



Ano XXXVII | Nº 54
Abr. • Mai. • Jun. | 2009
ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

NORMALIZAÇÃO



Norma brasileira
para prevenção
da Reação
Álcali-Agregado

REVESTIMENTO



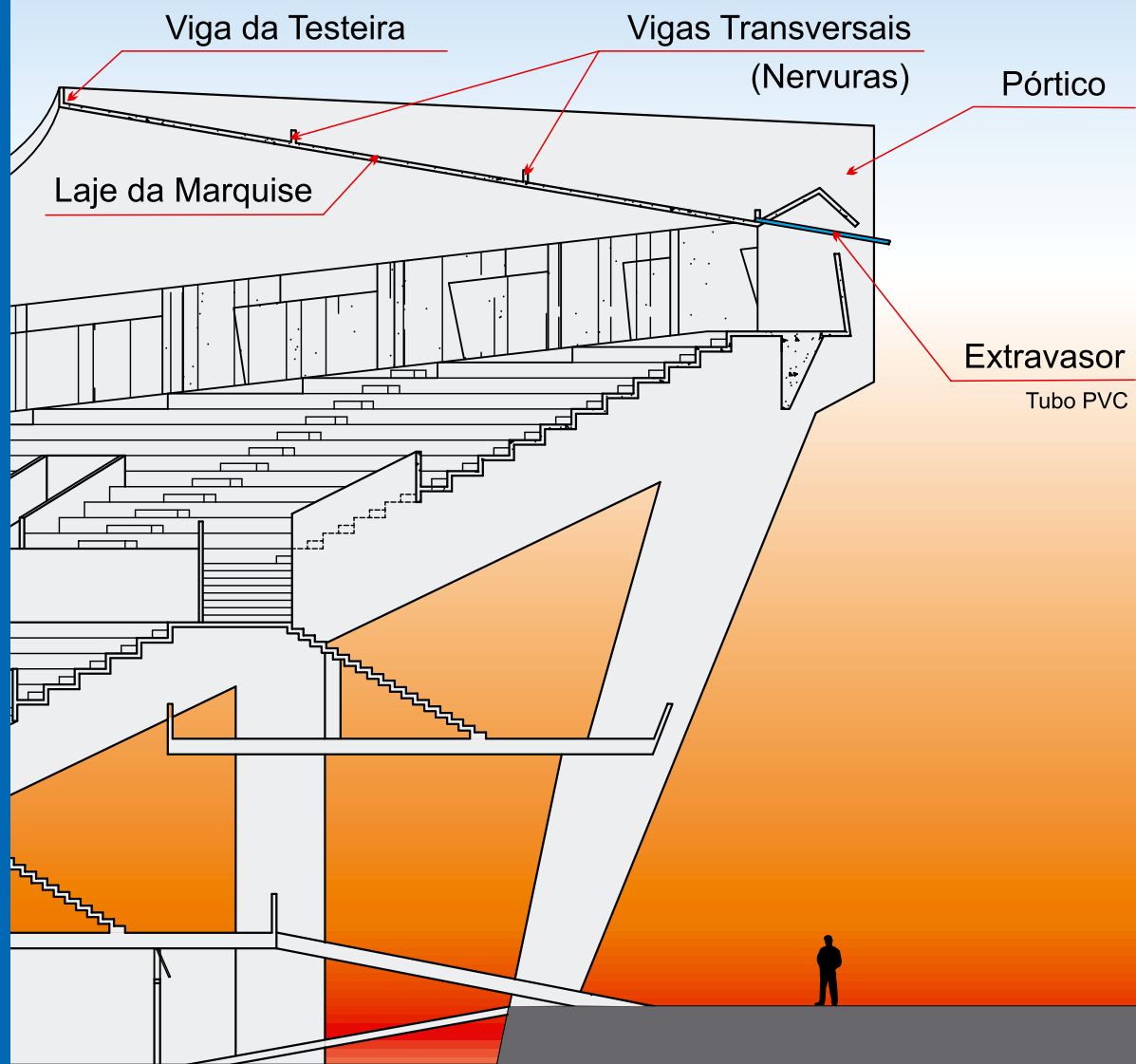
Concreto
auto-adensável para
recuperação do
recobrimento de pisos

ENTENDA O CONCRETO



Material construtivo
feito para resistir

MORENÃO: O ESTADO DE CONSERVAÇÃO E DE SEGURANÇA DE UM ESTÁDIO BRASILEIRO



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

ADITIVOS



MELBAR



EQUIPAMENTOS



Equipamentos e Sistemas de Ensaio

ADIÇÕES



JUNTAS



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



PONTIFÍCA UNIVERSIDADE CATÓLICA



Instituto de Pesquisas Tecnológicas



ARMADURA



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



Concrete, Construction and Rehabilitation



JUNTE-SE A ELAS

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

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



FÔRMAS



CONSTRUTORAS



CIMENTO



AGREGADOS



GOVERNO



CONCRETO



Diretor Presidente
Rubens Machado Bittencourt

Diretor 1º Vice-Presidente
Paulo Helene

Diretor 2º Vice-Presidente
Mário William Esper

Diretor 1º Secretário
Nelson Covas

Diretor 2º Secretário
Sonia Regina Freitas

Diretor 1º Tesoureiro
Claudio Sbrighi Neto

Diretor 2º Tesoureiro
Luiz Prado Vieira Júnior

Diretor Técnico
Carlos de Oliveira Campos

Diretor de Eventos
Túlio Nogueira Bittencourt

Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Diretor de Publicações e Divulgação Técnica
José Luiz Antunes de Oliveira e Sousa

Diretor de Marketing
Alexandre Baumgart

Diretor de Relações Institucionais
Wagner Roberto Lopes

Diretor de Cursos
Juan Fernando Matias Martin

Diretor de Certificação de Mão-de-obra
Júlio Timmerman

REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES
Revista Oficial do IBRACON

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

ISSN 1809-7197
Tiragem desta edição 5.000 exemplares
Publicação Trimestral
Distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL
Fábio Luís Pedroso – MTB 41728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO
Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

DESKTOP PUBLISHER
Gill Pereira (Ellementto-Arte)
gill@ellementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO
office@ibracon.org.br

Gráfica: Ipsis Gráfica e Editora

Preço: R\$ 12,00

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

Copyright 2009 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
Tulio Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil

COMITÊ EDITORIAL
Ana E. P. G. A. Jacintho, PUC-Campinas, Brasil
Joaquim Figueiras, FEUP, Portugal
José Luiz A. de Oliveira e Sousa, UNICAMP, Brasil
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, UFRGS, Brasil
Paulo Helene, PCC-EPUSP, Brasil
Paulo Monteiro, UC BERKELEY, USA
Pedro Castro, CINVESTAV, México
Raul Husni, UBA, Argentina
Rubens Bittencourt, IBRACON, Brasil
Ruy Ohtake, ARQUITETURA, Brasil

IBRACON
Rua Julieta Espírito Santo Pinheiro, 68
Jardim Olímpia – CEP 05542-120
São Paulo – SP



12 Inspeção e recuperação *A vistoria e os resultados encontrados no Estádio Universitário Pedro Pedrossian de Campo Grande*

21 Entenda o Concreto *Os fatores intervenientes na resistência do concreto à compressão*

34 Normalização *A história da ABNT NBR 15577, seus parâmetros e procedimentos*



49 Dosagem do concreto *Estudo de dosagem do concreto para ladrilho hidráulico com adição de resíduo de beneficiamento de granito*



59 Revestimento de pisos *A execução de revestimento de lajes de estacionamento de Shopping Center com concreto auto-adensável*

64 Gestão de resíduos *A gestão ambiental de resíduos de demolição e construção nas construtoras de Belém*

SEÇÕES

- 5 Editorial
- 6 Converse com IBRACON
- 8 Personalidade Entrevistada – Jarbas Milititsky
- 19 Entidades Parceiras
- 31 Mercado Nacional
- 48 Mantenedor
- 57 Engenharia Legal
- 69 Acontece
- 71 Pesquisa Aplicada



Créditos Capa:
Corte esquemático de projeto do
Estádio Morenão

Fórum tradicional para o avanço da Pesquisa & Desenvolvimento em concreto

É um grande prazer escrever o editorial desta edição, como responsável pela Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento do IBRACON. Nosso Instituto tem sido, ao longo dos seus 37 anos, um importante veículo para disseminação das iniciativas de pesquisa e desenvolvimento relacionados ao concreto, através de suas publicações, da ação de seus Comitês Técnicos e, especialmente, do Congresso Brasileiro do Concreto (CBC), evento mais tradicional e impactante da área no país.

No momento em que se avizinha o 51º CBC, a se realizar em Curitiba, de 6 a 10 de outubro, vale a pena refletir sobre o papel deste evento para a área de pesquisa e desenvolvimento em concreto.

Em primeiro lugar, o CBC tem trazido pesquisadores de ponta para discutir com a comunidade brasileira os mais recentes desenvolvimentos, fomentando ou reforçando novas avenidas de investigação. Em Salvador, acompanhei num auditório lotado uma platéia vibrando com as descrições das oportunidades abertas no campo da Nanotecnologia aplicada ao concreto, nas palestras dos Professores Surendra Shah e Paulo Monteiro. Em anos anteriores, impactos semelhantes foram registrados ao ouvirmos P.K.Mehta e o Mohan Malhotra enfatizarem apaixonadamente a questão da sustentabilidade e a necessidade da redução do impacto ambiental nas atividades de construção. Neste ano, o CBC será abrilhantado pela presença de palestrantes do nível de Peter Marti, Alberto Carpinteri, Christian Bohler e James Wight.

O CBC promove também um recorte dos mais significativos desenvolvimentos nacionais na área de concreto. Mais de 700 resumos são apresentados, anualmente, à Comissão Científica. Desses, são selecionados cerca de 250 para apresentação oral e 200 para apresentação em formato pôster. Esta seleção é um exercício dos mais árduos, só possível graças aos esforços de uma Comissão Científica abnegada e brilhante. Uma breve análise dos numerosos trabalhos que chegam às nossas mãos evidencia a pujança e diversidade de nossas pesquisas na área de concreto. A qualidade da maioria delas é indubitável e, portanto, não nos surpreende quando nossos convidados internacionais se impressionam com a realidade que encontram espelhada no CBC.

A atualidade e a repercussão dessas pesquisas ajudam a explicar o incremento no número de parcerias com grupos e pesquisadores de ponta internacionais, observado nos nossos melhores centros de pesquisa brasileiros. Dada a qualidade de nosso trabalho, estamos nos inserindo, cada vez mais, e com crescente impacto, na comunidade internacional. Por isto não surpreende notar a evolução nas atividades conjuntas do IBRACON com o ACI e outras entidades internacionais – nem que associados, como Augusto Carlos de Vasconcelos, Selmo Kuperman e Sofia Diniz, tenham recebido importantes comendas internacionais.

No campo da normalização relativa ao concreto, tivemos o prazer de ver um grupo de representantes do Instituto – sob a liderança de Túlio Bittencourt e da Eng. Inês Battagin, coordenadora do CB-18 – exercer um papel importante para o reconhecimento internacional da nossa NBR 6118 – que havia sido revisada com apoio de um comitê técnico muito atuante do IBRACON, coordenado por Fernando Stucchi.

A Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento vem, também, apoiando e estimulando os diversos fóruns de discussão que estão sendo gestados no âmbito dos CBCs. Em Bento Gonçalves, formou-se uma rede

de pesquisa nacional na área de corrosão; seguiu-se uma segunda rede na área de carbonatação, que teve sua primeira reunião em Salvador. Este tipo de ação, facilitada pelo papel do CBC como ponto focal de encontro, além de otimizar e alinhar os esforços de pesquisa nas áreas de interesse particulares, acaba gerando uma grande rede de cooperação nacional, o que possibilita iniciativas valiosas, como a produção de livros técnicos do porte de “Concreto: ensino, pesquisa e realizações” e “Materiais de Construção Civil”, resultados dos esforços voluntários de muitos associados e da sábia condução de Geraldo Isaia, assim como do apoio inestimável de empresas associadas com visão, que viabilizaram economicamente o processo.

Cabe ainda destacar o sucesso dos painéis de temas controversos, nos quais especialistas do meio acadêmico e técnico se reúnem com o público para discutir temas polêmicos, como o valor do módulo de elasticidade ou a noção de risco em estruturas. Em Curitiba, teremos duas sessões: desafios postos pelo uso de concretos especiais em obras; e motivos para tantos concretos não atingirem o fck desejado. Tenho certeza que os participantes terão muito a discutir e refletir.

Outra ação importante no âmbito da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento é a Premiação das Melhores Dissertações e Teses nas áreas de Estrutura e Materiais. Os Concursos Estudantis são outra herança importante dos CBCs.

Há alguns meses, tive oportunidade de conversar com um jovem engenheiro que estava finalizando seu mestrado. Ele me contou que considerava uma das maiores oportunidades de amadurecimento profissional sua participação em 3 edições do Concurso APO – Aparato de Proteção ao Ovo. Ao longo dos anos, com o apoio de professores e de sua equipe, testou diversas combinações de materiais para obter um concreto adequado; modelaram a estrutura considerando efeitos de impacto e amortecimento; e estudaram diferentes estratégias de armação para melhorar o desempenho do pórtico resultante. Foi muito gostoso ouvir este testemunho e perceber que o IBRACON estava dessa forma colaborando para desenvolver profissionais mais competentes e seguros de suas habilidades. Parabéns à nossa diretoria técnica, de eventos e aos organizadores dos concursos!

Por outro lado, a FEIBRACON é uma grande oportunidade para interação com fabricantes e fornecedores e palco fundamental para o lançamento das novidades. Ela é onde muitos de nossos associados, pela primeira vez, entram em contato com sensores de fibra ótica, esculturas em micro-cimento, pisos coloridos e novos aditivos. Até caminhões betoneira já andaram desfilando pela mesma. Nos últimos anos, foi criado um espaço nobre para as palestras técnico-comerciais, nos quais os expositores podem apresentar mais detalhadamente os últimos desenvolvimentos. Para a Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento, este é um espaço que deve se tornar cada vez mais valorizado, num momento em que se busca articular o meio técnico e acadêmico, para alavancar a cultura de inovação e transladar os avanços de pesquisa em desenvolvimentos tecnológicos efetivos.

Depois de refletir sobre tudo isto, só me resta fazer um chamamento em nome da diretoria do IBRACON e da Comissão Organizadora do 51º CBC: ENCONTREMO-NOS EM CURITIBA. Afinal, nada disso seria possível nem faria sentido sem a participação de nossos associados! A Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento fará seu melhor para que este evento seja, novamente, uma experiência inesquecível.

Gostaria, por fim, de fazer um pedido adicional aos nossos leitores: ENVOLVAM-SE COM AS ATIVIDADES DO IBRACON. Os Comitês Técnicos, as Publicações, o Concreto Brasil e o Banco de Teses e Dissertações só podem crescer com seu apoio. O IBRACON é uma construção coletiva que considero fundamental para a engenharia de nosso país. Ajude-nos a torná-lo ainda mais atuante e representativo dos desejos da nossa comunidade do concreto.

LUIZ CARLOS PINTO DA SILVA FILHO
Diretor de Pesquisa & Desenvolvimento



Converse com o IBRACON

Brasileiras são homenageadas pelo ACI

Durante a Spring Convention do American Concrete Institute (ACI), realizada em San Antonio, Texas, de 15 a 19 de março último, foram premiadas duas brasileiras: as engenheiras Sofia Maria Carrato Diniz e Jussara Tanesi. As honrarias concedidas são muito importantes e refletem a qualidade do trabalho internacional desenvolvido por estas duas engenheiras. Seus nomes são recomendados por um comitê especial e eleitos pela Diretoria do ACI.

Sofia Maria Carrato Diniz

Agraciada com o título de Fellow do ACI. Fellow é uma pessoa que tenha contribuído de maneira excepcional para a produção ou uso de materiais, produtos e estruturas de concreto nas áreas de educação, pesquisa, desenvolvimento, projeto, construção ou gerenciamento.

Este título honorífico foi criado em 1973 e, atualmente, há 610 Fellows do ACI no mundo.

Sofia é Professora Associada do Departamento de Engenharia Estrutural da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte. Ela é Chairman do Comitê ACI 348 - Segurança Estrutural e membro do Comitê ACI de Marketing, entre várias outras posições de destaque.

Jussara Tanesi

Agraciada com o prêmio de ACI Young Member Award for Professional Achievement, por sua contribuição para o avanço da tecnologia de concreto e colaborações aos programas do ACI em comitês e em sessões; e por relatar sobre pesquisas e tecnologia de concreto em diversos países e várias línguas, desta maneira ajudando a implementar os objetivos do ACI tanto em nível nacional (Estados Unidos) quanto internacional. Jussara é Pesquisadora de Materiais para Concreto na Federal Highway Administration, no Turner Fairbank Highway Research Center, em McLean, nos Estados Unidos. Ela é Chairman do Comitê ACI 236-C - Computational Materials Science. Ela é também diretora do Board of Direction of ACI National Capital Chapter, entre várias outras posições de destaque.

Abraços,

Selmo Kuperman

Conselheiro IBRACON

É uma honra merecida para estas brilhantes pesquisadoras.

Temos o prazer de contar com a Sofia como colaboradora muito ativa da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento.

Um abraço,

Luiz Carlos

Diretor Pesquisa e Desenvolvimento do IBRACON

Divulgação internacional das Publicações do IBRACON

Encaminho para seu conhecimento a última ata de reunião entre os parceiros internacionais do Concreto, setor de publicações.

Chamo a atenção para itens importantes que o IBRACON deveria aproveitar para divulgar: as práticas brasileiras em outros países, principalmente, no que se refere às publicações: os coreanos, hindus, japoneses, etc mostraram-se muito interessados em acessar as revistas IBRACON, via Internet.

Abraços,

Selmo Kuperman

Conselheiro IBRACON

Segue os trechos da ata "Minutes International Partnerships & Publication Committee", resultado de reunião entre as entidades parceiras da Comunidade Internacional do Concreto, ocorrida na Spring Convention 2009 do American Concrete Institute (ACI), em março último, relacionados à divulgação internacional das publicações do IBRACON:

Potential International Publication Series

Kuperman reiterated IBRACON's intent to publish an IPS on roller compacted concrete (RCC), based in part on papers from an international symposium being held in Brazil in September, 2008.

