes CTA: Eng ^a Inês Battagin 8 participantes	2016	Projeto em Comissão de Estudo da ABNT
ABNT NBR 7584 Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão	CT 402 – Comitê IBRACON de Ensaios Não Destrutivos	Coordenação: Eng. Rodrigo Moyses Costa Eng ^a Juliana F. Fernandes CTA: Eng ^a Inês Battagin 8 participantes	2016	Projeto em Consulta Nacional pela ABNT

* As informações desta tabela se referem ao trabalho realizado pelos Comitês Técnicos do IBRACON e entidades parceiras. A menção à situação dos trabalhos de normalização no âmbito da ABNT (última coluna da direita desta tabela) serve apenas para mostrar que houve continuidade nas ações propostas e efetividade no cumprimento das metas estabelecidas.

⁴ DETALHES SOBRE A NORMALIZAÇÃO INTERNACIONAL ISO PODEM SER OBTIDOS NO SITE DA ENTIDADE: WWW.ISO.ORG.

A título de ilustração merece destaque o trabalho realizado pelo ACI – *American Concrete Institute*, que conta atualmente com mais de 3.000 especialistas voluntários, atuando em cerca de 120 comitês ativos, nas áreas relativas a concreto e estruturas de concreto. A atuação desses comitês, além da elabo-

ração de publicações e do desenvolvimento de eventos diversos, é dar suporte às atividades de normalização técnica nacional e, no âmbito internacional, à atuação do ACI como secretaria técnica do ISO/TC71.⁵

A aparente distância dos países europeus dos trabalhos de normalização

do ISO/TC71 é explicada pelo acordo existente entre a ISO e o CEN – Comitê Europeu de Normalização, desde o início dos anos 2000, tendo em vista a adoção das normas da comunidade europeia (EN) como base para os trabalhos de normalização internacional, sempre que não houver referência melhor.

► Tabela 4 – Eventos realizados com a participação dos Comitês Técnicos

Evento	Ação	Comitê Técnico	Ano
54º Congresso Brasileiro do Concreto (Maceió – AL)	Reunião dos Comitês Técnicos para Formalização da Nova Estrutura	Geral	2012
55º Congresso Brasileiro do Concreto (Gramado – RS)	Instalação de cinco Comitês Técnicos	CT 201 – Reação Álcali-Agregado CT 301 – Projeto de Estruturas de Concreto CT 302 – Durabilidade e Vida Útil CT 401 – Ensaios de Concreto CT 701 – Inspeção de Estruturas de Concreto	2013
	Mesa-Redonda: projeto, produção, uso, manutenção e inspeção para redução de riscos e aumento de vida útil de estruturas de concreto	CT 701 – Comitê IBRACON de Inspeção de Estruturas de Concreto	2013
56º Congresso Brasileiro do Concreto (Natal – RN)	Apresentação do estágio de desenvolvimento do trabalho dos Comitês Técnicos	Todos	2014
	Instalação de três novos Comitês	CT 101 – Gestão Ambiental de Concreto e Estruturas CT 801 – Atividades Estudantis CT 402 – Ensaios Não-Destrutivos	
	Realização dos Concursos Estudantis (APO, COCAR, CONCREBOL e OUSADIA)	CT 801 – Comitê IBRACON de Atividades Estudantis	
57º Congresso Brasileiro do Concreto (Bonito – MS)	Apresentação dos Comitês Técnicos	Todos	2015
	Instalação de dois novos Comitês	CT 202 – Concreto Autoadensável CT 303 – Materiais Não Convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	
	Lançamento da Prática Recomendada com Comentários e Exemplos de Aplicação da ABNT NBR 6118	CT 301 – Comitê IBRACON/ABECE de Projeto de Estruturas de Concreto	
	Lançamento da Prática Recomendada de Concreto Autoadensável	CT 202 – Comitê IBRACON de Concreto Autoadensável	
	Realização dos Concursos Estudantis (APO, COCAR, CONCREBOL e OUSADIA)	CT 801 – Comitê IBRACON de Atividades Estudantis	
1º Workshop Internacional do CT 303 (USP – São Paulo – SP, 08-04-2016)	Realização do Workshop com palestrantes internacionais e nacionais de renome (participação de mais de cem expectadores)	CT 303 – Comitê IBRACON/ABECE de Materiais Não Convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	2016

⁵ FONTE: [HTTPS://WWW.CONCRETE.ORG/COMMITTEES.ASPX](https://www.concrete.org/committees.aspx).



