

CONCRETO DURÁVEL

Construções mais resistentes ao tempo também suportam bem o fogo

EVANILDO DA SILVEIRA

Pilares durante a construção e no estacionamento atual do edifício e-Tower, em São Paulo

A convicção generalizada no meio técnico da construção civil de que o concreto de alta resistência (CAR) explode ou se degrada fortemente ao ser submetido a elevadas temperaturas, como no caso de um incêndio, pode ser um equívoco. Ele resiste muito bem a esse tipo de situação como mostrou um estudo realizado para a tese de doutorado *Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas*, do engenheiro civil Carlos Amado Brites, defendida em março deste ano na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). A tese demonstrou que, dependendo das condições, o CAR pode resistir muito bem ao fogo, tanto quanto o concreto comum. Considera-se, em geral, CAR – às vezes, também chamado no Brasil de concreto de alto desempenho (CAD) – aquele apropriado para uso em construções que terão longa vida útil com poucas intervenções de manutenção, e podem durar por mais de 100 anos, porque são mais resistentes às intempéries.

A característica principal do CAR é apresentar resistência superior a 50 mega-pascal (MPa), unidade que mede a pressão e a tensão a que são submetidos os materiais. Um MPa equivale a 10,19 quilogramas-força (kgf) – ou newton (N) – por centímetro quadrado. Ou o equivalente a colocar, sem danos, 10 quilos sobre um centímetro quadrado de concreto dimensionado para esse fim. O experimento teve a participação de 10 empresas de engenharia e cons-

trução com financiamento e fornecimento de materiais e produtos, além de contar com o acompanhamento de cinco entidades ligadas ao setor como a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e o Instituto Brasileiro de Concreto (Ibracon).

O CAR surgiu no final dos anos 1950, na Noruega, para atender às necessidades de segurança e durabilidade de grandes obras, que requeriam um material de baixa permeabilidade e alta resistência mecânica, como túneis, e de construções em alto-mar, industriais e nucleares. Naquela época, a “alta” resistência correspondia a algo entre 50 e 60 Mpa. Em comparação, o concreto comum não passava de 12 a 15 MPa. Em qualquer tipo desse material, as características dependem da dosagem dos componentes de que ele é feito, como o tipo de cimento e os aditivos. A água é um dos ingredientes que mais influem nesse aspecto. “Quanto maior a quantidade dela na composição, menos resistente o concreto”, explica Brites. Os agregados, graúdos, como a brita, e miúdos, como a areia, também têm papel fundamental.

Mas há ainda outros ingredientes importantes, chamados de adições, como a sílica ativa e o metacaulim, que ajudam a torná-lo mais compacto, ocupando os espaços vazios que a brita, com sua estrutura irregular, não consegue preencher. Na receita também entram substâncias químicas dispersantes (aditivos), que, por exemplo, servem para diminuir a quantidade de água necessária para a hidratação das partículas de cimento. Depois tudo isso é “empacotado” ou reunido num produto que é

o concreto. O CAR é mais compacto e tem menos porosidade. Paradoxalmente, essa última característica também é seu ponto fraco. Na Europa, depois de algumas décadas de uso, descobriu-se que, em certas condições, ele pode se deslocar ou até mesmo explodir quando tem de enfrentar altas temperaturas, como ocorreu, na década de 1990, em alguns túneis europeus que sofreram grandes incêndios. É um fenômeno chamado *spalling*, ou deslocamento, que em alguns casos pode ser explosivo. “Algumas teorias indicam que isso ocorre porque, quando o material é exposto a elevadas temperaturas por um determinado tempo, a água livre presente em sua composição se aquece e vira vapor”, explica Britetz. “Com a baixa porosidade do CAR, ela não consegue extravasar, o que aumenta a pressão interna a ponto de causar o *spalling*.” Foi aí que surgiu a desconfiança em relação ao uso desse tipo de concreto em grandes obras. A tese conseguiu desmitificar esse cenário.