Glumb (ACI) pointed out that the International Pubs/Web-site committee handled the process of approving IPSs. Corley (ACI/chair) requested that previous members of the IP/W be retained on the subcommittee for review, and Corley requested additional volunteers to serve.

To improve communication/cooperation among partners, the following were suggested:

- ◆ Kuperman noted that in Brazil there is news about ACI, but nothing about JCI, Sweden, etc. Kuperman suggested considering how communication among the Partners can be improved.
- ◆ Corley suggested a section in CI regarding "news of International Partners";
- ◆ Kuperman suggested creating a message thru the website via a weekly/monthly link. Only KCI has an English news blurb;
- ◆ Tolley (ACI) provided an update of ACI's International Research Portal. ACI will put abstracts from any International Partner in the ACI database; for those that are free, a user can download the document immediately; for those that are for sale, the user will be directed to International Partner who will handle the sale of the document.

Abstracts must be in English, but the actual journal article may be either English or other language. Journal article can be free or for purchase. The abstracts can be accessed via the "Searchable Abstracts of ACI Publications".

The portal is active with KCI documents available. Kuperman noted that IBRACON is entering an agreement with ACI to make their technical papers available free.

Tolley noted that RILEM intends to provide abstracts and ACI is following up with The Concrete Society, whose Executive Director had indicated his desire to participate before he left the Society. For those International Partners interested, intent and information should be submitted to John Glumb (John.Glumb@concrete.org).

It was suggested that the program be promoted more widely in Concrete International now that it is available.

Mais um notável engenheiro que se vai!

Despediu-se de nós em 22 de maio, depois de longo período de falta de memória, nosso querido José Rudloff Mans. Nascido em Valdivia em 1917, formado em engenharia mecânica e civil pela Universidade do Chile, em Santiago, em 1943, decidiu viver no Brasil a partir de 1954. Foi uma ótima decisão para nós com sua imensa colaboração para o desenvolvimento do concreto protendido com pós-tração.

De origem alemã (seu avô, alemão, imigrou para o Chile) nasceu no Chile e nunca perdeu o sotaque espanhol. O pai, chileno de nascimento, casou-se com uma chilena e teve 3 filhos homens, dos quais 2 foram engenheiros. Estudou na Escola Militar em Santiago, sendo colega de turma de Augusto Pinochet, a quem muito admirava. Somente depois é que cursou simultaneamente engenharia mecânica e civil. Não se sabe bem o motivo que o levou a escolher o Brasil, onde desenvolveu muitos estudos e pesquisas, numa época em que o concreto protendido ainda estava começando com utilização da patente Freyssinet.

Criar um sistema original de protensão e competir com o sistema patenteado de Eugéne Freyssinet não foi tarefa fácil. Sua criatividade e persistência, entre-

tanto, venceu os obstáculos. Conseguiu criar um processo novo, inteiramente original, e obteve a primeira patente brasileira, legalmente reconhecida.

Teve inicialmente o apoio do Eng. Agenor Guerra Corrêa Filho, que havia fundado a Construtora Mauá e, com ele, adquiriu os conceitos fundamentais do Concreto Protendido, que ainda era mistério para os profissionais brasileiros, que ainda não tinham formação nessa matéria ainda nova. Com muito esforço, estudou essa matéria, que não lhe foi ensinada no curso de engenharia e, logo, se adaptou ao assunto novo. Fez uma fusão de 1980 a 1989 com o suíço Vincent Losinger, que possuía um sistema próprio de protensão denominado VSL (Sistema de Protensão Losinger), consagrado na Europa. Essa união possibilitou-lhe desenvolver sua patente com a entrada de novas tecnologias. Dessa união surgiram outras realizações: como fabricação própria de macacos de grande potência, bombas injetores de calda de cimento, cunhas e ancoragens de grande potência, luvas prensadas para emenda de vergalhões e aparelhos de apoio metálicos, (Pot Bearings) ampliando muito o mercado de trabalho. Chegou até mesmo a exportar cunhas e equipamentos para a Europa, que vendia na comunidade europeia com a sigla VSL, como se tratasse de realizações daquela empresa suíça.

Não durou mais do que 9 anos aquela união e atualmente a firma tem apenas o nome de Rudloff Industrial Ltda. e é dirigida pelo Eng. Eduardo Toutin Acosta, desde seu afastamento em consequência do mal de Alzheimer que o vitimou, deixando sua esposa Maria Felícia, com quem se dizia muito feliz. As primeiras realizações executadas pelo sistema Rudloff foram:

- ◆ 1 – Viga T experimental executada pela SITUBOS com um só cabo de 18Φ5 mm ancorados 2 a 2 (dezembro 1954)
- ◆ 2 – 3000 vigotas premoldadas de 5 m na fábrica ELCLOR com 2Φ5 mm (Construtora Mauá- 1955)
- ◆ 3 – Fábrica ELCLOR: dois tipos diferentes de pórticos tri-articulados com vão de 17 m; um cabo de 12Φ5 mm no pilar e um cabo de 5Φmm no braço superior (Construtora Mauá – 1955).
- ◆ 4 – Ponte sobre o rio Tietê em Porto Ferrão com vigas premoldadas de 24 m, peso 24 ton, levantadas 6 m com equipamento original (Construtora Mauá 1956/ 7).
- ◆ 5 – Ponte sobre o rio Paranapanema, em Avaré, com comprimento total de 1000 m (24 tramos de 40 m, levantadas 34 m com processo original) Construtora Mauá 1963. Foi a ponte mais longa de São Paulo.
- ◆ 6 – Viga circular de 40 m de diâmetro dos anfiteatros da Cidade Universitária de São Paulo, com 72 cabos imbricados de 12Φ5 mm

A realização mais recente com a participação direta de Rudloff foi a solução original e execução ousada de executar 17 m de sub-solos no Shopping Paulista (antiga Casa Sears), sem demolir os andares superiores das lojas, em funcionamento não interrompido. Cargas de 400 ton nos pilares foram transferidas para uma estrutura metálica sobre 4 estacas provisórias, seguida de corte dos pilares e execução de novos pilares-tubulões profundos em continuação aos pilares seccionados.

Augusto Carlos Vasconcelos
Conselheiro IBRACON ◆

Jarbas Milititsky,
presidente da
ABMS Associação
Brasileira de
Mecânica dos
Solos e Engenharia
Geotécnica



Formado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1968, Jarbas Milititsky especializou-se em Geotecnia, área onde atualmente é consultor. Seus primeiros trabalhos nesta área iniciaram-se em 1973.

De lá para cá, Milititsky traz em sua bagagem obras emblemáticas: fundações e contenções do Metrô de Brasília com paredes diafragma; projeto de fundações e contenções dos cinco subsolos, com 18 metros de escavação, do Shopping Moinhos dos Ventos, em Poá; consultoria de fundações para a duplicação da Refinaria Alberto Pasqualini, em Canoas; projeto de fundações e contenções do Anexo III do Senado Federal, com três subsolos e área de 40 mil metros quadrados; consultoria e direção técnica do programa de investigação do subsolo e projeto das fundações das 75 torres do Parque Eólico de Osório, no Rio Grande do Sul, atualmente em construção; e solução de fundações de três viadutos no trecho Osório Torres da BR 101; entre outras.

Presidente da Fapergs em duas gestões (1990-1995) e presidente de seu Conselho Superior de 2005 a 2007, além de ter assumido a Diretoria da Escola de Engenharia da UFRGS (1996-2000), e ser autor de 48 artigos científicos em congressos nacionais e internacionais, Milititsky tem larga experiência para nos falar sobre estado de conservação e de segurança das barragens brasileiras, assunto que reassumiu sua importância diante do acidente ocorrido na barragem de Algodões I.

IBRACON – Quais são os riscos associados à construção de uma barragem de concreto?

Jarbas Milititsky – Os riscos associados à construção de uma barragem de concreto são semelhantes aos de uma obra de grande porte. Os riscos de tais obras estão relacionados à forma de implantação no local da construção, às condições do solo, ao estado das rochas, além do conhecimento e estudo de questões ligadas à hidráulica e à hidrologia.

IBRACON – De um modo geral, que fatores estão frequentemente presentes no rompimento de uma barragem?

Jarbas Milititsky – Barragens são projetadas para suportar um certo volume de armazenamento e de chuvas, determinado a partir de estudos técnicos. Sua construção leva em conta condições atmosféricas que abrangem um largo período de recorrência. Devido às variações atmosféricas, pode-se ter problemas do ponto de vista de estimativa e previsão. Depois que a barragem apresenta problemas de vazamento durante o próprio processo construtivo, mesmo ela sendo recuperada ou estando em processo de recuperação, um volume de precipitação maior pode deflagrar o processo de ruptura.



Se o excesso de chuvas sempre causasse tais acidentes não haveria mais hidrelétricas no país.



IBRACON – O rompimento pode ser atribuído exclusivamente às condições atmosféricas, como a quantidade de chuvas num período curto de tempo, índice pluviométrico não esperado para determinada região?

Jarbas Milititsky – É pouco razoável explicar o rompimento de uma barragem a partir de uma única variável. A ruptura pode ser atribuída a um conjunto de fatores, como as condições de implantação no local da construção, condições do solo, do estado das rochas, além do conhecimento da questão hidráulica e hidrológica. Se o excesso de chuvas sempre causasse tais acidentes não haveria mais hidrelétricas no país.

IBRACON – Qual é a frequência anual de rompimento de barragens no Brasil? Qual é esse índice em países que adotam um programa de inspeção e manutenção de barragens?

Jarbas Milititsky – Cerca de 40 países adotam programas de segurança de barragens, entre eles Suíça, Suécia, Canadá, EUA, Reino Unido, Holanda e Espanha. Nesses países o índice de acidentes está dentro do considerado tolerável – 1 acidente em 10 mil. Já no Brasil, país que não adotou nenhuma política de segurança, ocorre 1 caso para 1.000. Nosso atraso em desenvolver um Programa Nacional de Segurança de Barragens nos custa um índice de acidentes dez vezes maior que o tolerável.

Os acidentes no Brasil são muito frequentes – mais do que seria razoável esperar diante dos padrões aceitáveis no plano mundial. Houve 800 casos de rompimentos de barragens nos últimos oito anos. A média, portanto, é superior a 100 acidentes por ano. Só nos dois primeiros meses de 2008, foram 70. Em 2004, as rupturas atingiram mais de 400 barragens. Como o recente acidente no

Piauí, dois casos mereceram atenção especial da mídia e dos especialistas em 2008.

O primeiro deles foi o rompimento parcial, em 30 de janeiro, da barragem da Usina Hidrelétrica de Espora, localizada no Sudoeste de Goiás, que tem 1.500 metros de extensão e 45 metros de altura. Outro caso foi o rompimento da Usina Hidrelétrica Rondon 2 (Apertadinho), situada

no município de Vilhena, em Rondônia. O acidente aconteceu na tarde do dia 9 de janeiro, levando à ruptura de 60 metros da barragem principal. Em pouco mais de três horas, a água represada no lago de 10 km de extensão por 1 km de largura vazou, inundando 280 hectares de floresta e assoreando o rio Comemoração.

IBRACON – Por que a inspeção e a manutenção são procedimentos obrigatórios para assegurar a segurança de barragens? Além deles, quais outras medidas precisam ser consideradas na construção e operacionalização de uma barragem?

Jarbas Milititsky – É extremamente relevante ter essas medidas para evitar esse número significativo de rompimento das barragens. Elas estão simplesmente abandonadas. Não há nenhum processo de inspeção ou manutenção

regular. São grandes estruturas que não tem nenhuma entidade, nenhum organismo que faça a inspeção para verificar as condições necessárias de manutenção. Inspeção e manutenção são condições mínimas para que seja assegurada a segurança das barragens. Desse ponto de vista, é absolutamente fundamental que haja uma legislação federal e recursos assegurados para que se estabeleça uma política e leis relativas à questão da segurança dessas obras. Está em tramitação no Congresso Nacional o Projeto de Lei 1181/03, que cria uma Política Nacional de Segurança de Barragens. A medida conta com total aprovação da comunidade técnica e científica. Resta apenas aprová-la e implantá-la.

Em primeiro lugar vem a regulamentação de segurança das barragens. É preciso que o governo nacional estabeleça um programa nacional de segurança de barragens. Programa esse que deve fixar responsabilidades e envolver a participação de órgãos estaduais e federais para promover a melhoria continuada e a gestão da segurança de barragens. É necessário também que os órgãos oficiais responsáveis pela outorga, concessão, fiscalização e projetos envolvendo barragens aprimorem os seus procedimentos.

É necessário que se intensifiquem, inclusive, as exigências de obras em andamento tendo em vista a redução da probabilidade de acidentes. Como em outras obras brasileiras, os recursos destinados à mão de obra técnica qualificada e à inspeção e manutenção das questões de segurança são inferiores ao necessário.

Seria positivo também que a Defesa Civil, que já faz um trabalho magnífico, clarifique o seu trabalho de prevenção e controle, incorporando na elaboração dos planos preventivos e emergenciais a atuação das organizações técnicas e profissionais.

O documento da ABMS e do CBDB solicita, entre outras coisas, que a segurança das barragens não fique somente por conta de quem as projetou ou construiu, ou seja, a escala do risco de um acidente merece um tratamento especial e oficial. O monitoramento de risco não pode ficar exclusivamente sob a responsa-

bilidade do proprietário da barragem, necessita de uma abordagem mais sistêmica.

IBRACON – Como é a gestão de segurança de barragens no Brasil? Quais têm sido as principais medidas tomadas pelo governo? Quais as dificuldades enfrentadas? O que ainda precisa ser feito?

Jarbas Milititsky – Há organismos que fazem seus procedimentos padrões e seguem qualidades técnicas. Há profissionais competentes que se ocupam disso. Mas, pelo volume, pelo número de acidentes e de problemas, é inevitável constatar que existe uma carência enorme na gestão da segurança.

Há seis anos discute-se no Congresso a respeito desse tema. A Lei 1181/03 está pronta para ser aprovada, mas, mesmo assim, o assunto não avança. Seria absolutamente central que houvesse essa iniciativa

por parte do governo e das autoridades para que a situação melhorasse. O projeto, que cria um programa nacional de segurança das barragens, não teve até agora uma tramitação adequada.

Enquanto as barragens não forem seguras continuaremos com essas ameaças. E essa ameaça tem a ver diretamente com abastecimento de água para consumo e irrigação, controle de

enchentes, produção de energia, saneamento e despoluição. A ABMS se preocupa com esse assunto já faz algum tempo. Em

dezembro de 2008, criamos em conjunto com o CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens) um documento técnico propondo medidas concretas para ampliar a segurança das barragens. Se as sugestões forem implantadas, haverá um aumento significativo da segurança, ampliando-se substancialmente o patamar de segurança. O papel das entidades técnicas da engenharia civil, como CBDB e ABMS, é dar uma contribuição significativa para a melhoria da segurança e de qualidade das barragens brasileiras. É o que estamos fazendo com o máximo empenho e com o apoio de todos os nossos associados.

IBRACON – Quais as principais conclusões do documento “Mapeamento dos Espelhos d’água do Brasil” e de outros elaborados pelo



Pelo volume, pelo número de acidentes e de problemas, é inevitável constatar que existe uma carência enorme na gestão da segurança.



Ministério da Integração Nacional no que concerne à segurança das barragens brasileiras?

Jarbas Milititsky – Há um levantamento feito pela Agência Nacional de Águas, existe um mapeamento, existem cerca de 15 mil barragens no Brasil com pelo menos 20 hectares de superfície de reservatório. São barragens cujo eventual rompimento teria consequências desastrosas. Entre essas, existem 200 que não têm nenhuma manutenção. Todas são similares a essa barragem que se rompeu, a de Algodões I. Tem de haver uma melhoria nos seus procedimentos de segurança. O fato de a chuva ter provocado esses acidentes é porque elas já não apresentavam condições adequadas.

Representantes de órgãos públicos e privados, além de associações como a ABMS e o CBDB, estão continuamente em campo, no contato direto com a realidade. Os números de que dispomos são fruto deste trabalho.

Faltam, no entanto, estudos oficiais. Não há sequer um órgão de âmbito nacional com a responsabilidade de agir neste campo. É justamente por isso que queremos a aprovação da Lei de Segurança de Barragens, que prevê a criação deste órgão de âmbito federal, responsável inclusive por promover estudos e levantamentos oficiais, que possam nos dar uma noção clara da realidade.

IBRACON – *Qual é a importância de uma Política Nacional de Segurança de Barragens?*

Jarbas Milititsky – Há uma confusão legal nessa área. Há conflitos de atuação. União, estados e municípios disputam às vezes a primazia de atuação. Em outros casos, prevalece o vazio – não há a presença de nenhum dos três entes federativos. A Política Nacional de Segurança de Barragens representa uma superação desse quadro. Fixa atribuições e responsabilidades, definindo com clareza o que cabe à União, ao estado, ao município, ao projetista, ao construtor e ao gestor da obra. Daí a importância dessa legislação.

IBRACON – *Que medidas essa política colocaria em ação para garantir a segurança estrutural de barragens brasileiras?*

Jarbas Milititsky – Os parâmetros técnicos de

segurança são conhecidos. A engenharia brasileira de barragens tem qualidade internacional. O problema maior é de gestão, monitoramento e fiscalização. Ou seja, o problema é mais de ordem legal do que ordem propriamente técnica. A comunidade científica e técnica já definiu por consenso as medidas que devem ser implementadas e que estão contidas na citada Lei 1181/03.

IBRACON – *Como o senhor vê o desdobramento do rompimento da barragem de Algodões I?*

Jarbas Milititsky – A interdição de uma área deste tamanho coloca uma responsabilidade imensa, justamente porque existem fatores ponderáveis como a questão da interdição, evacuação. Esta situação deveria necessariamente ser evitada. Uma comissão técnica de-

veria ter sido formada com a participação de três ou quatro especialistas – para que a decisão não ficasse sob exclusiva responsabilidade de um único técnico.

Na verdade, temos que aprender com os problemas passados para evitar que mais pessoas fiquem suscetíveis a variados tipos de condicionantes. Esperamos que se aprenda com o acidente. Que ele sirva de lição para que, nos casos de outras barragens em situação de risco, haja efetivamente a participação ativa de profissionais especializados e

que estes levem em consideração os aprendizados todos acumulados no exame de acidentes anteriores.