► Tabela 4 – Eventos realizados com a participação dos Comitês Técnicos (continuação)

Evento	Ação	Comitê Técnico	Ano
58º Congresso Brasileiro do Concreto (Belo Horizonte – MG)	Apresentação do estágio de desenvolvimento do trabalho dos Comitês Técnicos	Todos	2016
	Lançamento da Prática Recomendada de Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras	CT 303 – Comitê IBRACON/ABECE de Materiais Não Convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	
	III Seminário sobre Pesquisas e Obras em Concreto Autoadensável	CT 202 – Comitê IBRACON de Concreto Autoadensável	
	Realização dos Concursos Estudantis (APO, COCAR, CONCREBOL e OUSADIA)	CT 801 – Comitê IBRACON de Atividades Estudantis	
15º ICAAR – International Conference on Alkali-Aggregate Reaction (São Paulo – SP)	Participação na organização e na realização do evento realizado no período de 3 a 7 de julho de 2016	CT 201 – Comitê Técnico IBRACON de Reação Álcali-Agregado	2016
59º Congresso Brasileiro do Concreto (Bento Gonçalves – RS)	Apresentação do estágio de desenvolvimento do trabalho dos Comitês Técnicos	Todos	2017
	Instalação de dois Comitês Técnicos	CT 304 – Comitê IBRACON/ABCIC de Pré-Fabricados CT 802 – Comitê IBRACON/ALCONPAT de Manutenção e Reabilitação de Estruturas de Concreto	
	III Simpósio de Durabilidade das Estruturas de Concreto	CT 802 – Comitê IBRACON/ALCONPAT de Manutenção e Reabilitação de Estruturas de Concreto	
	Lançamento das Práticas Recomendadas a seguir: <ul style="list-style-type: none"> • Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras • Macrofibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto destinado a aplicações estruturais • Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais 	CT 303 – Comitê IBRACON/ABECE de Materiais Não Convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras	
	II Simpósio de Concreto Reforçado com Fibras	CT 202 – Comitê IBRACON de Concreto Autoadensável	
IV Seminário de Concreto Autoadensável			

Por sua vez, a normalização europeia conta com a forte atuação da *fib* – *Federation Internationale du Béton*, entidade que reúne 45 países e congrega grandes especialistas na área do concreto, seus materiais constituintes e aplicações. Com expressiva produção literária de altíssima qualidade, a *fib* avança nos temas da cultura herdada das enti-

dades que a precederam e deram origem (como a FIP – *International Federation for Prestressing* e o CEB – *Comité Européen du Béton*) por meio de seus dez Comitês Técnicos, que respondem também pela organização de diversos eventos internacionais.

Desde 2007, o Brasil participa dos trabalhos da *fib* com a atuação da ABCE – Associação Brasileira de Engenharia

e Consultoria Estrutural e da ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. Recentemente, o IBRACON passou a fazer parte do grupo nacional, com a assinatura de convênio entre as entidades em evento da *fib* realizado no Brasil em setembro de 2017.

Deve ser registrado o empenho da ABCIC no fortalecimento da normalização técnica brasileira de

estruturas e elementos pré-moldados de concreto, que conta com especialistas na Comissão 6 da *fib* (Pré-fabricados), tendo finalizado o ano de 2017 com todas as normas brasileiras atualizadas e em grau de conteúdo técnico compatível com as mais avançadas do mundo. O CT 304 – Comitê IBRACON/ABCIC de Pré-Fabricados, instalado no 59º Congresso Brasileiro do Concreto, em 2017, tem já uma agenda de trabalho encabeçada por uma Prática Recomendada de Comentários e Exemplos de aplicação da ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas pré-moldadas de concreto; iniciativa a ser desenvolvida numa parceria entre as três entidades brasileiras que integram a *fib*, ABCIC, IBRACON e ABECE.