Formulação variada - O ponto principal do trabalho é que a demonstração da ocorrência ou não do *spalling* depende de uma série de circunstâncias e características do concreto de alta resistência submetido a altas temperaturas como a formulação, que pode variar em cada país. Seu orientador, o professor Paulo Roberto Helene, do Departamento de Engenharia de Construção Civil, da Poli-USP, lembra que a maioria dos estudos

O pigmento de óxido de ferro pode servir como um termômetro natural e auxiliar na avaliação depois de um incêndio

realizados no Brasil e no exterior utiliza corpos de provas (amostras de concreto) pequenos, com poucos centímetros cúbicos, sem aço na estrutura. “Nessas condições, efetivamente, em alguns casos, o CAR se destrói”, diz Paulo Roberto. A idade do material é outro quesito que influencia na ocorrência do *spalling*, tanto em experimentos como em situações reais. Britetz diz que em muitas pesquisas são utilizadas amostras que não têm mais de um mês de idade. Dificilmente, no mundo real, uma estrutura com esse tempo seria submetida a altas temperaturas de um incêndio. “Em um edifício, por exemplo, um pilar de um mês raramente seria afetado por um incêndio, pois o prédio ainda estaria em construção

e não haveria móveis ou outros materiais inflamáveis que contribuem para um incêndio”, explica. Com o passar do tempo o concreto ganha resistência e diminui sua umidade interna. Por isso, o ideal é o uso de amostras com pelo menos um ano de idade para ensaios de simulação de incêndios. “Daí a importância do trabalho de Britetz, que realizou os ensaios em uma amostra de dimensões reais, um pilar com estrutura semelhante ao usado num edifício construído de fato”, diz Paulo Roberto. Ele se refere ao e-Tower, prédio erguido em 2002, na rua Funchal, na Vila Olímpia, na zona Sul de São Paulo. Na época, o concreto usado em seus pilares bateu o recorde mundial de resistência, com 125 MPa. Uma réplica de um desses pilares, com 70 por 70 centímetros de lado e dois metros e meio de altura, ficou oito anos ao ar livre num pátio da Poli, até ser usado na pesquisa.

Num forno do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), três faces do pilar foram submetidas – a outra ficou para fora, porque não havia espaço –, durante três horas, a temperaturas que chegaram a 1.200°C. Para medir a temperatura alcançada no interior do pilar, foram instalados nele, em profundidades variadas, diversos termopares – espécie de termômetros. “Constatai que no núcleo a temperatura chegou a até 40°C, calor que sofreria normalmente em alguns dias de verão”, conta. “Nessa parte, foi como se o pilar nem soubesse que estava pegando fogo.” Mas mesmo na parte mais externa os estragos foram relativamente pequenos. “Da área da seção transversal do pilar, 95% se manteve íntegra e 5% foi reduzida por efeito *spalling*”, conta Britetz. Apenas uma camada superficial, com cerca de cinco milímetros (mm) de espessura, onde a temperatura atingiu mais de 1.000°C ficou de cor alaranjada e foi muito afetada. Mais no interior, onde a temperatura média foi de 600°C, surgiu depois do fogo uma camada preta, de cerca de 55 mm de espessura.

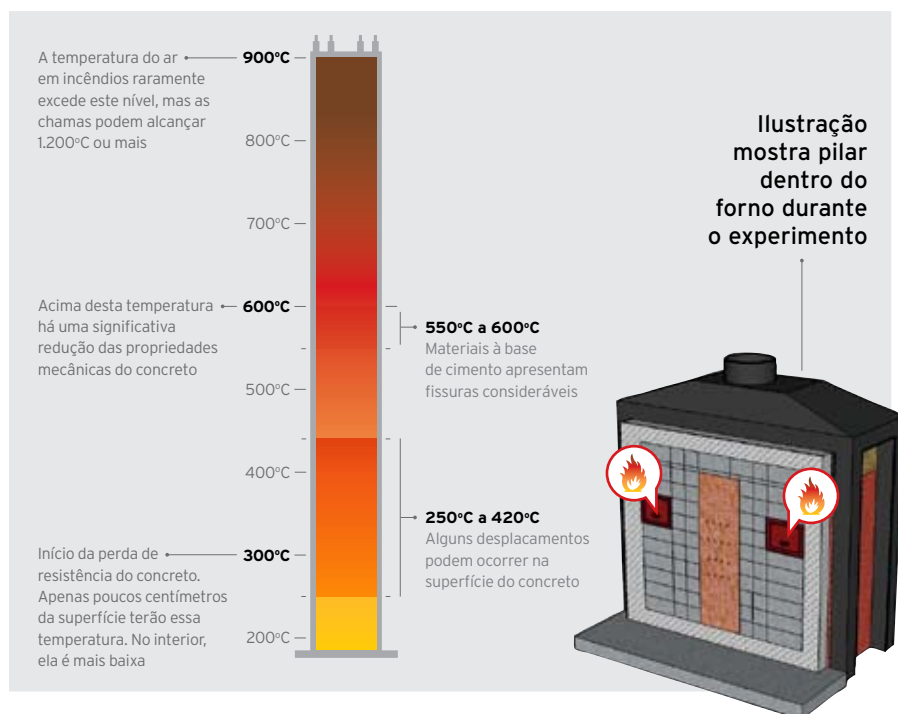
No núcleo, a coloração ficou a mesma da peça original, vermelha. Essa pigmentação foi usada em alguns pilares do e-Tower para diferenciá-los de outros, feitos com concreto comum. Ela se deve a um pigmento feito com óxido de ferro (Fe_2O_3), que possibilitou uma das descobertas mais importantes do trabalho. “Ele pode servir também como um