IBRACON – *Que papel pode desempenhar as entidades técnicas da engenharia civil no atual contexto?*

Jarbas Milititsky – Entidades como a ABMS e o CBDB podem colaborar na união de profissionais especialistas em barragens no Brasil. Profissionais que, certamente, estariam disponíveis para a elaboração de planos sem qualquer outro interesse que não seja de natureza técnica. A capacitação tecnológica do Brasil é muito boa. O país tem qualificação e projetos. O problema não é de falta de tecnologia. É de falta de regulamentação. Não falta qualificação de pessoal. Faltam organização e regulamentação. Esses problemas aconteceram e continuarão a acontecer enquanto isto não for feito. ♦

A Política Nacional de Segurança de Barragens representa uma superação desse quadro. Fixa atribuições e responsabilidades, definindo com clareza o que cabe à União, ao estado, ao município, ao projetista, ao construtor e ao gestor da obra.

Avaliação de patologias no Estádio Universitário Morenã

Ricardo Nakao • José Francisco de Lima
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Wellington Valério Villa Nova
Arquiteto e Urbanista

1. Apresentação

O Estádio Universitário Pedro Pedrossian, mais conhecido por Morenã, em alusão à Cidade Morena, como carinhosamente Campo Grande, capital do Mato Grosso do Sul, é conhecida, encontra-se implantado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Foi inaugurado em 07 de março de 1971 e possui capacidade para aproximadamente 40.000 espectadores. É objeto da candidatura oficial da cidade a subsede da Copa de 2014, já foi palco de grandes jogos nacionais e internacionais, inclusive da Mini-Copa de 1972, e hoje é utilizado principalmente para jogos, shows e eventos sócio-culturais da cidade, abrigando ainda departamentos da própria instituição de ensino.

O SINAENCO – Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva, em novembro de 2007 divulgou um relatório intitulado: “Estudo sobre o Estado de Manutenção e Condições dos Estádios Brasileiros” [1], onde apontava os principais problemas de 29 estádios, de 18 cidades brasileiras, entre eles o Estádio Morenã.

Em função desse documento, a direção da UFMS nomeou uma Comissão constituída por professores, técnicos e um representante do CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, com o objetivo de vistoriar o estádio e verificar seu estado de conservação e segurança estrutural.



Figura 1: Vista aérea do Estádio Morenã

2. Projeto, execução e dificuldades encontradas

O projeto estrutural é de autoria da ETALP – Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta e a execução ficou a cargo da Construtora Ribeiro Franco. Durante a execução, inúmeros problemas ocorreram e, muitas vezes, em função da distância aos grandes centros e da precariedade dos sistemas de comunicação, as respostas às consultas enviadas para a matriz da projetista ou da construtora tardavam e, quando as soluções chegavam, quase que invariavelmente, já se tinha adotado uma solução alternativa.

Para o concreto, foram utilizados agregados locais, mas, como no início da década de 70 era comum a falta de cimento no país, foram empregados variados tipos desse aglomerante,

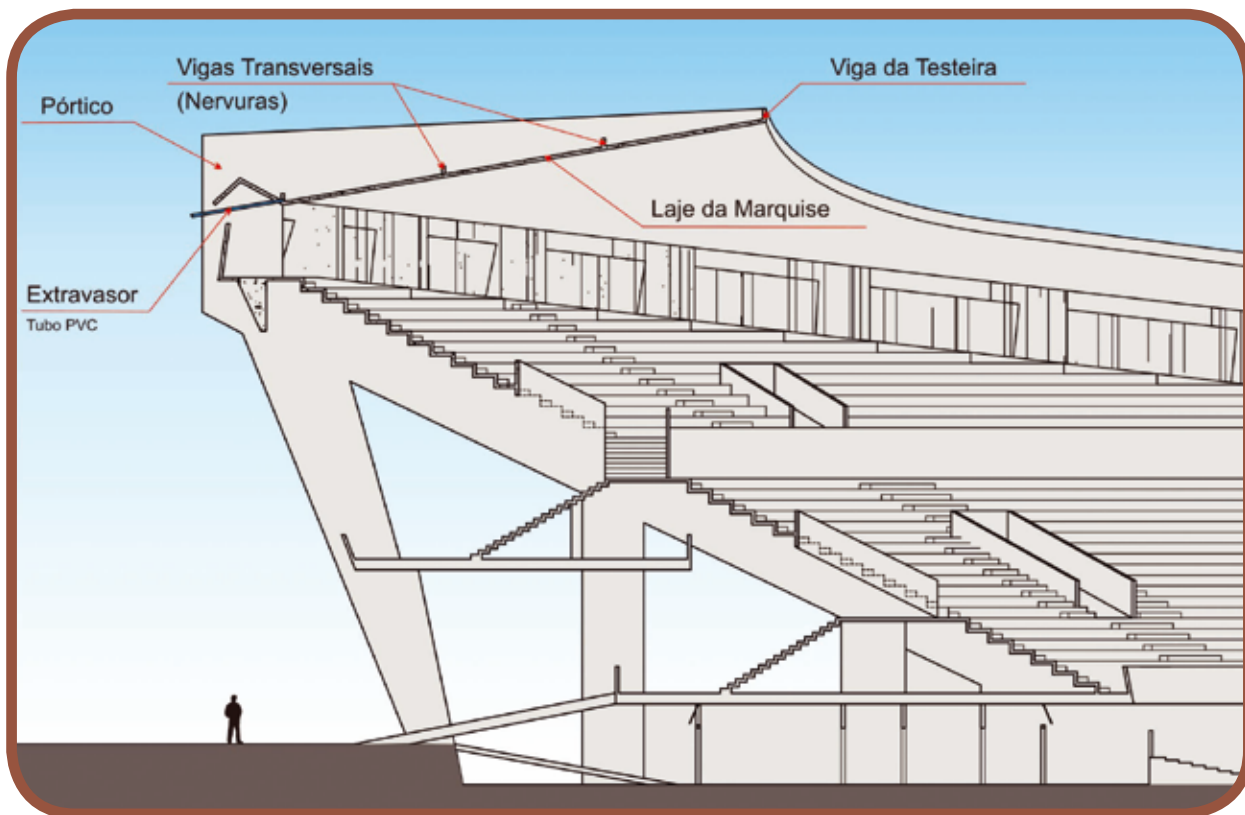


Figura 2: Corte Esquemático da Estrutura

inclusive cimentos importados de países como o Paraguai e a Polônia, optando-se, em função dessa variedade, pela não utilização de aditivos.

Confeccionado em uma betoneira de eixo horizontal com capacidade de 500 litros, que era instalada ao pé da torre de iluminação mais próxima do local de concretagem, o concreto era transportado verticalmente através de um pequeno guindaste instalado no alto dessa torre e então despejado sobre uma plataforma de madeira. A partir daí, era transportado manualmente por meio de baldes até o local da concretagem, pois o esquema estrutural adotado, constituído por lajes inclinadas apoiadas em vigas invertidas pouco espaçadas e essas, em pórticos com vãos de aproximadamente 7 m, dificultava o transporte de concreto por meio de carrinhos ou jericas. Na época, não era usual o emprego de guias nem eram disponíveis guias móveis, mais indicadas para a execução desse serviço.

Foi realizado um estudo comparativo através do ensaio de corpos de prova retirados na saída da betoneira e nos locais das concretagens, sendo constatada uma perda de resistência da ordem de 30%, em função da maneira como se realizava o transporte do concreto. Para compensar essa perda, procurou-se majorar a resistência do concreto nesse mesmo percentual, na tentativa de garantir a sua che-

gada ao destino com a resistência de projeto, que era de $\sigma_r = 160 \text{ kgf/cm}^2$.

As condições climáticas e falta de materiais e de mão-de-obra qualificada no restrito mercado local atrasaram a obra e, na etapa final, a execução se processava em três turnos, dificultando significativamente os trabalhos de execução, acompanhamento e controle.

As juntas de dilatação foram executadas com fôrmas de tábuas, visto que, na época, não era usual o emprego do EPS – poliestireno expandido – e algumas permaneceram após a conclusão da obra, dificultando os movimentos naturais da estrutura. Um outro problema constatado refere-se à utilização de apenas um jogo de fôrmas para concretagem dos trechos, o que ocasionou a perda da referência e ocorrência de desníveis entre os módulos, agravados, posteriormente, pelos efeitos da fluência.

3. O acidente de 1972 e a primeira recuperação

Em junho de 1972, duas horas após o término de um jogo, ocorreu um desabamento em que parte da marquise (cerca de 13 m^2) veio a ruir sobre a arquibancada

vazia, sem maiores conseqüências. A ETALP, contratada para averiguar as causas do acidente, apontou como causa principal do desabamento a deficiência, no trecho acidentado, das ancoragens das armaduras da laje e das vigas transversais (nervuras) nos pórticos de sustentação. Essa deficiência resultou do deslocamento das barras durante a execução da obra, pois, além da fixação insuficiente, possivelmente a vibração excessiva, aliada à inclinação da laje, ocasionaram o escorregamento da armadura, tornando a ancoragem insuficiente.

Para verificar a possibilidade de ocorrência de tal falha em outros trechos foi contratada a empresa EPT, do Prof. Eládio Petrucci. Por meio de ensaios de gamagrafia, foi constatado que, em alguns trechos, a armadura do pórtico não chegava até a extremidade, onde se apóia a viga da testeira da marquise. Na verificação do projeto e das etapas de execução, constatou-se ainda que, em alguns trechos dos pórticos de apoio da marquise, as variações nas dimensões laterais, indicadas no projeto, não foram executadas corretamente na montagem da armadura, resultando em ancoragens deficientes para as barras das vigas transversais. Os ensaios realizados pela EPT em corpos-de-prova extraídos em diversos pontos da estrutura indi-

caram que o concreto apresentava resistência adequada, superior aos valores considerados nos cálculos. A partir desses dados, um projeto de recuperação foi então elaborado pela ETALP, prevendo a reconstituição da parte da laje da marquise acidentada, o reforço da viga da testeira e das vigas transversais entre os pórticos, garantindo a ancoragem das armaduras. Para a viga da testeira, a solução proposta foi a execução de uma viga de reforço, com armadura independente, ligada à existente por meio de chumbadores metálicos e adesivo estrutural do tipo epóxi, numa das primeiras aplicações desse material no país.

Para a proteção das lajes, foi empregado um sistema de impermeabilização importado, baseado em material betuminoso, que com o tempo sofreu deterioração, escorrendo pelas descidas de águas pluviais embutidas nos pilares, obstruindo-as. Esse fato chegou a provocar o acúmulo, após uma chuva intensa, de 1.50 m de coluna d'água em parte da marquise, resultando em uma verdadeira prova de carga para a laje! Para minorar esse problema, devido à impossibilidade de desobstrução dos dutos embutidos nos pilares, foram instalados extravasores complementares em tubos de PVC aparentes em toda a extensão da marquise.

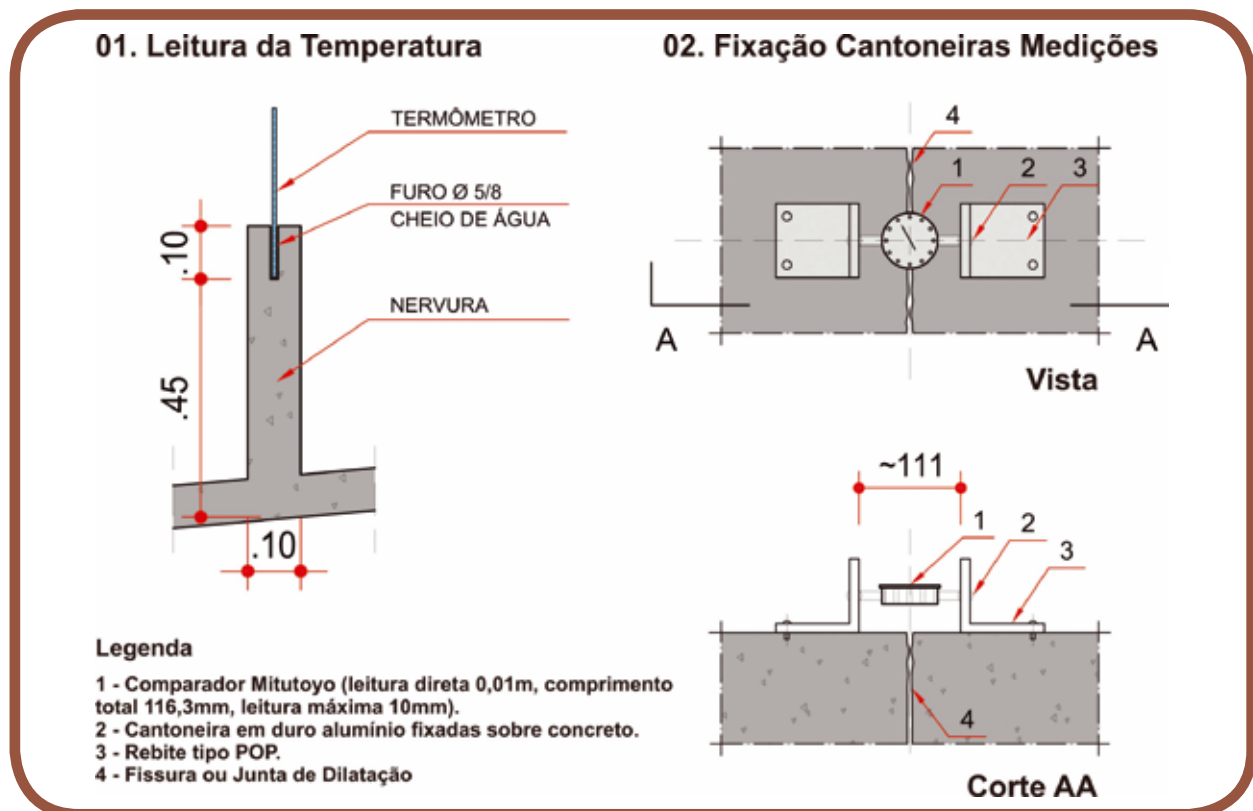


Figura 3: Esquemas de Leitura de Deformações e Temperaturas

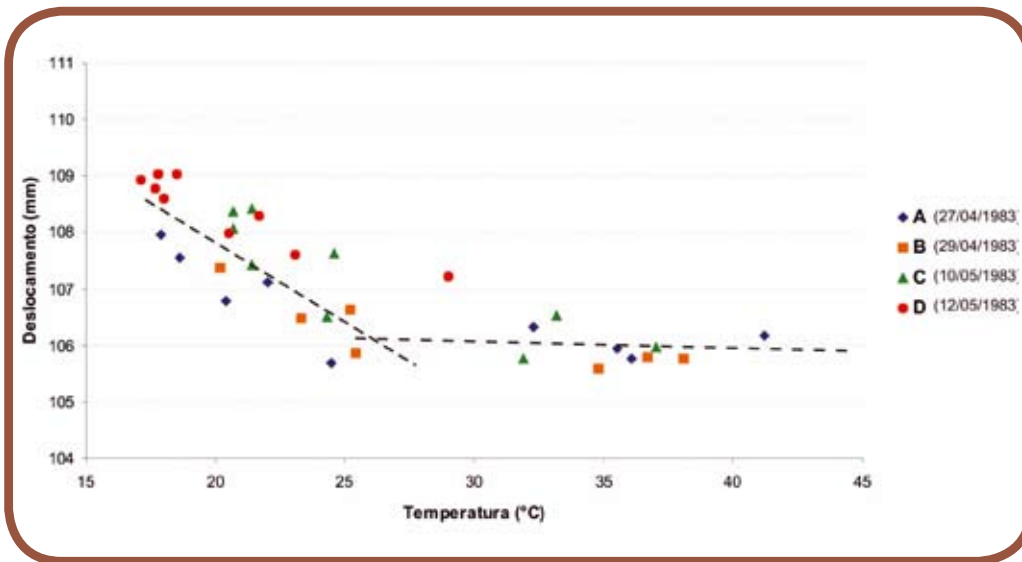


Figura 4: Variação da Abertura da Junta de Dilatação "Ponto R6". FAVALE [2]

4. A segunda recuperação (1983)

Em 1981, foi realizada uma nova vistoria, onde foram detectadas inúmeras fissuras nas lajes inclinadas da marquise e em vigas transversais de apoio (nervuras), armaduras expostas, cobrimentos insuficientes, barras dos porta-estribos de vigas transversais rompidas. Constatou-se ainda a ausência da impermeabilização das lajes da marquise e da vedação das juntas de dilatação.

A ETALP foi novamente contratada para dar um parecer sobre as condições de segurança da marquise do estádio. Após vistorias, constatou-se ainda que algumas das juntas de dilatação estavam obstruídas por tábuas e frag-

mentos de concreto remanescentes da época da construção, sendo então implantado um programa de monitoramento e acompanhamento da estrutura. Após o mapeamento das fissuras detectadas, variações de abertura dessas fissuras e das juntas de dilatação, foram monitoradas em períodos de 24 horas, de 3 em 3 horas, avaliando a variação das aberturas em função das variações de temperatura. A temperatura era aferida através de termômetros a álcool, introduzidos em furos previamente executados nas faces superiores das nervuras, preenchidos com água e posicionados próximos aos locais de medição. Para as fissuras e juntas de dilatação, foram instaladas cantoneiras de duralumínio entre as aberturas e as variações de deslocamentos eram avaliadas por meio de um defletômetro do tipo relógio comparador (Mitutoyo) com precisão de 0,01 mm (Figura 3).