Os Comitês da *fib* possibilitam um intercâmbio de conhecimentos interessante, pois congregam diferentes países com realidades próprias. A elaboração dos Códigos Modelo *fib*, lançados periodicamente como base para os Eurocódigos⁶ de Estruturas de Concreto, reúne os maiores especialistas do mundo em cada um dos temas tratados e é provavelmente a publicação mais conhecida da entidade.

O recente interesse por estender o Código Modelo de 2020 (*fib* MC2020) para os países em desenvolvimento, considerando sua cultura e as dificuldades em implementar tecnologias mais avançadas ou de maior custo, tem levado representantes da *fib* a várias regiões do globo e possibilitou a realização de evento da entidade em São Paulo, em setembro de 2017.

Das conclusões desse evento depreende-se que há muito trabalho a ser desenvolvido, mas o caminho para a



Telas da apresentação sobre a normalização técnica brasileira de concreto estrutural, realizada pela autora, no evento da *fib*, em setembro/2017

consecução dos objetivos propostos já está estruturado em bases sólidas.

Não há divergências entre a normalização técnica brasileira e a internacional, mas particularidades que expressam a singularidade regional e que devem ser necessariamente consideradas.

4. CRESCER É MAIS DO QUE UMA NECESSIDADE

É indiscutível a força das entidades na consecução de objetivos setoriais, que podem gerar importantes avanços nos campos técnico e social, ultrapassando até mesmo seus ideais ou metas previamente estabelecidas.

Para contextualizar essa afirmativa, vale lembrar alguns fatos que marcam a história da normalização brasileira, como a publicação das primeiras normas da ABNT e sua fundação, que tiveram origem na necessidade da sociedade técnica do início do século 20 de estabelecer padrões para comparar diferentes produtos e avançar no desenvolvimento de tecnologias próprias.

Notadamente nas questões de segurança, faltavam regras para os processos construtivos e metodologias de ensaios que possibilitassem avaliar os materiais empregados (como o cimento, importa-

do da Europa e recebido em barris de madeira nos portos brasileiros). Entidades como ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, INT – Instituto Nacional de Tecnologia e IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas foram responsáveis pelas primeiras Reuniões de Laboratórios de Ensaio de Materiais, cujo grupo de especialistas responde pelo início das atividades de normalização técnica no país.⁷

Nos anos que se seguiram, a publicação de normas técnicas brasileiras superou as expectativas e a ABNT tornou-se reconhecida nacional e internacionalmente, tendo participado da fundação da *ISO – International Organization for Standardization*, em 1947.

Diversos fatores contribuem para o sucesso de iniciativas como as apresentadas, onde se incluem os trabalhos dos Comitês Técnicos já mencionados. Dentre esses fatores cumpre salientar:

- ▶ tradição/cultura do país (ou região);
- ▶ percepção da importância do valor a longo prazo;
- ▶ envolvimento de pessoas, empresas, entidades e outros.

Trata-se de trabalho não remunerado, que tem como resultado imediato

⁶ NORMAS DA COMUNIDADE EUROPEIA PARA O PROJETO E A EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS.

⁷ DETALHES ACERCA DA HISTÓRIA DA NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA PODEM SER OBTIDOS NO LIVRO CONCRETO – CIÊNCIA E TECNOLOGIA, PUBLICADO PELO IBRACON EM 2011.





Foto comemorativa dos 70 anos da ISO⁸. O Brasil foi representado pelo Eng. Francisco de Assis Basílio, presidente da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) à época.

unicamente a satisfação por aqueles que dele participaram e que percebem a importância de vê-lo finalizado e publicado.

Para o IBRACON e suas entidades parceiras, as conquistas aqui apresentadas reafirmam o comprometimento com os objetivos estatutários e agregam valor,

na medida em que as publicações aproximam ainda mais o Instituto do meio técnico e constituem fonte de recursos, sendo incentivo para sua continuidade.