O pilar com 2,5 metros de altura antes de ser levado ao forno e o resultado depois com 95% da sua integridade

O que acontece com o aumento da temperatura do concreto

Etapas da evolução do material em situação de incêndio



ADAPTADO DA TESE DE CARLOS BRITZ

excelente termômetro natural, auxiliando na avaliação da estrutura depois do incêndio”, explica Britz. “As análises que fizemos mostraram que a cor é um indicador de temperatura e de resistência mecânica.” Constatar isso só foi possível porque é sabido que o óxido de ferro sofre alterações químicas e muda de cor com o aumento da temperatura. Ou seja, o concreto vermelho fica escuro quando aquecido em temperaturas com cerca de 600°C. Em temperaturas mais

altas, acima dos 900°C, ele pode mudar de cor novamente, tornando-se alaranjado, conforme mostrou a pesquisa. A cor vermelha no núcleo da peça testada indica que ali o calor não foi grande. “Mesmo sem os termopares no corpo de prova, poderíamos inferir sobre as temperaturas que foram alcançadas no interior dele. Isso é importante, porque o pigmento poderá ser usado em outros experimentos feitos daqui por diante.”

Aumento das obras - Ele espera ainda que seu trabalho traga outra contribuição à área de grandes construções: o aumento do uso do concreto de alta resistência. “O ideal seria que ele fosse usado na maioria das obras, como portos, pontes e edifícios de grandes alturas, por exemplo. Isso evitaria muitos problemas e daria maior durabilidade a elas. Em obras com CAR, os agentes do ambiente têm dificuldade muito maior para penetrar no concreto, alcançar o aço e desencadear o processo de corrosão. Isso também diminuiria o custo de manutenção das estruturas.”

Além disso, o CAR é ambientalmente correto, segundo Britz. Como tem maior resistência, dependendo do caso é pos-

sível que as estruturas possam ser projetadas com menores dimensões e consumindo menos material. “Isso significa menos consumo de cimento, brita, areia e outros materiais com matéria-prima extraída da natureza”, explica o pesquisador. O custo é outra questão que se deve levar em conta na hora de escolher que tipo de concreto usar numa obra. A produção do CAR ainda é mais cara, por causa dos materiais empregados. “Mas no geral é possível que a construção saia mais barata, porque será necessária uma quantidade menor de concreto de alta resistência na obra.”

Outra linha de pesquisa na mesma área é exercida pelo professor Antônio Domingues de Figueiredo, do mesmo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Poli-USP. Em 2005 ele finalizou um projeto financiado pela FAPESP sobre altas temperaturas em tipos de concretos relacionados a túneis. O objetivo era avaliar a condição de utilização de fibras de polipropileno como proteção passiva para o CAR contra o lascamento explosivo que pode ocorrer durante um incêndio. Além disso, havia a meta secundária de avaliar em que condições o material era mais suscetível a esse tipo de ocorrência.

A preocupação principal de Figueiredo era com as obras em túneis, que, por causa do lençol freático, geralmente têm a sua estrutura saturada de água, o que aumenta o risco de lascamento. “Nosso projeto demonstrou que a utilização de fibras de polipropileno misturadas ao concreto podem efetivamente reduzir esse risco”, diz ele. “No caso de um incêndio, essas fibras amolecem e até se fundem, produzindo um caminho para a saída do vapor de água. Com isso, o concreto pode ser calcinado, mas se mantém íntegro protegendo as camadas mais internas de revestimento do túnel e, por consequência, garantindo a estabilidade da estrutura.”

O trabalho realizado por Figueiredo com materiais poliméricos adicionados ao concreto foi aproveitado em alguns túneis construídos em São Paulo, como nas obras do Rodoanel e na rodovia dos Imigrantes. Mas ele tem outras aplicações. A mais comum é a utilização em pavimentos, nos quais as fibras poliméricas são usadas para o controle da fissuração oriunda da retração do material após a secagem. ■

O PROJETO

Ação de altas temperaturas sobre concretos aplicados em túneis - nº 2002/10118-4

MODALIDADE

Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR

Antônio Domingues de Figueiredo - USP

INVESTIMENTO

R\$ 56.574,75 (FAPESP)