Foram observadas variações diárias de temperatura na ordem de 25° C, medidas no interior da estrutura exposta, ocasionando tensões térmicas suficientes para provocar a fissuração do concreto. A

Figura 4, relativa à junta de dilatação R6, é típica de regiões da estrutura que apresentam um comportamento bi-linear, com um trecho em que a abertura é diretamente

Figura 5, relativa à junta de dilatação R4, é típica de regiões da estrutura que apresentam um comportamento bi-linear, com um trecho em que a abertura é diretamente

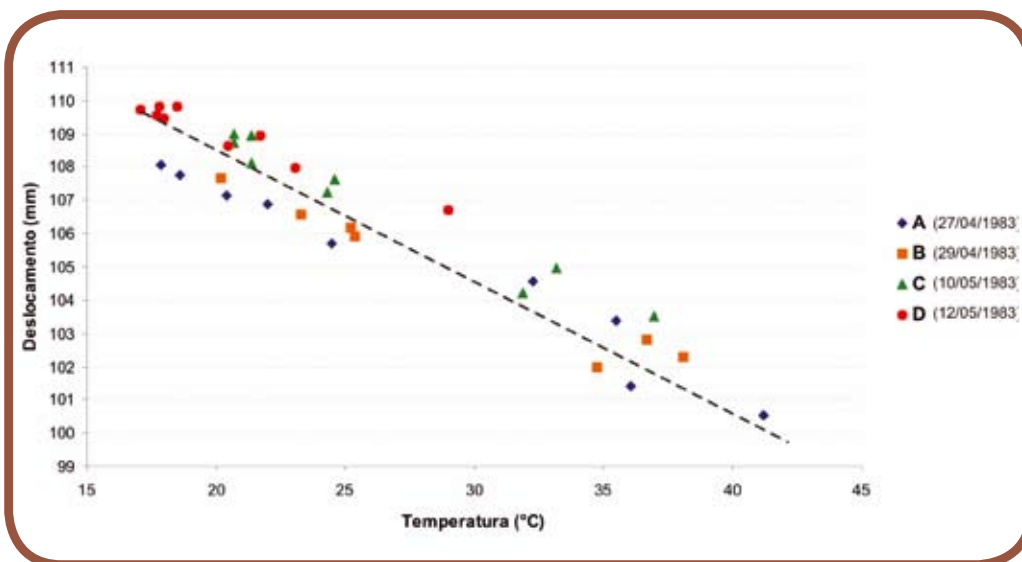


Figura 5: Variação da Abertura da Junta de Dilatação "Ponto R4". FAVALE [2]

Figura 5, relativa à junta de dilatação R4, é típica de regiões da estrutura que apresentam um comportamento bi-linear, com um trecho em que a abertura é diretamente

proporcional à temperatura e um segundo trecho em que a abertura da junta apresentava variações insignificantes para qualquer variação de temperatura, podendo ser considerada quase constante, ou seja, até um determinado valor de abertura, inexistem impedimentos ao seu funcionamento e, atingido esse valor, a junta não mais trabalha livremente, havendo obstáculos à continuidade de movimento, comprovando a existência de travamentos na junta. A **Figura 5**, relativo à junta R4, indica um comportamento linear, com a abertura da junta inversamente proporcional ao incremento da temperatura, ou seja, um comportamento conforme previsto em projeto.

A análise dos resultados [2] demonstrou que a estrutura apresentava um comportamento aproximadamente elástico-linear, não havendo indicação de processo de ruína, e as fissuras eram de pequenas aberturas, com exceção das que se situavam nas regiões em que as juntas de dilatação estavam travadas. O projeto de recuperação compreendeu basicamente a reconstituição da armadura das barras porta-estribos por meio de tela soldada e camada de cobrimento das vigas transversais através de concreto projetado, e procedendo à limpeza e desobstrução de todas as juntas. Quanto às fissuras nas lajes da marquise, as mesmas foram recuperadas através de injeção de resina epoxídica injetadas por meio de mangueiras plásticas após a limpeza e vedação.

Após a recuperação, foram recomendadas a execução da impermeabilização da marquise e o seu sombreamento, visando minorar a influência das variações de temperatura. Infelizmente, estes serviços não

foram executados e, certamente, colaboraram para que a marquise atingisse o estado de deterioração constatado na vistoria de dezembro de 2007.

5. A comissão e os resultados da vistoria de 2007

5.1 METODOLOGIA

A Comissão de Vistoria nomeada pela Reitoria da UFMS [3] decidiu aproveitar didaticamente a colaboração dos acadêmicos do quinto ano de engenharia civil da instituição de ensino. Assim, sob orientação de quatro professores, foram realizadas uma vistoria preliminar e alguns ensaios não destrutivos com o objetivo principal de avaliar as condições de resistência e durabilidade da estrutura, bem como efetuar uma verificação dos serviços de recuperação anteriormente executados. Divididos em equipes, os acadêmicos desenvolveram trabalhos que consistiram basicamente em:

- ◆ Entrevistas com profissionais que participaram da construção e das recuperações;
- ◆ Levantamento de informações em centenas de documentos, tais como projetos, laudos, fotos, correspondências técnicas e contratos;
- ◆ Levantamento das patologias estruturais;
- ◆ Realização de ensaios de esclerometria, carbonatação e avaliação de perda de seção por corrosão das armaduras.

Nas vistorias, foram detectadas diversas fissuras nas lajes, evidenciadas pela existência de infiltrações de água e manchas na face inferior da marquise, além de gote-



Figura 6: Mapeamento das Fissuras da Marquise. Lima ET AL [3]



Figura 7: Ensaio de Esclerometria

jamento sobre a arquibancada coberta em dias de chuva. Foi observado que parte das fissuras que haviam sido fechadas na recuperação realizada em 1983 reabriram e que outras surgiram posteriormente. A **Figura 6** apresenta um panorama das fissuras observadas, destacando as existentes em 1983 das observadas só em 2007. A reabertura das fissuras que haviam sido recuperadas se deve à falta de proteção e manutenção da estrutura e à ineficiência da metodologia e dos produtos disponíveis na época. Hoje, existem resinas com viscosidade praticamente igual à da água, que preenchem e monolitizam as fissuras, mesmo as de pequenas aberturas, com mais eficiência.

Outros problemas, freqüentes em estruturas semelhantes, foram também detectados: a corrosão de armaduras nos pés de pilares por ação de urina, a falta de vedação dos rufos de fechamento das juntas de dilatação, o acúmulo de água em alguns pontos isolados que, além da deterioração progressiva possível, permite a proliferação de insetos. Complementando as inspeções visuais da vistoria, foram realizados ensaios de carbonatação, esclerometria e avaliação de perda de seção das armaduras por corrosão.

5.2 ENSAIOS REALIZADOS

Ensaio de esclerometria, que fornecem uma avaliação da

duresa superficial do concreto, foram realizados em cerca de 20% dos pilares, nas arquibancadas e suas vigas, em todas as juntas de dilatação e nas faces inferior e superior da marquise. Os resultados dos ensaios indicaram valores elevados e variados no índice esclerométrico, em função do pequeno cobrimento das armaduras e do emprego de diferentes tipos de cimento e em alto teor.

Os ensaios de carbonatação indicaram que as profundidades de carbonatação de um modo geral não atingiam os cobrimentos de projeto. Foram ensaiados cinco pilares, nas suas faces externas ao estádio, a face superior da laje da arquibancada coberta, as faces superiores das

lajes da marquise e a face inferior de vigas da marquise. Em uma viga encontrada com parte da armadura exposta, não foi observada a corrosão de armadura, indicando que a atmosfera local não é agressiva.

A corrosão das armaduras que ocorre nas estruturas de concreto caracteriza-se pela perda de seção nas barras de aço, acompanhada da formação de produtos expansíveis que geram tensões que fissuram o concreto. Com o auxílio de um paquímetro digital, foram avaliadas as perdas de seção e as expansões decorrentes do processo de corrosão em alguns pilares afetados pela ação de urina de torcedores e com armaduras expostas. Foram observadas perdas



Figura 8: Medição de Perda de Seção por Corrosão

de seção nas barras longitudinais da ordem de 34% e expansões que atingiram 118% da seção nominal das barras. Os estribos dos pilares, em diâmetro de 6,30mm, também sofreram reduções de seção, sendo observados estribos rompidos em alguns pilares.

6. Considerações finais

O Decreto nº 6.795, de 13 de março de 2009, que regulamenta o controle das condições sanitárias e de segurança dos estádios, além de obrigar a elaboração de laudo de vistoria de engenharia, determina que, *“na hipótese de o estádio ser considerado excepcional por seu vulto, complexidade ou antecedentes ou sempre que indicado no laudo de vistoria de engenharia, será exigida a apresentação de laudo de estabilidade estrutural, na forma estabelecida pelo Ministério do Esporte”*.

O processo de envelhecimento das estruturas é inevitável, causando alterações das suas características iniciais, que se deterioram sob a ação do tempo e da agressividade do meio ambiente, porém as patologias podem ser evitadas ou controladas. A durabilidade prevista em projeto pode ser alcançada através de ações de gerenciamento de manutenções e recuperações baseadas na avaliação das condições reais da estrutura e do seu desempenho.

Embora atualmente existam sistemas de monitoramento contínuo da atividade estrutural em tempo real, com as informações sendo transmitidas instantaneamente, armazenadas e processadas automaticamente, quando se conhece a estrutura, é possível, com instrumentação simples, como extensômetros e ter-

mômetros, obter informações suficientes para a análise do seu comportamento.

A pesquisa documental do projeto estrutural e das recuperações realizadas, indicando que as armaduras existentes estão compatíveis com o projeto original, em termos de quantidades, de bitolas e do posicionamento das mesmas, aliada à observação visual da estrutura e complementada pela execução dos ensaios realizados, aponta para a segurança estrutural do estádio Morenã como um todo. Os principais problemas estruturais são localizados: lajes da marquise com fissuras e pés de pilares dos pórticos nas regiões próximas aos acessos com início de corrosão por ataque químico decorrente da urina. Entretanto, em pontos da estrutura em que há armadura exposta sem ataque químico e, mesmo nos pontos em que o concreto já foi atingido pela carbonatação, não há indícios de corrosão, evidenciando que a atmosfera ou ambiente não é agressivo. Para uma avaliação mais precisa da capacidade estrutural e durabilidade, novos ensaios e estudos devem ser realizados.

Apesar da necessidade de serviços de recuperação estrutural e manutenção localizados, o estado geral da estrutura permite que o estádio apresente condições de uso e atualmente os jogos acontecem normalmente. Há necessidade ainda de adequação aos novos padrões de acessibilidade, conforto e infraestrutura urbana.

Como o estádio Morenã pertence à própria Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, foi possível aproveitar essa oportunidade inusitada para transformá-lo em um verdadeiro laboratório e didaticamente, sob a orientação de professores, treinar acadêmicos do curso de engenharia civil na prática da investigação e análise de patologias.

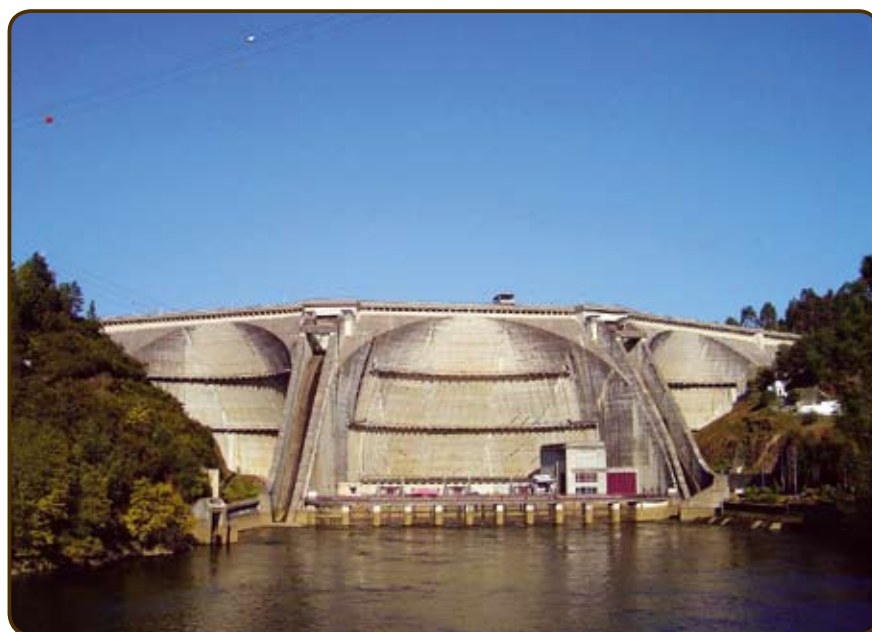
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] SINAENCO – SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA CONSULTIVA. Estudo sobre o Estado de Manutenção e Condições dos Estádios Brasileiros. São Paulo, SP, 2007. Disponível em: http://www.copa2014.org.br/sinaenco/pdf/2_por_paginas.pdf. Acesso em abril de 2009.
- [02] FAVALE, F. A. F. Relatório nº AGC13768/1437/01 sobre a Vistoria Técnica na Cobertura do Estádio Pedro Pedrossian em Campo Grande, MS – ETALP – ESCRITÓRIO TÉCNICO ARTUR LUIZ PITTA ENGENHEIROS ASSOCIADOS, São Paulo, SP, Junho de 1983.
- [03] LIMA, J. F., et al., Relatório de Vistoria Técnica Preliminar do Estádio Pedro Pedrossian – Comissão constituída pela Portaria nº 679/2007 – UFMS. Campo Grande, MS, 2007.
- [04] ANDRADE, T., SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas – Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações – Ibracon. Geraldo C. Isaia, São Paulo, SP, 2005.
- [05] NAKAO, R. et al. Avaliação de Patologias no Estádio Universitário Morenã, 50º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, Salvador, 2008. ◆

Acidente em Algodões I expõe a necessidade de uma Política Nacional de Segurança de Barragens

O Brasil tem cerca de 15 mil reservatórios e espelhos d'água com mais de 20 hectares e volume superior a um milhão de metros cúbicos. As informações constam do "Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil", elaborado pelo Ministério da Integração Nacional. Como o país não tem um programa nacional de segurança de barragens, são comuns os casos de rompimento parcial ou total desses reservatórios, como aconteceu no último dia 27 de maio com a barragem de Algodões, no Piauí.

Para alertar governo e sociedade sobre esta situação, duas associações de engenheiros elaboraram em dezembro de 2008 um documento apontando a possibilidade de novos rompimentos de barragens, caso o país não adotasse, em regime de urgência, um Programa Nacional de Segurança de Barragens. "O rompimento da barragem de Algodões I não é um caso isolado", lembra o engenheiro Jarbas Milititsky, presidente da ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), uma das entidades signatárias do documento de alerta. "Em 2008, aconteceram 70 casos semelhantes". Já o engenheiro Edilberto Maurer, presidente do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), entidade também autora e signatária do alerta, aponta a necessidade de aprovação, pelo Congresso Nacional, do Projeto de Lei 1181/03, que cria uma Política Nacional de Segurança de Barragens.



A tragédia no Piauí, segundo Milititsky e Maurer, pode contribuir para que o país e a sociedade acordem para o tema e adotem as providências técnicas necessárias - apresentadas em detalhes no documento a seguir assinado pelo CBDB e a ABMS.

Recomendações de interesse público sobre a gestão da segurança de barragens no Brasil

O Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) e a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), com base nas evidências e debates apresentados em recentes eventos técnicos sobre Engenharia de Barragens, vêm cumprir o dever de trazer a público algumas

recomendações urgentes para a melhoria da gestão da segurança das barragens brasileiras.

Assim, considerando:

- ◆ **a)** a importância estratégica das barragens e respectivos reservatórios para o funcionamento dos sistemas de abastecimento de água, de geração de energia elétrica, de irrigação, de prevenção de enchentes, de saneamento, de transportes hidroviários, de piscicultura, de contenção de rejeitos industriais, e outros;
 - ◆ **b)** o reconhecimento nacional e internacional da capacidade realizadora da engenharia de barragens brasileira, cujo êxito consiste em uma síntese dos esforços de vários segmentos da sociedade, notadamente dos setores educacional e industrial, que proporcionam elevados índices de nacionalização dos conhecimentos e dos insumos necessários à construção de barragens no Brasil;
 - ◆ **c)** o desejado crescimento sustentado do país, que demanda a construção de barragens, a fim de proporcionar a melhoria do bem-estar social às populações, sendo imperioso que se alcancem níveis adequados de segurança dessas estruturas;
 - ◆ **d)** o aumento de incidentes e acidentes com barragens observados nos últimos anos, que enseja a adoção imediata de medidas possíveis de ajustamento e melhorias nos procedimentos de gestão da segurança;
 - ◆ **e)** os prejuízos e perdas de benefícios às populações atingidas pelos referidos incidentes e acidentes com barragens;
 - ◆ **f)** as boas e consagradas práticas de engenharia, que estabelecem antes a PREVENÇÃO do que a CORREÇÃO.
- O CBDB e a ABMS recomendam:
- ◆ **1)** que o Congresso Nacional aprove o Projeto de Lei Nº 1.181/03, da Câmara dos Deputados, que consiste em uma regulamentação que reflete a reação ao problema identificado pelos profissionais e entidades representativas da engenharia de barragens do Brasil, E QUE SE TRATA DO PONTO CENTRAL DAS PRESENTES RECOMENDAÇÕES;
 - ◆ **2)** que o Governo Federal crie uma Comissão Federal de Segurança de Barragens para articular as ações e propor melhorias de Gestão de Segurança de Barragens no âmbito das instituições federais envolvidas com planejamento, projeto, construção e operação de barragens;
 - ◆ **3)** que o Governo Federal estabeleça um Programa Nacional de Segurança de Barragens que contemple medidas estruturais e não-estruturais para dotar as instituições federais e estaduais com meios humanos, físicos e financeiros para a melhoria continuada da gestão da segurança das barragens sob suas jurisdições.
 - ◆ **4)** que os agentes técnicos e econômicos que estejam envolvidos em empreendimentos que utilizem barragens avaliem seus atuais procedimentos e práticas, de modo a verificar se asseguram a adequada qualidade dos estudos, projetos, construção e operação das estruturas, corrigindo-os se necessário for;
 - ◆ **5)** que os órgãos oficiais responsáveis pela outorga, autorização, concessão, controle e fiscalização de projetos e obras envolvendo barragens aprimorem seus procedimentos, incluindo os referentes à análise de novos empreendimentos, e intensifiquem também as exigências das obras em andamento e das obras concluídas, visando sempre à prevenção de incidentes e acidentes com barragens;
 - ◆ **6)** que a Defesa Civil intensifique suas ações de prevenção de incidentes ou acidentes com barragens, em articulação com os órgãos oficiais de fiscalização e controle dos governos federal, estaduais e municipais, e contando com o apoio de organizações técnico-profissionais, de modo a estimular a elaboração de um "Plano de Ações Emergenciais (PAE)";
 - ◆ **7)** que as organizações profissionais e empresariais, cujos associados possuam envolvimento direto ou indireto com estudo, projeto, construção ou operação de barragens, divulguem estas recomendações, e disponibilizem seus conhecimentos técnicos, mobilizem suas estruturas operacionais e colaborem com a Defesa Civil e os órgãos oficiais de fiscalização e controle em prol da melhoria da gestão da segurança de barragens no Brasil;
 - ◆ **8)** que as universidades e escolas técnicas verifiquem suas grades curriculares, instalações e laboratórios, de modo a adequar seus programas de formação profissional à cultura técnica de gestão da segurança de barragens.
- Colocamo-nos à disposição das autoridades e do público em geral para prestar maiores esclarecimentos e para cooperar nas ações possíveis.