Para o avanço dos trabalhos de normalização técnica, por sua vez, são inestimáveis contribuições, que possibilitam o registro da realidade

nacional, sem desmerecer ou ignorar o contexto internacional. Vale aqui uma reflexão, que deve ser estendida para além de nossas fronteiras, relativa à participação efetiva das nossas instituições, representadas por seus especialistas, em todos os foros que direta ou indiretamente têm interface com a nossa realidade. ➡

⁸ FONTE: WWW.ISO.ORG.BR.

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
(Loja Virtual)

Plano de atividades das Regionais do IBRACON

As Regionais do IBRACON divulgaram seu plano de atividades para 2018. As informações detalhadas podem ser acessadas na editoria "Regionais" no site www.ibracon.org.br.

Confira a seguir os eventos programados:

AMAZONAS

- ▶ Visitas técnicas às centrais dosadoras de concreto
- ▶ Palestras em universidades e no Sindicato dos Engenheiros do Estado do Amazonas (Senge-AM)
- ▶ Semana de Engenharia da Universidade do Amazonas
- ▶ Semana da Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

BAHIA

- ▶ 2º Seminário de Durabilidade, Manutenção e Desempenho de Estruturas de Concreto Armado

- ▶ II Seminário de Engenharia Estrutural do Estado da Bahia

- ▶ II Congresso de Concreto do Recôncavo da Bahia

MATO GROSSO DO SUL

- ▶ CBPAT 2018
- ▶ Projeto de extensão IBRACON/UFMS/Senai
- ▶ Cursos de pós-graduação em convênio com IDD

PARANÁ

- ▶ Organização do 60º Congresso Brasileiro do Concreto
- ▶ Palestras em instituições de ensino e associações de engenheiros
- ▶ Concurso estudantil regional
- ▶ Curso de extensão

RIO DE JANEIRO

- ▶ Elaboração do Glossário de Tecnologia do Concreto
- ▶ Palestras técnicas

RIO GRANDE DO SUL

- ▶ IBRACON na Estrada Gaúcha: série de seminários de atualização tecnológica,

com o primeiro a ser realizado dia 12 de abril, no auditório 11 da Univates, em Lajeado

SÃO CARLOS

- ▶ Apoiar a organização do Degrada 2018
- ▶ Apoiar a organização do 4º Encontro ABECE-UFSCar de Engenharia de Estruturas
- ▶ Organizar Minicursos
- ▶ Realizar Concurso Regional para estudantes na área de Concreto, sugestão Sistemas Estruturais: Viga de Concreto Simples

TOCANTINS

- ▶ 1ª Mesa-Redonda sobre Patologias em Estruturas de Concreto no Estado de Tocantins
- ▶ V Campeonato de Resistência à Compressão da Faculdade Católica
- ▶ Palestras técnicas

 **ConaEnd&lev**
2018

SESSÃO ESPECIAL SOBRE CONSTRUÇÃO CIVIL SERÁ TEMA NO CONAEND 2018

Chamada de Trabalhos Técnicos está aberta:
Contribua, com a sua experiência e formação,
para a diversificação e temas do Conaend&IEV 2018.

Envie seu trabalho técnico completo até 20 de abril

Associados IBRACON têm desconto na inscrição.
Mande e-mail para eventos@abend.org.br e peça sua inscrição com desconto

27-29
agosto | 2018

Centro de Convenções Frei Caneca
São Paulo/SP

conaend.org.br

Realização

 **abend**

Apoio

 **IBRACON**



60° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

FOZ DO IGUAÇU | 17 A 21 DE SETEMBRO - 2018



**MAIOR E MAIS IMPORTANTE FÓRUM TÉCNICO NACIONAL SOBRE A
TECNOLOGIA DO CONCRETO E SEUS SISTEMAS CONSTRUTIVOS**

Cotas de Patrocínio e Exposição

- Exceles oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- Espaços comerciais na XIV FEIBRACON Feira Brasileira das Construções em Concreto (veja na contracapa)
- Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- Inscrições gratuitas no evento