16 de Dezembro de 2008 ◆

Concreto: feito para resistir!

Fábio Luís Pedroso

Como material construtivo, uma propriedade muito valorizada no concreto é a resistência. Essa tem muitas facetas, mais ou menos valorizadas conforme a aplicação do material. A capacidade do concreto de resistir à água depois de endurecido, ou seja, de não se dissolver ou deteriorar sob a água, é uma propriedade apontada como determinante de seu uso disseminado. Ela justifica a aplicação do concreto em obras como pontes, cais, faróis, túneis desde tempos imemoriais.

Sua contrapartida – a resistência do concreto à passagem de água e outros líquidos, chamada impermeabilidade, é especialmente importante em obras hidráulicas, tais como: barragens de usinas hidrelétricas, canais de irrigação, reservatórios e estações de tratamento de água. Essas propriedades garantem que a estrutura de concreto dure, prolongue-se no tempo, resistindo às diversas intempéries – chuvas, ventos, variações de temperatura e umidade.

Num vertedouro de uma barragem, a resistência à erosão da superfície precisa ser considerada. Num piso de estacionamento, a resistência ao desgaste superficial provocado pelo atrito de veículos e pedestres (abrasão) é também uma variável importante no projeto deste pavimento. Ambos os parâmetros de resistência servem para garantir uma vida útil prolongada que justifique o montante de dinheiro investido. Em obras de concreto armado, onde o concreto mais o aço formam uma estrutura – edifícios, casas, pontes



Piso de estacionamento: além da resistência, outros fatores de projeto, como a planicidade, devem ser considerados

– a resistência à abrasão é também importante, pois o concreto numa estrutura assim funciona como elemento protetor do aço à corrosão, impedindo o contato do aço com os elementos químicos presentes do ar e responsáveis por sua deterioração. Armaduras expostas representam um problema para qualquer tipo de estrutura de concreto, sendo considerada uma patologia.

Essa capacidade do concreto de resistir a ataques químicos é outra propriedade muito valorizada do material. Na execução de pisos de estacionamento, adições e aditivos, componentes complementares à mistura tradicionalmente conhecida como concreto – areia, pedra, cimento e água – são adicionados para que a superfície resista aos ataques degradantes de graxas, óleos e combustíveis expelidos dos automóveis. Pontes marítimas e outras obras construídas em ambiente agressivo são projetadas para durar por mais de 50 anos. Mas, para isso, a resistência do concreto a sulfatos, a cloretos e outros agentes

químicos é parâmetro essencial tanto do projeto quanto da execução da obra.

Um concreto destinado a uma construção com finalidade bélica – uma casamata, por exemplo – deve apresentar elevada resistência a impactos de projéteis de diversos tipos.

Muitas outras resistências associadas ao concreto existem e estão sendo descobertas. “O concreto ainda não conheceu seus limites quanto às suas aplicações. Por isso, há infinitas possibilidades de resistências que podem ser prescritas para o material, segundo sua utilização”, argumenta o professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Antonio Figueiredo.

Resistências mecânicas

Em todas as obras mencionadas e na infinita variedade de outras, o parâmetro por excelência que define o concreto como material construtivo é sua capacidade de resistir aos esforços de compressão a que poderá ser submetido enquanto componente de uma peça estrutural. A resistência à compressão é um tipo de resistência mecânica – no caso do concreto, a mais relevante – entre outras, tais como as resistências à tração, à flexão, ao cisalhamento e à torção, originadas por diferentes tipos de deformações mecânicas a que o elemento estrutural – uma viga, uma

coluna, uma laje – pode estar sujeito numa obra em funcionamento. Qualquer estrutura tem que ser estável, precisa suportar cargas permanentes – como seu próprio peso – e variáveis – veículos, vento, pessoas – sem colapsar ou sem apresentar rupturas localizadas ou deformações exageradas durante sua utilização.

“Dizemos que um material apresenta resistência a uma determinada solicitação quando ele a suporta sem rupturas ou com desgastes e deformações dentro de limites especificados. Assim, normalmente quando se fala em resistência só se pensa em resistência mecânica e em resistência à compressão mais especificamente. Mas, este não é o único parâmetro a validar a conformidade de um material para a construção civil”, explica Antonio Figueiredo. “Em obras como as barragens de concreto massa, os principais parâmetros a serem verificados para a estabilidade e durabilidade da obra são o baixo calor de hidratação (o calor liberado na reação entre a água e o cimento) e a medidas para minimizar o risco de ocorrência da reação álcali-agregado (reação degenerativa entre o cimento e os minerais do agregado); neste caso, o controle da resistência à compressão passa a ser secundário”, completa.

Em suma, a resistência mecânica do concreto é definida como a quantidade de carga necessária para que o material se rompa e, para a maioria das obras de engenharia, é o principal parâmetro a ser verificado. Para cada uma das tensões acima indicadas, haverá uma

medida de resistência associada ao concreto, o que significará que até aquele limite de pressão, o material resiste sem apresentar fissuras, desempenhando seu papel estrutural. De todas, a resistência à compressão é a mais importante em obras de concreto.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (FCK)

Embora, na prática, o concreto esteja sujeito simultaneamen-



Foto aérea da Pista dos Imigrantes – resistência para suportar o próprio peso e das cargas móveis

te à combinação de tensões de compressão, de cisalhamento, de tração, em duas ou mais direções, a resistência à compressão é o índice universalmente aceito para aferir a segurança do material, em termos estruturais. As razões disso são principalmente três:

- ◆ A resistência à compressão no concreto é muitas vezes maior do que outros tipos de resistência mecânica; por isso, ao considerar o concreto como material construtivo, o engenheiro leva em conta essa propriedade como a que mais contará como determinante para garantir a estabilidade e segurança estrutural
- ◆ Se necessário for conhecer as outras resistências mecânicas, elas podem ser indiretamente estimadas a partir da resistência à compressão, no modelo teórico considerado para se projetar estruturas de concreto; em geral, as resistências à tração e à flexão são 10 e 15% do valor de resistência à compressão, respectivamente
- ◆ O ensaio de compressão de amostras de concreto é facilmente realizável e seus procedimentos são normalizados (ABNT NBR 5739)

“Não se realiza uma obra de engenharia se não houver um projeto estrutural produzido a partir de um modelo confiável e, invariavelmente, no projeto de estrutura de concreto, a resistência característica à compressão é quase sempre o parâmetro fundamental, pois interfere diretamente na condição de segurança e durabilidade da obra”, resume Figueiredo.

Como essa resistência é medida?

A resistência do concreto depende das características dos componentes que entram na mistura, assim como da proporção entre eles, procedimento chamado de dosagem. A resistência efetiva do concreto – aquela que ele realmente apresen-

ta – depende da dosagem de seus materiais constituintes, que nunca é a mesma de um lote a outro. Diferentes dosagens significam diferentes resistências à compressão. Como consequência, numa obra o concreto apresenta uma distribuição de valores de resistências, não um valor fixo e único. “As resistências efetivas só seriam conhecidas se transformássemos toda a obra em corpos-de-prova (amostra de concreto para o ensaio à compressão). Neste caso, a obra não seria finalizada, pois o trabalho se restringiria a moldar corpos-de-prova”, comenta Figueiredo.

Por outro lado, a reação entre a água e o cimento que transforma este num aglomerante capaz de reunir em torno de si os agregados é lenta. Depois de lançado nas fôrmas – moldes de madeira, alumínio, aço que dão forma ao concreto – este permanece plástico por alguns minutos; conforme as reações entre a água e o cimento vão formando os produtos da hidratação, o concreto vai endurecendo (a pega é o início da fase de endurecimento), vai ganhando resistência, que, então, aumenta com o passar dos dias. Veremos mais adiante, numa breve descrição microestrutural do concreto, quais são os produtos de hidratação e como eles contribuem para elevar a resistência à compressão. Por ora, basta saber que é senso comum na comunidade técnica que quanto mais velho for o concreto, maior sua resistência efetiva.

Acrescente-se ao problema de medir a resistência do concreto que este parâmetro não



Corpos-de-provas preparados para serem ensaiados

é uma propriedade intrínseca do material; ela é uma medida obtida por meio de um ensaio padronizado para aferir a tensão de ruptura de um corpo-de-prova. Este valor muda, se as condições de ensaio mudarem – se a dimensão do corpo-de-prova ou seu formato não seguirem os padrões estabelecidos pela norma – o valor da resistência precisará ser estatisticamente calibrado para os parâmetros da norma, para ser considerado válido, do ponto de vista de sua aferição numa obra. A norma brasileira para controle tecnológico do concreto (ABNT NBR 5739) padroniza que o corpo-de-prova seja cilíndrico e que a relação entre sua altura e diâmetro seja 2.

Em outras palavras, a resistência é um parâmetro de engenharia. “E nada na Engenharia é exato: no concreto, existem muitas variáveis aleatórias influenciando no problema a ser resolvido”, explica o diretor da EGT Engenharia, Fernando Stucchi.

Face a isso, criou-se uma medida estatística da resistência à compressão do concreto, uma estimativa da resistência efetiva, denominado f_{ck} . Preparado o concreto, seja na obra por mistura manual ou em pequenas betonei-



Ensaio de resistência a compressão em blocos de concreto



Preparo de corpo-de-prova – para controle de aceitação

ras, seja em usinas centrais de concreto, dele são retirados exemplares cilíndricos de 15x30cm (corpos-de-prova), que são acondicionados em condições controladas de umidade e temperatura durante 28 dias. O conjunto de exemplares obtidos a partir de algumas ou todas as ‘betonadas’ que compõem o lote é chamado de amostra. Se todas as betonadas forem amostradas, então realiza-se o controle total do concreto; se apenas algumas betonadas são ensaiadas, o controle é parcial. Os corpos-de-prova são, então, rompidos em prensas por meio de sua compressão e os resultados são anotados. O f_{ck} do lote será o valor mínimo abaixo do qual estejam 5% das resistências medidas.

“Este quantil é o usualmente adotado para as estruturas de edifícios e pontes, mas pode ser considerado muito rigoroso para o caso de estruturas contínuas, como os túneis, onde a falha localizada do material não irá significar o comprometimento e a segurança da obra como um todo”, relativiza Figueiredo.

Dessa forma, o f_{ck} de um lote é sempre inferior à média aritmética dos resultados dos testes de compressão dos corpos-de-prova co-



Adensamento do concreto lançado

letados e deve-se assegurar que essa resistência estimada seja, no mínimo, superior à resistência de projeto – valor mínimo de dimensionamento determinado pelo projetista, tendo em consideração a estabilidade, a durabilidade e a economicidade da construção. Tal medida garante que a especificação de resistência mínima presente no projeto seja atingida. “Uma obra de concreto com fck significativamente abaixo do especificado deve ser necessariamente reforçada ou demolida”, reforça Stucchi.

“Quanto menor a variabilidade da resistência na produção do concreto, maior será a proximidade do valor de resistência média do valor de resistência do projeto e, conseqüentemente, maior será a

economia e eficiência do sistema”, adiciona Figueiredo.

A norma ABNT NBR 6118 – norma brasileira para projetos de estruturas de concreto – estipula que o fck mínimo para o concreto estrutural é de 20 MPa.

O fck e modelos de produção de aceitação

A resistência estimada no controle tecnológico do concreto realiza-se segundo dois modelos: o do controle de produção e o do controle de aceitação. Uma usina de concreto verifica o fck de sua produção – a um custo mínimo – para que seu produto seja aceito na obra. O engenheiro responsável pela execução da obra realiza, por sua vez, o controle do concreto recebido, de forma que se certifique que este tenha a resistência especificada no projeto.

“A execução de um controle de produção do concreto não elimina a necessidade do controle de aceitação do produto, pois ambos funcionam segundo modelos específicos”, alerta Figueiredo.

A estes, adiciona-se um terceiro modelo – o controle de qualidade da estrutura, pois, como veremos, falhas de concretagem (bicheiras) e cura inadequada (procedimento de manter o concreto úmido após seu lançamento, para garantir a completa hidratação do cimento) afetam prejudicialmente a resistência do concreto.



Falha de concretagem conhecida como colmeia de abelha

“As condições de segurança e durabilidade de uma estrutura de concreto estão apoiadas num tripé – modelo de projeto, controle de qualidade do material e controle de qualidade da execução. Se um desses pés falhar, a estrutura estará comprometida”, completa.

Modelos empíricos da resistência do concreto

A RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

Na Ciência dos Materiais, a relação inversa entre porosidade – fração do volume de vazios – e resistência mecânica é bem co-



Falha de concretagem – plasticidade insuficiente do concreto



Laje de concreto curada

nhecida. Para qualquer material, a porosidade representa um defeito do ponto de vista estrutural, ou seja, de suas resistências mecânicas.

Para o concreto não seria diferente. Tanto é assim que o estudo de dosagem tem como um de seus parâmetros a redução de vazios que possam se formar na mistura de concreto. Para ‘fechar’ estes vazios, é adicionada areia e pedras de menor diâmetro, além de ser controlada a quantidade de água que entra na mistura, pois esta, depois que reage com o cimento ou se evapora, deixa em seu lugar um vazio.

Inferir os fatores que intervêm na determinação da porosidade do concreto é passo essencial para o controle de suas propriedades mecânicas, entre elas, a resistência à compressão.

O fator central a interferir na resistência do concreto é a relação entre a quantidade de água e a quantidade de cimento dessa mistura (a/c).

Descobriu-se empiricamente que a proporção entre água e cimento é fator diretamente proporcional à porosidade do concreto: quanto maior a relação a/c, maior é a porosidade e menor é a resistência efetiva do concreto.

Se é assim, poderíamos pensar que basta então reduzir a água à quantidade necessária para que toda molécula de água reaja com todos os produtos químicos do cimento, de modo que não sobre na mistura moléculas de H₂O. Dessa forma, o rendimento seria o máximo possível e obteríamos um concreto muito compacto e resistente.

Mas, como pedra artificial com forma, resistência e dimensões controladas, impor-

ta considerar entre as propriedades do concreto sua plasticidade. Esta tem um papel importante no momento de execução de uma peça estrutural e, na prática, pode-se constatar que quanto mais água, mais plástico e mais trabalhável é o concreto.

Por isso, a dosagem adequada do concreto precisa levar em conta, além de sua resistência, sua plasticidade, de modo que ele seja facilmente colocado nas fôrmas, de modo que consiga vencer obstáculos entre as armaduras, de modo que não deixe vazios (bicheiras).

Qualquer mistura incorpora ar, que representa também queda de resistência na peça – entram na conta da porosidade da mistura. Por isso, imediatamente ao lançamento do concreto, este precisa ser acomodado nas fôrmas, precisa ser vibrado – mecânica ou manualmente –, justamente como forma de se expulsar o ar que ficou preso – procedimento chamado de adensamento. A medida mostra que, apesar da dosagem ser essencial no controle das propriedades do concreto, tão importante quanto é o cuidado no momento de sua execução, quando o material é lançado para constituir a peça estrutural.

Grau de hidratação

A quantidade de cimento, como a quantidade de água, precisa ser também regulada, mas por um motivo diferente: seu custo econômico. Para uma mesma quantidade de água da mistura, quanto mais cimento (relação a/c menor), mais resistente é o concreto, porque menor será a porosidade, já que os produtos de hidratação do cimento contribuem para preencher os espaços vazios da mistura. Porém, o custo do material exige que a dosagem considere a sua proporção ótima.



Peças pré-fabricadas de concreto – a plasticidade é fator essencial para assegurar forma e dimensão

Estimando-se que o volume de 1 cm^3 de cimento anidro, quando hidratado completamente, situação em que todas as ‘partículas’ do cimento reagem com a água da mistura (grau de hidratação de 100%), resulte em 2 cm^3 de volume final dos produtos de hidratação, é possível fazer duas extrapolações de dosagem.

Para um mesmo volume total, soma dos volumes de cimento e de água, quanto mais produtos de hidratação, ou seja, quanto mais partículas de cimento reagir com moléculas de água, maior será o volume desta fase e menor será o espaço vazio no volume total; em outros termos, menor é a porosidade da mistura e maior a resistência.

Assim, o grau de hidratação desempenha função essencial na caracterização final do concreto quanto à sua resistência. Para garantir que ela seja a maior possível, horas depois do lançamento do concreto, quando este já ganhou alguma resistência, sua superfície é continuamente mantida úmida, seja por borrifamento ou molhamento, seja por meio de produtos químicos, seja por sua cobertura com tecidos úmidos, operação denominada cura. A cura, por um período mínimo de sete dias, garante que seja providenciada a água necessária para que a reação de hidratação do cimento continue, depois da água da mistura (a que conta para a relação a/c) ter-se esgotado, seja por sua reação com o cimento, seja por sua evaporação. “A perda de água, que ocorre na superfície do concreto fresco, é de-

suniforme, o que implica a não-uniformidade da resistência gerada pela reação de hidratação, bem como da porosidade do concreto, entre outras características que afetam sua durabilidade”, completa Stucchi.

“É fundamental controlar a qualidade da execução da estrutura, no sentido de se evitar falhas de concretagem, como bicheiras, e cura inadequada, o que também prejudicaria a resistência efetiva do concreto”, ressalta Figueiredo.

A segunda extrapolação de dosagem mostra justamente o inverso – o efeito negativo do aumento da quantidade de água na mistura. Mantida a mesma quantidade de cimento e considerando-se um grau de hidratação total, o volume ocupado pela fase da pasta hidratada será igual ao do exemplo anterior, mas, como o volume total aumentou por conta do aumento da quantidade de água, a quantidade de espaços vazios será maior (porosidade maior) e a resistência do concreto, menor.

Microestrutura do concreto

Essas relações empíricas e muitas outras passaram a ser melhor explicadas com os avanços na microscopia eletrônica. O limite do olho humano é enxergar coisas na ordem de um quinto de milímetro. Os microscópios eletrônicos modernos ampliaram essa capacidade em 100 mil vezes, permitindo ver a estrutura do material até a fração de um micrômetro (um milhão de vezes menor do que um milímetro). A estrutura é o tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases presentes num material.

Em nível macroscópico, o concreto apresenta duas fases: as partículas de agregados com formas e tamanhos variados; e o meio ligante composto de uma pasta de cimento hidratada (matriz).

Mas, em nível microscópico, em razão da intensa variabilidade de densidade da pasta de cimento hidratada, em especial, nas vizinhanças de partículas de agregado graúdo, estas camadas delgadas em torno dos agregados – normalmente com espessura de 10 a 50 micrômetros – são consideradas uma terceira fase, chamada zona de transição na interface pasta de cimento-agregado. A

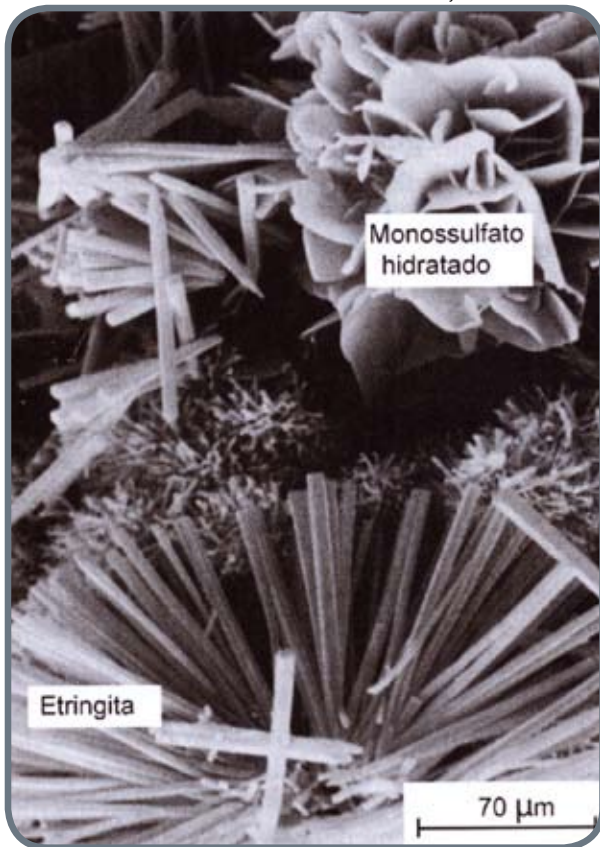
discriminação da terceira fase justifica-se por ela ser a mais frágil dentre as três fases, consistindo no elo mais fraco da cadeia e, por isso, com influência mais relevante no comportamento mecânico do concreto. É ela que explica a ruptura do concreto em nível de tensão menor do que a resistência de quaisquer uma das outras fases.

O motivo dessas regiões serem mais fracas é justamente porque nelas a relação a/c é maior relativamente à pasta de cimento. Filmes de água formam-se em torno das grandes partículas de agregado, contribuindo para a formação de uma estrutura mais porosa em tais áreas.

A existência dessa fase justifica, em geral, a preocupação com o agregado para o controle da resistência do concreto. Por ser o agregado, em geral, mais resistente do que as outras fases – enquanto o concreto convencional tem resistência em torno de 20 MPa, o agregado possui resistências comumente variando de 80 a 200 MPa –, ele deveria não ter influência na resistência do concreto, pois essa fica por conta das resistências das outras duas



As fases de agregado e pasta do concreto compactado com rolo



“Micrografia eletrônica de varredura de cristais hexagonais e cristais aciculares

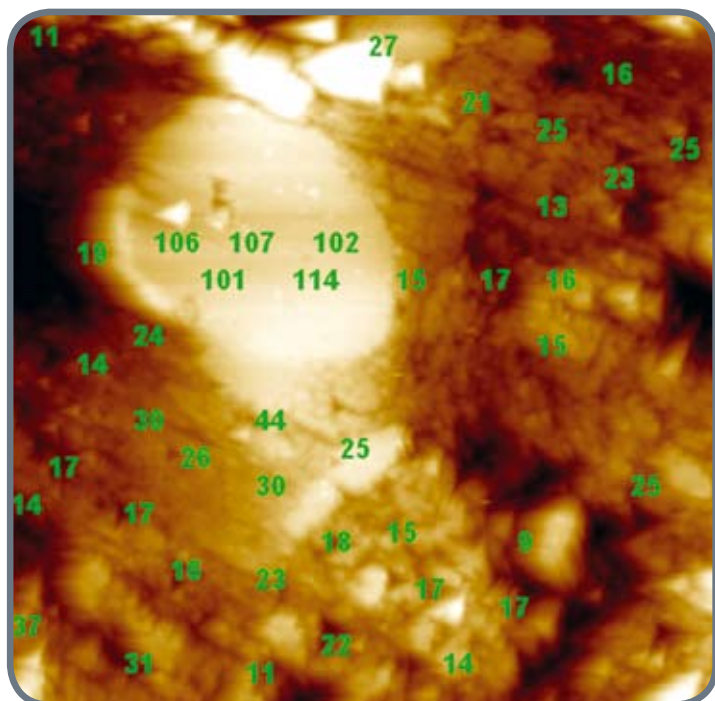
fases – principalmente, da fase de interface. Porém, o agregado influencia a determinação da resistência do concreto, porque sua forma e tamanho têm probabilidades maiores e menores na formação do filme de água. Quanto maior o tamanho do agregado e quanto maior a proporção de partículas alongadas e achatadas, maior será a tendência para acúmulo de água em redor da superfície do agregado, o que contribui para uma zona de transição na interface mais porosa e menos resistente. Por isso, na dosagem, a granulometria (distribuição do tamanho das partículas) e a proporção entre as formas dos agregados – entre outras características, tais como a mineralogia e a textura – são consideradas.

Reação de hidratação e seus produtos

Quando o cimento é disperso em água, o sulfato e outros compos-

tos de cálcio que o compõe entram em solução. Da interação entre cálcio, sulfato, alumínio e íons hidroxilas, surgem, em poucos minutos, os cristais aciculares de etringita. Poucas horas depois, os cristais de hidróxido de cálcio e de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) começam a preencher os espaços vazios antes ocupados por água e por partículas de cimento anidro, processo físico-químico que faz o material desenvolver suas resistências mecânicas. Decorrente ainda do processo, formam-se flocos de partículas anidras de cimento, que aprisionam grandes quantidades de água.

O quadro da fase da pasta de cimento possibilita ver que a microestrutura do concreto é complexa e heterogênea, pois considerada apenas uma de suas fases – a matriz – verifica-se que esta é formada, na verdade, por inúmeras fases – produtos de hidratação, flocos de cimento anidro, água, poros, canais, microfissuras, vazios de ar –, que não são uniformes quanto ao tamanho e morfologia nem homogeneamente distribuídas. A enorme complexidade da microestrutura do concreto explica a impossibilidade de se obter modelos precisos de previsão de sua resistência e justifica os estudos experimentais para tentar controlar sua resistência, assim como outras propriedades de interesse da engenharia, como a variabilidade dimen-



Tabulação em escala nanométrica de pasta de cimento aos seis meses de idade

sional. Espera-se que com o avanço tecnológico e científico relacionado aos estudos da microestrutura do concreto, seja possível, no futuro, ter um controle mais refinado dessas propriedades.

O silicato de cálcio hidratado (C-S-H) compõe de 50 a 60% do volume de sólidos na pasta de cimento completamente hidratada, sendo a fase mais importante para a determinação das propriedades da matriz. Mas, nem essa fase é bem definida: a relação entre cálcio e sulfato varia, assim como a quantidade de moléculas de água incorporadas; a morfologia varia desde fibras pouco cristalinas até estruturas caracterizadas como redes reticulares.

A resistência da matriz advém das forças de Van der Waals, aderência entre as superfícies dos produtos de hidratação – especialmente, o silicato de cálcio hidratado, partículas sólidas com enormes áreas superficiais. Já, os vazios capilares na pasta maiores do que 50 nanômetros – chamados macroporos – têm efeito adverso: contribuem negativamente para a resistência do concreto e para sua impermeabilidade. A tensão,

quando da aplicação da carga, concentra-se justamente nesses macroporos e nos vazios capilares e microfissuras, espalhando-se subsequente para outras regiões da interface e da matriz até a ruptura. São esses vazios na interface e na matriz que explicam porque a resistência à tração no concreto é relativamente baixa.

Temperatura e reação de hidratação

Resta falar da influência da temperatura sobre a microestrutura do concreto e, conseqüentemente, no controle de sua resistência. É sabido que a temperatura determina a cinética de hidratação do cimento, o que repercute no ganho de resistência do concreto. Quanto maior a temperatura, maior a velocidade de ganho de resistência no concreto.

“A cura térmica é freqüentemente utilizada na indústria de pré-moldados de concreto, pois o aquecimento das peças com cura a vapor faz com que a mesma possa ter a desfôrma antecipada, acelerando o processo de produção”, explica Figueiredo. Mas, a antecipação tem um custo: a temperatura maior pode ter efeito adverso sobre a resistência final do material.

Por isso, mais uma vez, quando se trata de concreto, a equação nunca é simples. “O controle da temperatura no momento da cura do concreto é também indispensável, de modo a se atingir a resistência inicial requerida sem grandes prejuízos para sua resistência final”, conclui o professor.



PENETRON®

INTEGRAL CAPILLARY CONCRETE WATERPROOFING SYSTEMS

Impermeabilização por cristalização capilar do concreto

O sistema **PENETRON®** de impermeabilização por cristalização integral do concreto, cria um cristal insolúvel que cresce profundamente dentro dos poros capilares e fissuras do concreto impermeabilizando-o. Este tipo de mecanismo protege o concreto da corrosão e da carbonatação, reduzindo as fissuras de retração, aumentando a resistência total e durabilidade. De baixo custo, mais rápido e de fácil aplicação. E isso tudo com um suporte de um time de pesos-pesados de um dos líderes mundiais em impermeabilização do concreto.



- Reservatório de água potável
- Tanques de tratamento de esgoto e água
- Túneis
- Fundações
- Poços de elevador
- Armazéns subterrâneos
- Instalações industriais
- Estruturas contendo tráfego
- Parede diafragma
- Porões

Maiores informações no site: www.penetron.com/br
Tel: (11) 4991-5278 • Fax: (11) 4421-8275
info@penetron.com.br

Para saber mais:

Concreto Armado Eu te Amo
Manoel Henrique Campos Botelho

Concreto: microestrutura, propriedades e materiais
Kumar Mehta e Paulo Monteiro

Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais
Geraldo Cechella Isaia ♦

Medidas do governo podem beneficiar o setor da Construção Civil

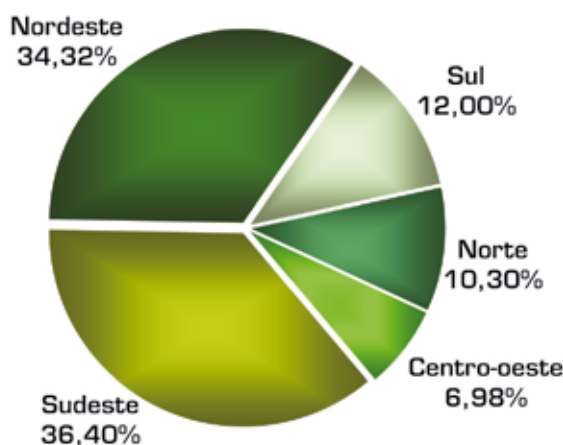
Samara Miyagi • *Analista Setorial*
All Consulting

O mau desempenho da economia mundial neste começo de ano já se reflete no desempenho do setor de construção civil brasileiro. A interrupção dos elevados montantes de investimentos no setor freou não só o número de lançamentos, como também tem provocado insegurança nos trabalhadores, com a constante ameaça de desemprego.

Além disso, com a demanda em baixa, as construtoras estão com menos capital em caixa e, mesmo assim, precisam honrar os lançamentos realizados anteriormente. A saída tem sido aumentar o nível de endividamento, ou vender seus ativos.

Em 2009, com o objetivo de amenizar os efeitos da crise, as construtoras começaram a rever seus planejamentos estratégicos. O principal movimento notado nos primeiros meses do ano foi a queda brusca nos lançamentos, tendo em vista que em tempos de crise a população tende a conter seus gastos e evitar, principalmente, os

Gráfico 1 – Participação das regiões por moradias a serem construídas (em %)



Fonte: Governo Federal
Elaboração: All Consulting

endividamentos de longo prazo.

Levando-se em consideração a importância do setor da construção civil no País, tanto pelos empregos gerados, a necessidade de reduzir o déficit habitacional, como pela elevada movimentação de crédito que promove, o estímulo a este setor se torna primordial para acelerar a recuperação da economia nacional.

Neste cenário, o governo, por meio da Caixa Econômica Federal (CEF), lançou

na segunda quinzena de abril, um novo projeto de habitação que beneficiará famílias que tenham renda bruta de até 10 salários mínimos - sendo que, de acordo com a renda informada, alteram-se os valores e condições do financiamento.

O pacote habitacional deverá trazer novo ânimo para o setor de construção civil no País, principalmente devido às maiores facilidades de pagamentos e as taxas convidativas de financiamento.

No curto prazo, o maior benefício será

Gráfico 2 – Redução do IPI dos Materiais de Construção* (por material)

MATERIAL	REDUÇÃO DO IPI
Aditivos para cimentos, argamassas ou concretos	de 10% para 5%
Massa de vidraceiro	de 10% para 2%
Indutos utilizados em pintura	de 5% para 2%
Tintas e vernizes aplicados na construção	de 5% para 0%
Argamassas e concretos para construção	de 5% para 0%
Revestimentos cerâmicos	de 5% para 0%
Pias, lavatórios, banheiras, bidês, sanitários	de 5% para 0%
Fechaduras	de 5% para 0%
Cimentos aplicados na construção	de 4% para 0%

*Alguns dos produtos com mudanças no IPI **Fonte:** Governo Federal **Elaboração:** All Consulting

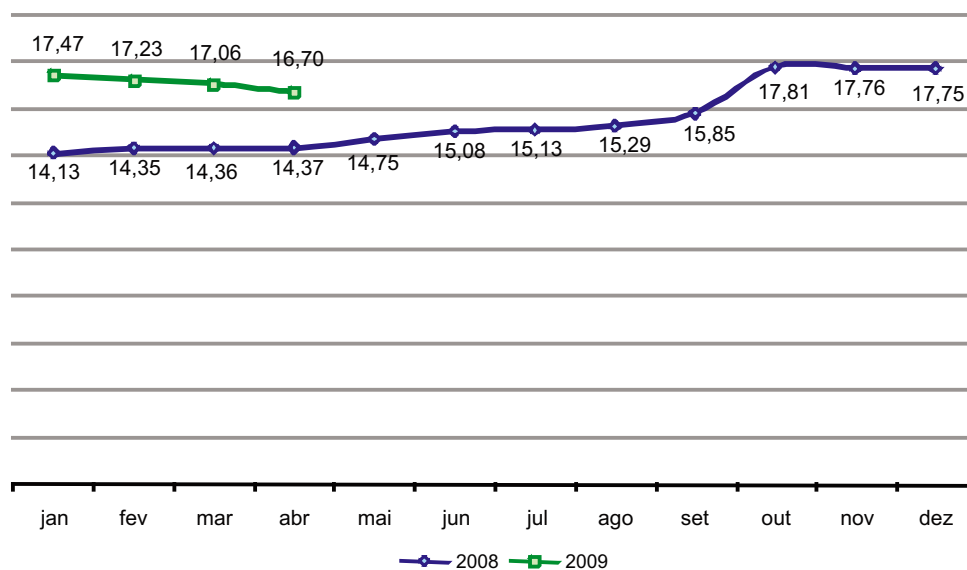
o impulso imediato no mercado de construção civil, que tem sido bastante prejudicado pela conjuntura econômica desfavorável. No médio e longo prazo, a tendência é que essa medida possa contribuir para amenizar a problemática do déficit habitacional no País, pois atinge diretamente as famílias de menor renda.

De acordo com dados do governo, a construção das novas moradias deverá se concentrar principalmente na Região Sudeste, que responderá por cerca de 36,4% do total previsto. Em seguida, aparece a Re-

gião Nordeste, que receberá cerca de 34,3% das novas moradias a serem construídas. Vale ressaltar que essas duas áreas são de extrema relevância, visto que uma possui a maior concentração populacional do País e a outra é uma das mais carentes em relação à cobertura habitacional.

Outra medida tomada pelo governo e que reflete diretamente sobre o setor da construção foi a modificação do regime de tributação aplicado sobre as construtoras – que inclui os impostos: IR, CSLL, PIS e Cofins, que

Gráfico 3 – Preço do Saco do Cimento no Estado de São Paulo (em R\$ - saco 50kg)



Fonte: Sinduscon-SP **Elaboração:** All Consulting

foi reduzido de 7% para 6%. Nos casos em que as construtoras estejam no programa de habitação do governo, a redução vai a 1%, o que pode contribuir para que ocorra um foco maior das empresas do setor no segmento de casas mais populares e de menor valor agregado.

Além disso, a redução do Imposto Sobre Produtos Industrializados (IPI) para cerca de 30 itens de materiais de construção, alguns com alíquota zerada como é o caso do cimento, também tende a motivar as construtoras a retomarem os lançamentos de novos empreendimentos, assim como beneficiará o consumidor que pretenda realizar reformas em suas propriedades.

As construtoras que possuem como foco de atuação o mercado de baixa renda como, por exemplo: MRV, PDG Realty e Tenda deverão ser as primeiras a registrarem melhoras em seus resultados, visto que o plano habitacional atinge justamente seu público alvo. No caso das companhias que atuam com outras camadas da população, como a Rossi e Cyrela, a tendência é de que passem a focar também nos empreendi-

mentos mais populares, de modo a também aproveitarem os benefícios dessa nova iniciativa do governo no setor.

A medida de redução do IPI para materiais de construção foi anunciada no final de março e já em abril o mercado já registrou reflexos positivos, como era esperado. Segundo informações Sindicato da Construção Civil de Grandes Estruturas no Estado de São Paulo (Sinduscon-SP), em abril/09 o preço do saco do cimento (tipo CPE-32, 50 kg) apresentou queda de 2,11%, quando comparado com ao mês anterior.

De uma maneira geral, as medidas do governo ampliam as possibilidades do setor ao estender para mais famílias o acesso à casa própria, com juros menores e novas linhas de financiamento.