TELEFONE
(11) 3735-0202

E-MAIL
arlene@ibracon.org.br



Third International Dam World Conference

BRAZIL · Foz do Iguaçu · September 17-21, 2018

CONCURSOS

- Conheça os regulamentos dos concursos estudantis *APO*, *COCAR*, *CONCREBOL*, *OUSADIA* e *CONCRETO* – *Quem sabe faz ao vivo*
- Veja o regulamento do novo concurso “O ARTIGO DO ANO”

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

twitter.com/ibraconOffice

facebook.com/ibraconOffice



Third International
Dam World Conference
BRAZIL - Foz do Iguaçu - September, 17-21, 2018

COTAS DE PATROCÍNIO | SPONSORSHIP QUOTAS

	MOEDA	DIAMANTE	OURO	RUBI	PRATA	BRONZE
VALORES	R\$	200.000,00	75.000,00	70.000,00	35.000,00	30.000,00
	CURRENCY	DIAMOND	GOLD	RUBY	SILVER	BRONZE
VALUES	US\$	60,000.00	22,500.00	21,000.00	10,500.00	9,000.00
BENEFÍCIOS/BENEFITS						
Estandes de 9 m ² com Montagem Básica <i>9 m² Booth with Basic Assembly</i>		10 unid. = 90 m ²	6 unid. = 54 m ²	–	3 unid. = 27 m ²	–
Inscrições <i>Registrations</i>		10	6	6	3	3
Palestra no "Seminário de Novas Tecnologias" <i>Lecture in "Seminar of New Technologies"</i>		60 minutos <i>minutes</i>	45 minutos <i>minutes</i>	45 minutos <i>minutes</i>	30 minutos <i>minutes</i>	30 minutos <i>minutes</i>
PRESEÇA INSTITUCIONAL (LOGOMARCA): INSTITUCIONAL PRESENCE (LOGO):						
Site (link para sua página) <i>Site (link to your page)</i>		1	1	1	1	1
Programa Final <i>Final Programm</i>		1	1	1	1	1
Anais Eletrônicos <i>Electronic Proceedings</i>		1	1	1	1	1
Newsletters		1	1	1	1	1
Sinalização Centro de Convenções e/ou Auditorios <i>Signalling of the Convention Center and/or Auditorium</i>		1	1	1	1	1
Anuncio nos Anais no Formato Widescreen <i>Ad in the Proceedings in Widescreen Format</i>		1	1	1	1	1
Proporção 16:9 (JPG ou PDF) com 200 dpi <i>Dimension 16:9 (JPG or PDF) with 200 dpi</i>		2 páginas <i>pages</i>	2 páginas <i>pages</i>	2 páginas <i>pages</i>	1 página <i>page</i>	1 página <i>page</i>

EXPOSITOR/ EXHIBITOR

	MOEDA	SÓCIO	NÃO SÓCIO	CURRENCY	MEMBER	NON-MEMBER
VALORES VALUES	(R\$)	12.000,00	15.000,00	(US\$)	3,600.00	4,500.00

	BENEFÍCIOS BENEFITS	
Estande de 9 m ² com Montagem Básica <i>9 m² Booth with Basic Assembly</i>	1 unidade <i>Unit 1</i>	1 unidade <i>Unit 1</i>
Inscrições <i>Registrations</i>	1	1
PRESEÇA INSTITUCIONAL (NOME) EM: INSTITUCIONAL PRESENCE (NAME) IN:		
Site (link para sua página) <i>Site (link to your page)</i>	1	1
Anais Eletrônicos <i>Electronic Proceedings</i>	1	1

OBSERVAÇÕES

As logomarcas serão dimensionadas proporcionalmente de acordo com cada categoria de patrocínio. As escolhas de estandes serão por ordem de adesão.

COMMENTS

The logos will be proportionately scaled the according to each category of sponsorship. Selection of the booths will be by order of accession.