Ao mesmo tempo, as construtoras também deverão ser beneficiadas já que passaram nos últimos meses por um período de forte queda na demanda e, com as medidas anunciadas, poderão amenizar os efeitos negativos dos primeiros meses do ano, fechando o ano com resultados mais satisfatórios. ♦

Responsabilidade dos Engenheiros e Arquitetos: fundamentos e aplicações da perícia judicial



A publicação aborda os fundamentos e aplicações judiciais das avaliações e perícias de Engenharia e Arquitetura, a partir dos dispositivos legais e técnicos dessas profissões – responsabilidades civil, ético-profissional, técnica, administrativa, penal e trabalhista

Elaborada para auxiliar os engenheiros e arquitetos a conhecer melhor a legislação em vigor, orientar a prática da perícia em ações judiciais, e alertar sobre o exercício ilegal das atribuições exclusivas desses profissionais. As resoluções do sistema Confea/Crea e as principais normas técnicas aplicáveis às construções também foram reunidas para facilitar consultas.

No livro são examinadas as atividades de avaliação de imóveis, a perícia de edificações, a inspeção predial para a manutenção da qualidade das construções e as principais ações sobre o Direito de Construir.

DADOS TÉCNICOS

Editora: Kelps

Páginas: 206

Formato: 16 x 26cm

VENDAS

e-mail: suporte@aspeago.com

Tels.: (62) 3212-2492 • 9178-6100

Valor: R\$ 50,00 (frete incluso)

A norma técnica brasileira de reação álcali-agregado faz seu primeiro aniversário

Inês Laranjeira da Silva Battagin • *Superintendente do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados – ABNT/CB18*

Arnaldo Forti Battagin • *Chefe dos Laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP*

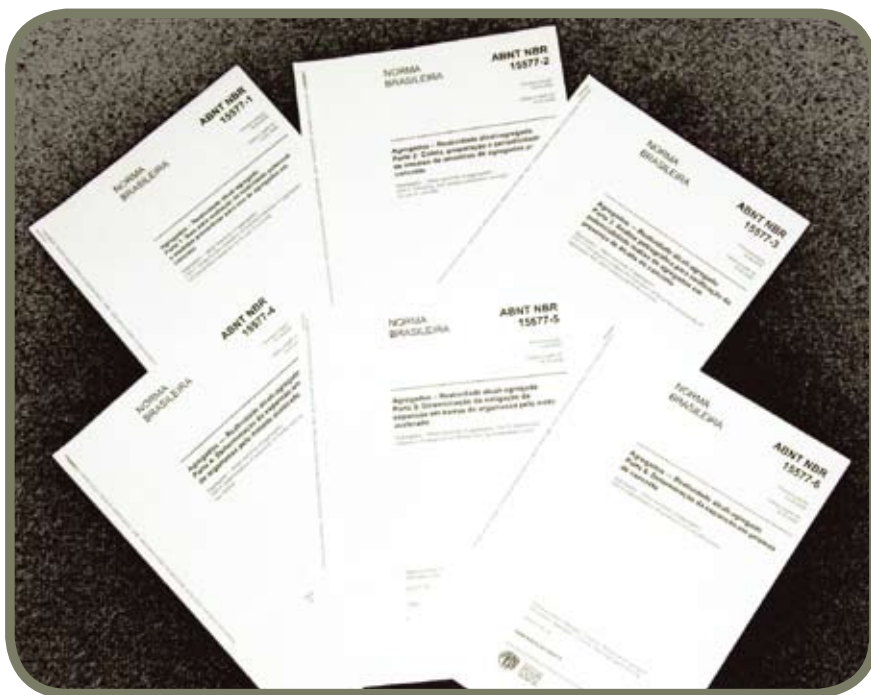
Cláudio Sbrighi Neto • *Professor Mestrado Profissional IPT – Diretor do IBRACON*

Introdução

A durabilidade das estruturas de concreto ganhou uma nova ferramenta para orientação do meio técnico, com a publicação em maio de 2008 da norma brasileira para prevenção da reação álcali-agregado, ABNT NBR 15577, desenvolvida pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/CB-18).

Esse trabalho veio em resposta ao desafio lançado em 2005, com a constatação dos primeiros casos de reação álcali-agregado em fundações de edifícios na região metropolitana do Grande Recife/PE, reunindo especialistas de todo o País na busca de soluções a partir do conhecimento aplicado à construção das grandes barragens brasileiras.

Já em novembro desse mesmo ano, a Comissão de Requisitos e Métodos de Ensaio de Agregados do ABNT/CB-18 estabeleceu as bases para a nova norma brasileira, visando prevenir a ocorrência do fenômeno em estruturas de con-



Exposição das 6 Partes da ABNT NBR 15577

creto e deu início aos trabalhos que culminaram com a aprovação dos seis textos normativos que compõem a ABNT NBR 15577.

Elaborada a partir de normas internacionais, a Norma Brasileira vai além dos documentos que lhe serviram de base e estabelece uma análise de risco relativa à possibilidade de uma estrutura vir a apresentar manifestações patológicas devido à reação álcali-agregado. Assim, serve de guia a

Os álcalis no concreto

A hidratação do cimento resulta na formação de uma solução intersticial no concreto contendo essencialmente hidróxidos de cálcio, sódio e potássio. A concentração iônica de Na^+ , K^+ e OH^- vai depender fundamentalmente do teor de álcalis no clínquer, constituinte do cimento. A formação dos compostos alcalinos no clínquer é decorrente do ciclo de gases dentro do forno durante o seu processo de fabricação, por sua vez, fortemente dependente da relação molar álcalis/enxofre (relação existente entre o teor de álcalis e o teor de enxofre existente nos gases gerados no processo de fabricação do clínquer, que se afastada do valor 1 gera problemas nas operações do forno, como, por exemplo, entupimentos ou perda de calor, pela necessidade de instalação de sistemas de escape; na tecnologia de fabricação de cimento procura-se conservar esse valor próximo de 1 para garantir a incorporação desses compostos no clínquer, evitando seu enriquecimento nos gases) que resultará na condensação/cristalização de sulfatos alcalinos, aluminatos alcalinos ou silicatos alcalinos. Os sulfatos alcalinos são facilmente solubilizáveis na água de amassamento, enquanto que os álcalis contidos nos aluminatos (álcali- C_3A) e nos silicatos (álcali-belita) serão liberados mais lentamente durante o processo de hidratação.

Embora os álcalis no concreto provenham essencialmente do cimento, eles podem se originar de outras fontes, tais como a água de amassamento, adições (cinzas volantes e escórias de alto-forno, sílica ativa, metacaulim), e aditivos químicos, além dos próprios agregados contendo minerais ricos em álcalis, como, por exemplo, os feldspatos e as micas, que, em alguns casos, também podem liberar álcalis ao longo do tempo. Os álcalis podem também ser originários de águas superficiais ou subterrâneas em contato com as estruturas de concreto.

É necessário enfatizar, contudo que nem todos os álcalis no concreto participam da RAA, mas apenas, aqueles que não ficam fixos na estrutura cristalina dos silicatos de cálcio hidratados ou nos próprios agregados.

Com o objetivo de limitar o teor de álcalis para prevenir a RAA no concreto, a maioria dos países adotou o valor limite de $3,0 \text{ kg/m}^3$ de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ de álcalis solúveis no concreto ($0,658\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, onde os óxidos são expressos em porcentagem de massa). Porém, se constataram muitos casos de manifestação de RAA em concretos que haviam satisfeito esse limite, levando a necessidade de incluir outro tipo de prevenção adicional. Nesse sentido, as mais recentes recomendações definem diferentes valores limites em função da classe de reatividade dos agregados ou do grau de risco de ocorrência da reação; direcionamento este seguido pelas novas normas brasileiras de RAA.

TEOR E CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS REATIVOS

Uma característica peculiar que regula a intensidade da reação é o conceito de proporção péssima. Segundo este conceito, para cada agregado reativo existe um conteúdo definido de álcalis que produzirá uma expansão máxima.

Fora desse limite, as expansões serão progressivamente menores.

A reatividade dos componentes silicosos com os álcalis depende:

- ◆ **das dimensões dos grãos:** quanto mais finos os agregados, maior a superfície de reação sendo, portanto, mais reativos;
- ◆ **da estrutura cristalina:** quanto mais desorganizada e instável a estrutura cristalina do componente mineralógico, mais reativa é a fase. A reatividade, por exemplo, dos vidros, da opala, da calcedônia e do quartzo tensionado é maior que a do quartzo de estrutura bem organizada (cristalina); e
- ◆ **do conteúdo de água de cristalização:** ou mais precisamente de silanóis (grupos de SiOH) que conferem maior reatividade às fases, como por exemplo, as opalas e os filossilicatos de argila.

UMIDADE DO CONCRETO

A experiência prática bem como investigações em âmbito mundial vêm mostrando que um teor mínimo de umidade (em geral, superior a 75-80% no concreto) é necessário para desencadear a RAA. Por conseqüência, a adoção, antes da execução da obra, de medidas que previnam o acesso da água ao concreto com agregados reativos pode limitar o risco de desenvolvimento de manifestações patológicas ligadas à RAA, evitando a necessidade de uma intervenção na obra pronta.

Assim, a fase de projeto deve contemplar a previsão de medidas que evitem o acúmulo da água na estrutura, prevendo sempre que possível a aplicação de revestimentos por pintura ou uso de selantes, além da implantação de sistemas de drenagem eficientes das águas pluviais.

Deve ser salientado que, dentre os três parâmetros essenciais para evitar a RAA, o isolamento da umidade é o de mais difícil solução, o que muitas vezes leva apenas ao retardamento da reação. Isso se deve ao fato de que no desenvolvimento da RAA, a água transporta os íons alcalinos e OH^- , sendo absorvida pelo gel sílico-alcalino, que expande e cria pressão entre a pasta endurecida e os agregados e a própria umidade interna do concreto pode ser suficiente para o desencadeamento desse fenômeno. O aumento da umidade pode conduzir a expansões elevadas do gel formado durante a reação e, dependendo da quantidade de gel, esse processo pode provocar o aparecimento de fissuras no concreto.

Os concretos estão freqüentemente sujeitos à umidade, sendo mais vulneráveis quando expostos a ambientes quentes e úmidos; ciclos de molhagem e secagem ou ainda quando em contato com o solo saturado. Concretos de baixa qualidade, menos densos e mais porosos, por permitirem a mais rápida exsudação da água, ou seja, a eliminação da água livre por capilaridade, "secando o concreto", estão menos sujeitos à ocorrência da RAA do que os concretos de alta qualidade em ambiente úmido, mostrando a importância da água no desenvolvimento desse fenômeno.

projetistas estruturais, tecnólogos de concreto, fornecedores de insumos, construtores e proprietários de empreendimentos quanto aos cuidados necessários para garantir a durabilidade das estruturas evitando a ocorrência da reação.

A Norma indica os dados relevantes que devem ser obtidos para uma análise crítica consistente da viabilidade de uso de um agregado com relação à potencialidade de ocorrência da reação álcali-agregado em uma estrutura específica. Esses dados compreendem apreciação e análise petrográficas dos agregados, ensaios em barras de argamassa e corpos-de-prova prismáticos de concreto, bem como o conhecimento do tipo de estrutura (maciça ou não maciça), sua inserção no meio ambiente (concreto em ambiente seco, exposto à umidade do ar, enterrado, submerso, etc), assim como o conteúdo de álcalis do concreto, o nível de responsabilidade da estrutura e a necessidade de medidas preventivas.

Conceituação da RAA

A reação álcali-agregado, comumente conhecida pela sigla RAA, é uma reação química entre alguns constituintes presentes em certos tipos de agregados e componentes alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto.

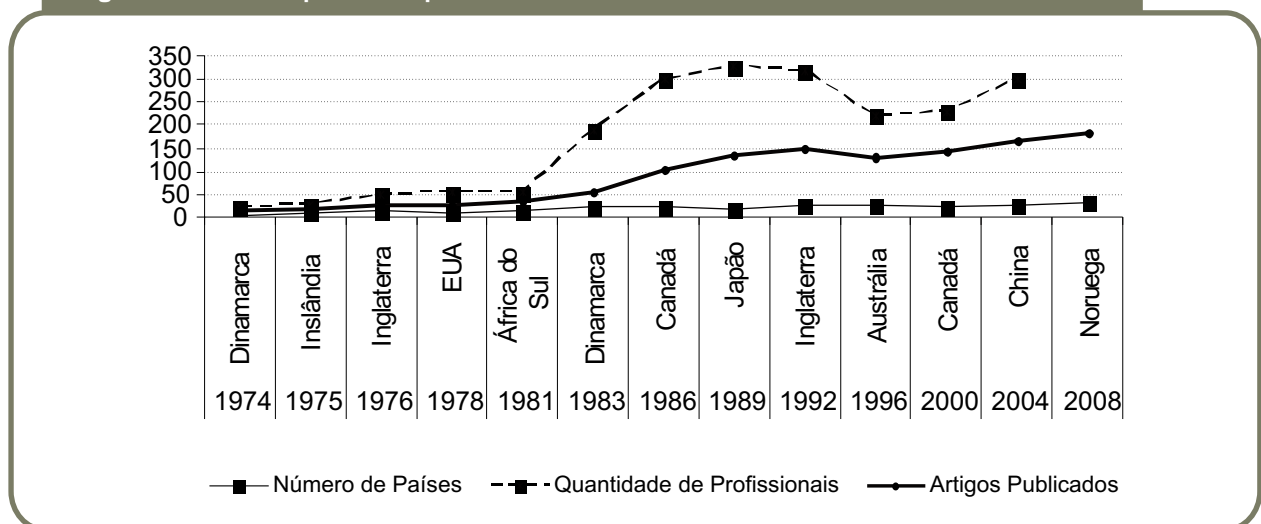
São conhecidos basicamente três tipos de reação: álcali-silica, álcali-silicato e álcali-carbonato, em função do tipo e da composição do agregado. Alguns autores consideram o tipo álcali-silicato, um subtipo da reação álcali-silica, sendo esse conceito adotado na normalização

brasileira atual. De fato, a reação álcali-silica (RAS), como o próprio nome indica, é uma reação entre a sílica amorfa ou reativa dos agregados e os álcalis precipitados presentes nas soluções dos poros do concreto. Esta reação se desenvolve na presença do hidróxido de cálcio, originado pela hidratação do cimento, formando um gel expansivo. Já na reação álcali-silicato, participam a solução alcalina e alguns tipos de fíossilicatos interlamelares (arranjo estrutural de alguns fíossilicatos que se dispõem em camadas ou lamelas) presentes em certas rochas, sendo que a cinética de reação é muito mais lenta que a da reação álcali-silica.

Por sua vez, a reação álcali-carbonato (RAC), ocorre entre os álcalis do concreto e agregados rochosos carbonáticos, em presença de água. O mecanismo mais difundido para explicar a deterioração do concreto devido à reação álcali-carbonato é a desdolomitização da rocha (o processo que leva a desintegração de rochas carbonáticas quando os cristais de dolomita constituintes de tais rochas são quimicamente atacados pela solução dos poros do concreto contendo hidróxidos alcalinos) e conseqüente enfraquecimento da ligação pasta-agregado. Neste caso, há a formação de compostos cristalizados (brucita, carbonatos alcalinos, carbonato cálcico, silicato magnésiano) e não se verifica a formação de gel expansivo. A reação regenera os hidróxidos alcalinos e, com isso, a desdolomitização tem continuidade até que a dolomita tenha reagido por completo ou que a fonte de álcalis se esgote.

A ocorrência da RAA está condicionada à presença simultânea de três fatores: agregado potencialmente reativo, água e álcalis (veja box na página 37).

Figura 1 – Participação e quantidade de trabalhos técnicos





Bloco de fundação do Edifício Rosita Hardman em Recife afetado pela RAA

É necessário esclarecer que a reação álcali-agregado só ocorrerá quando se verificarem todas estas condições, ou seja, se algum dos fatores condicionantes da reação não existir, então não haverá risco de ocorrência da reação e, portanto, não haverá também risco de degradação do concreto, sendo desnecessárias precauções especiais para prevenir a RAA. Assim, todas as recomendações que são propostas para evitar a deterioração por RAA procuram excluir pelo menos um dos três fatores referidos.

Histórico da RAA no mundo

A primeira constatação da ocorrência da reação álcali-agregado é atribuída a Thomas Edison Stanton, em um trabalho publicado em novembro de 1940 pela *American Society of Civil Engineers* – ASCE .

Nesse trabalho, o autor atribuiu a fissuração observada em pavimentos de concreto à expansão provocada pela reação entre a sílica constituinte dos agregados e os álcalis do concreto, na presença de umidade proveniente do solo. As recomendações da época para a prevenção da reação já apontavam para o uso de materiais pozolânicos e para a redução da quantidade de compostos alcalinos no concreto. Embora não se tivesse ainda conhecimento do fenômeno, a deterioração por reação álcali-agregado já tinha ocorrido em 1922, na Usina Hidroelétrica de Buck em New River

(Virgínia), apenas dez anos após a sua construção. Ao longo das décadas de 1920 e 1930, um grande número de fissuras foi observado em pontes, barragens e pavimentos ao longo da costa da Califórnia.

Nas primeiras décadas após a constatação do fenômeno nos Estados Unidos ele foi detectado em diversas regiões do mundo. Na Dinamarca nos anos 50, na Alemanha Ocidental nos anos 60, no Reino Unido em meados dos anos 70 e no Japão nos anos 80 Na seqüência, alguns países iniciaram pesquisas sobre o tema, desenvolvendo técnicas laboratoriais para a observação do desen-

volvimento da reação e buscando alternativas para prevenção e correção do problema, cujas principais manifestações foram verificadas em obras hidráulicas, especialmente barragens de concreto, além de casos em pavimentos, dormentes de concreto de estradas de ferro e outros de menor expressão.

É consenso em todo o mundo que a prevenção é a melhor alternativa quando se trata de reação álcali-agregado. É tecnicamente muito difícil interromper a reação, quando já iniciada em obras prontas, além do que, na maioria dos casos, é técnica e economicamente inviável.

As questões sobre o tema têm ampliado o interesse pela realização de pesquisas e estudos em todo o mundo, onde os especialistas buscam soluções para correção dos efeitos da reação e, principalmente, alternativas para sua prevenção. A comprovação desse interesse crescente pode ser constatada pela figura 1, que registra a participação e a quantidade de trabalhos técnicos apresentados desde 1974 nas diversas edições do *International Conference of Alkali-Aggregate Reaction* – ICAAR.

Histórico da RAA no Brasil e a normalização

Historicamente conhecido como um fenômeno de ocorrência rara e de lento desenvolvimento, a reação álcali-agregado no Brasil foi, durante décadas, objeto de estudos específicos

Tabela 1 – Estruturas de Concreto com Evidências de RAA

Estrutura de Concreto	Estado	Ano de Construção	Natureza do Agregado	Natureza da Reação
Barragem de Tapacurá/DNOS	PE	1975	Granito e gnaissse cataclasados	Álcali-silicato
Base de concreto de instalação industrial da White-Martins	PE	1982	Granito e gnaissse cataclasados	Álcali-silicato
Base de concreto/Angelin	PE	–	Rocha granitóide deformada e milonito	Álcali-silicato
Base de concreto Mirueira	PE	–	Biotita hornblenda gnaissse	Álcali-silicato
Base de concreto Benji	PE	–	Biotita, gnaissse	Álcali-silicato
Base de concreto Pirapama	PE	–	Hornblenda, biotita, gnaissse	Álcali-silicato
Barragem de Paulo Afonso I a IV	BA/AL	1955–1979	Granito, gnaissse e migmatito	Álcali-silicato
Barragem de Pedras	BA	1970	Granito	Álcali-silicato
Barragem de Joanes II	BA	1969–1971	Gnaissse, migmatito e granulito	Álcali-silicato
Barragem de Moxotó	BA/AL	1972–1977	Granito, gnaissse e migmatito	Álcali-silicato
Barragem de Sobradinho	BA	1979	Quartzito	Álcali-silicato
Barragem de Ilha dos Pombos	RJ/MG	1920	Gnaissse milonítico, biotita e gnaissse	Álcali-silicato
Barragem de Peti	MG	1946	Gnaissse	Álcali-silicato
Barragem de Furnas	MG	1958–1963	Quartzito	Álcali-silicato
Barragem de Billings/Pedras	SP	1926	Granito	Álcali-silicato
Barragem de Pedro Beicht	SP	1932	Granito-gnaissse	Álcali-silicato
Barragem Santa Branca	SP	1960	Biotita, gnaissse cataclástico	Álcali-silicato
Barra Bonita	SP	1963	Basalto	Álcali-silicato
Usina Traição	SP	> 50 anos	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Rio das Pedras	SP	–	Mica-xisto e gnaissse	Álcali-silicato
Tomada d'Água/Sistema Cantareira	SP	–	Gnaissse cataclástico	Álcali-silicato
UHE Salto do Meio	PR	–	Basalto	Álcali-silicato
UHE Guaricana	PR	–	Milonito, basalto e granito	Álcali-silicato
Usina Elevatória de Pedreira	SP	–	Granito gnáissico	Álcali-silicato
Barragem Paiva de Castro	SP	–	Granito gnáissico	Álcali-silicato
Barragem de Ribeirão do Campo	SP	–	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Cascata	SP	–	Granito/gnaissse	Álcali-silicato
Barragem de Atibainha	SP	–	Milonito	Álcali-silicato
Reservatório de Paraibuna	SP	–	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Jaguari	SP	–	Gnaissse	Álcali-silicato
Barragem de Vossoroça	PR	–	Gnaissse	Álcali-silicato
Fundações de cerca de 30 prédios residenciais	PE	a maior parte na década de 80	Gnaisses e milonitos	Álcali-silicato

para a construção de obras hidráulicas. Contudo, o estudo da ocorrência da reação álcali-agregado em construção civil não é ainda sistemático.

Apenas, a partir de 1985, foi que o meio técnico brasileiro tomou conhecimento da ocorrência desse fenômeno nas barragens de Moxotó e Joanes II, ambas localizadas na Região Nordeste. Por reunirem as condições que favorecem a reação, essa patologia aparece preferencialmente nas obras hidráulicas, porém isso não significa que não apareça em outros tipos de obras como pavimentos, instalações industriais, obras residenciais, etc.

A adoção de medidas sistemáticas de prevenção vem, atualmente, evitando a ocorrência dessa patologia, mas, no passado, essa iniciativa não era comum. Constituem exemplos de prevenção as barragens de Jupia (concluída em 1963), Água Vermelha (construída entre 1975 e 1979) e Salto Osório (construída entre 1971 e 1975) dentre outras, onde foram utilizados materiais pozolânicos para inibir a expansão com o uso local de agregados reativos e que se tornaram exemplos de sucesso de prevenção de danos causados pela reação álcali-agregado.

São vários os casos comprovados da existência da reação no Brasil e a Tabela 1 apresenta uma tentativa de sintetizar casos mais representativos de ocorrência de reação álcali-agregado em estruturas de concreto de barragens e de algumas outras estruturas. A maior parte dos casos se refere a estudos efetuados na ABCP, sendo que algumas estruturas foram estudadas várias vezes em diferentes períodos.

A constatação da reação álcali-agregado em obras de edifícios foi verificada pela primeira vez na região metropolitana de Recife, em Pernambuco, devido ao interesse gerado na inspeção das fundações de diversos edifícios habitacionais, após a queda do Areia Branca (outubro de 2004). Cumpre esclarecer que as causas do desabamento do Edifício Areia Branca foram devidamente apuradas e nada se constatou que pudesse apontar alguma



Fundação de edifício comercial em Recife

possibilidade de ocorrência de reação álcali-agregado nesse caso.

No entanto, a inspeção das fundações de diversos edifícios na Região Metropolitana do Grande Recife permitiu a verificação da existência de, pelo menos, quinze casos, onde houve fissuração dos blocos de coroação de estacas ou de sapatas corridas. A análise acurada dessas ocorrências por especialistas, a partir de testemunhos de concreto extraídos dos elementos de fundação, mostrou realmente tratar-se de reação álcali-agregado. A ABCP estudou cerca de 30 casos.

Devido à topografia local e à proximidade do mar, a umidade é constante no solo da região onde foram constatadas essas ocorrências. Como se sabe, a água é um dos fatores essenciais para que a reação se desenvolva. No entanto, em alguns dos edifícios estudados, foram encontrados blocos de fundações fissurados e outros íntegros, provavelmente preparados com concretos com diferentes composições.

Não se tem notícia de casos onde os efeitos da reação tenham levado à falta de segurança no uso das construções; mas, sim, à necessidade de manutenção corretiva, que, em qualquer situação, é mais onerosa do que a prevenção do fenômeno.

No Brasil, a tecnologia de avaliação e prevenção da reação álcali-agregado é dominada por alguns centros de pesquisas, destacando-se os ligados às empresas geradoras de energia elétrica, institutos públicos, algumas universidades e centros de pesquisa da iniciativa privada.

Popularizar esse conhecimento tem sido o grande desafio lançado à sociedade técnica brasileira.

Atento a essa realidade e ao papel da normalização no Brasil, o ABNT/CB-18 prontamente iniciou os trabalhos de desenvolvimento de documentos que pudessem ordenar o conhecimento existente e difundir as diretrizes para avaliação e prevenção do fenômeno, visando incorporar esse conhecimento no dia-a-dia dos responsáveis pelas obras de engenharia no País.

As bases da norma brasileira sobre Reação Álcali-agregado

Os primeiros passos no sentido de elaborar a norma brasileira foram: reunir o corpo

técnico nacional afeito à matéria e buscar referências normativas de outros países que pudessem auxiliar no desenvolvimento da tarefa proposta.

Já nas primeiras reuniões realizadas, a Comissão de Estudos de Requisitos e Métodos de Ensaio de Agregados (CE 18:200.01) ganhou adeptos de todas as partes do País, reunindo especialistas em obras hidráulicas, professores universitários, representantes de empresas produtoras de cimento, de agregados, de concreto, e demais interessados na matéria, objeto de normalização.

A complexidade do tema, a falta de normalização ISO (*International Organization for Standardization*) para servir de base e a escassez de normas de outros países que tratassem adequadamente a questão, considerando todos os aspectos desejados pelo corpo técnico nacional, foram as primeiras dificuldades enfrentadas pela Comissão de Estudos.

A escolha da Norma Canadense CSA A.23.1/A.23.02 (*Concrete materials and methods of concrete construction/ Methods of test and standard practices for concrete*), como documento que mais se aproximava das expectativas brasileiras, possibilitou a preparação de um primeiro texto-base que, como uma pedra bruta, foi sendo lapidado nas dezenove reuniões realizadas pela Comissão para aprovação da norma.

A dificuldade de contemplar em um único documento todas as orientações, prescrições e metodologias necessárias foi sanada com a decisão de separar a norma em seis Partes, sendo a primeira delas redigida na forma de um Guia e complementada pelas demais.

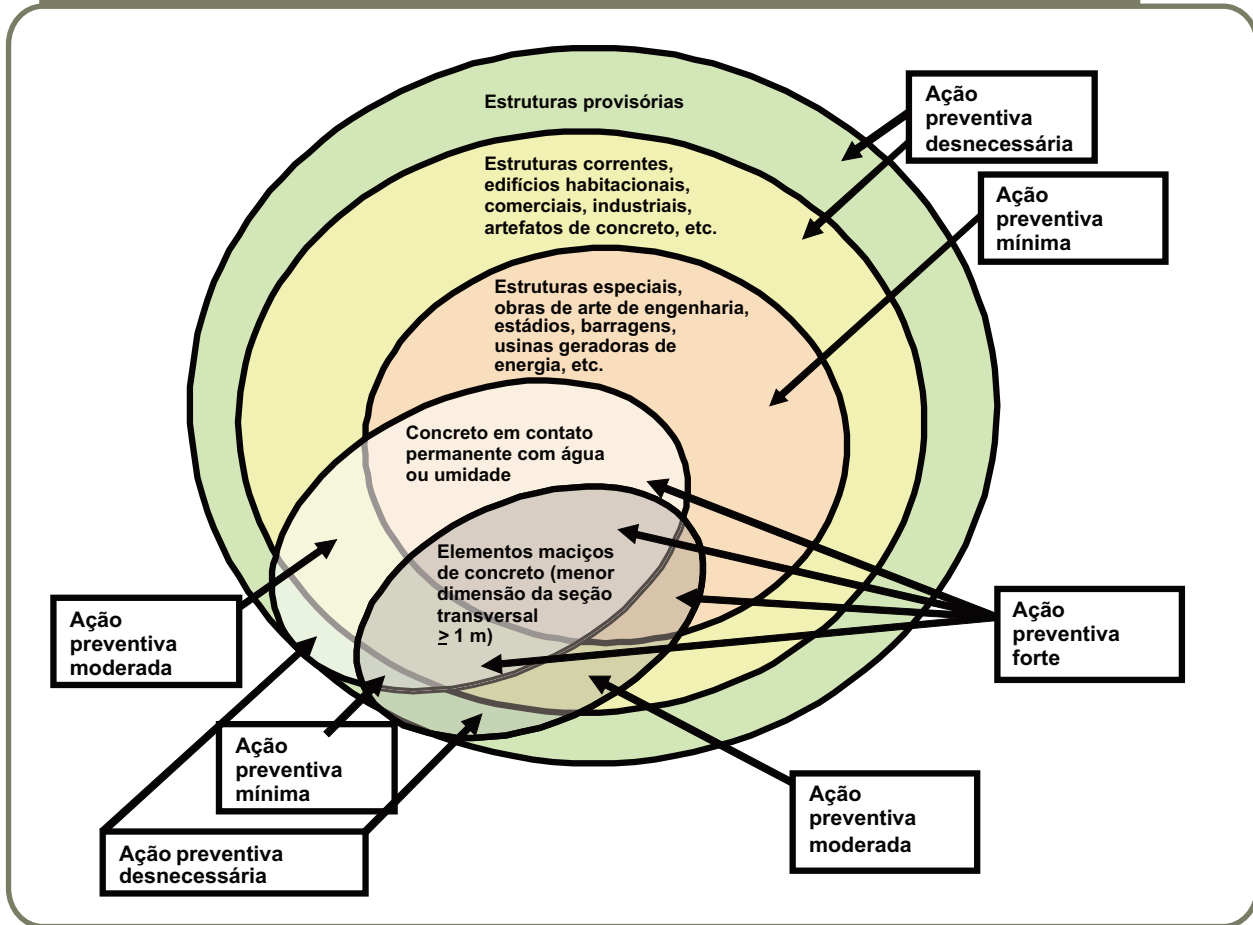
Dois Grupos de Trabalho foram formados para dar apoio à Comissão de Estudos e agilizar os trabalhos, tendo a responsabilidade de desenvolver os métodos de ensaios

Tibério Andrade



Recuperação de estrutura afetada por RAA em Recife

Figura 2 – Classificação da ação preventiva quanto à RAA



necessários à aplicação das prescrições estabelecidas no Guia (Parte 1 da Norma).

A metodologia de ensaios baseou-se preponderantemente em normas americanas da ASTM (*American Society for Test and Materials*) já conhecidas e utilizadas no Brasil, bem como nas correlatas canadenses, com as devidas adaptações à realidade brasileira, sem esquecer o método da África do Sul para o ensaio acelerado em barras de argamassa, já adaptado a partir da ASTM C 1260.

Nas onze reuniões realizadas pelo Grupo de Trabalho de Ensaios Físicos e Químicos de Agregados, foram preparadas e apresentadas à Comissão de Estudos as propostas para os ensaios acelerados em barras de argamassa, com base principalmente nas Normas ASTM C 1260 (ensaio do agregado com cimento padrão) e ASTM C 1567 (ensaio do agregado com materiais inibidores da reação), que deram origem às Partes 4 e 5 da Norma Brasileira, bem como a proposta para o ensaio de longa duração, baseado principalmente na ASTM C 1293, que gerou a Parte 6 da ABNT NBR 15577.

O Grupo de Trabalho de Petrografia reuniu especialistas sobre a matéria para definir as prescri-

ções e orientações relativas às análise e apreciação petrográficas de agregados para concreto. Após cinco reuniões apresentou à Comissão de Estudos as propostas baseadas em documentos internacionais e na experiência dos técnicos brasileiros, que geraram a Parte 3 da ABNT NBR 15577.

O forte caráter técnico presente em todas as reuniões da Comissão de Estudos e dos Grupos de Trabalho gerou um entendimento coeso em torno do objetivo comum de atender satisfatoriamente aos anseios e necessidades da sociedade brasileira. Assim, as divergências técnicas foram discutidas e consensadas, possibilitando, apesar da complexidade do tema, a publicação dos seis textos normativos em apenas dois anos de trabalho.

Uma análise de risco quanto à RAA

TRÊS CATEGORIAS DE RISCO

Inspirada no exemplo Canadense, a Comissão de Estudos iniciou os trabalhos de nor-

malização propondo o desenvolvimento de um guia para o uso de agregados em concreto, de forma a minimizar a possibilidade de ocorrência da reação e, com isso, evitar o desenvolvimento de novos processos patológicos em estruturas de concreto.

A Norma Brasileira de reação álcali-agregado teve como premissa básica a aplicação prática do conhecimento atual sobre o tema e, como medida inicial, prevê a realização de uma análise de risco relativa à probabilidade da estrutura, ou de um elemento estrutural em particular, vir a apresentar patologias devidas à ocorrência de reação álcali-agregado (ver Guia, Parte 1, ABNT NBR 15577), com base na presença simultânea de água, agregado reativo e álcalis disponíveis para reagir.

De forma a orientar, já na fase de projeto, para a necessidade de medidas preventivas que inibam a reação, a ABNT NBR 15577 apresenta uma tabela que classifica a ação preventiva em função do tipo de obra e de sua condição de implantação, dando exemplos de casos em cada situação. Os fatores considerados nessa análise são basicamente:

- ◆ as condições de exposição da estrutura ou do elemento de concreto ao ambiente;
- ◆ as dimensões da estrutura ou do elemento de concreto;
- ◆ a responsabilidade estrutural.

Assim, os profissionais da área de projeto, mesmo sem conhecer profundamente o fenômeno, podem indicar as situações onde se requer atenção quanto à possibilidade de ocorrência da RAA. A figura 2 ilustra a classificação do risco de desenvolvimento da reação, devendo ser observadas as seguintes condições, conforme a Norma Brasileira:

- ◆ Obras provisórias são definidas como aquelas com período de vida útil de projeto de até cinco anos. Como a reação é relativamente lenta e o risco estrutural neste caso é pequeno, considera-se que, em obras provisórias, não há risco de ocorrência de patologias que possam inviabilizar a utilização da estrutura pela ocorrência da reação. Nesse caso, considera-se desnecessária qualquer ação preventiva, a menos casos em que se verifique a presença de elementos maciços em contato direto com a água, quando se recomenda um mínimo de atenção, classificando o risco como mínimo.
- ◆ Obras correntes de engenharia, como edifícios habitacionais, comerciais e industriais, requerem atenção na preparação do concreto destinado às

fundações (partes da estrutura sujeitos ao desenvolvimento de RAA por terem elementos maciços de concreto e presença constante de água). De forma geral, é minorada a necessidade de ação preventiva para a superestrutura desses edifícios. Artefatos diversos de concreto, como postes, cruzetas, tubos, dormentes, e outros, devem ser avaliados em função de sua aplicação, devendo ser tomadas as medidas preventivas consideradas adequadas a cada caso.

- ◆ Estruturas especiais, com elevado tempo de vida útil de projeto, como obras de arte, obras hidráulicas, estádios, estações de tratamento de água e de esgotos, usinas e outras, requerem toda a atenção e medidas preventivas adequadas para que sua durabilidade não venha a ser comprometida.

De forma a exemplificar a aplicação da classificação estabelecida na Norma Brasileira, a tabela 2 traz uma relação de exemplos relativos a cada uma das possíveis situações.

COMPARAÇÕES ENTRE AS NORMAS BRASILEIRA E CANADENSE

Apenas para efeito comparativo, vale mencionar que a Norma Canadense sobre o tema prevê a classificação dos agregados em função de sua potencialidade reativa, identificada pela realização de ensaios. Nessa Norma, a composição do concreto utilizando agregados potencialmente reativos depende de uma análise do tipo de estrutura e de sua exposição ambiental, considerando o histórico de casos de ocorrência da reação.

A mitigação da potencialidade reativa dos agregados prevista na Norma Canadense é baseada em três fatores: quantidade de álcalis disponíveis no sistema; capacidade da matriz cimentícia em combinar os álcalis; ou troca do agregado reativo por um de comportamento inócuo.

As normas Canadense e Brasileira diferem na classificação do risco. A Norma Canadense busca classificar o potencial reativo do agregado, o que é de difícil mensuração. A Norma Brasileira, por sua vez, prevê uma ação já na fase de projeto da estrutura, possibilitando identificar as situações em que se deve avaliar a necessidade de ações preventivas e os casos onde essas ações são desnecessárias (ver fluxograma de ações da figura 3).

Sempre que a ação preventiva for apontada na Norma Brasileira como desnecessária, pode-se prescindir das análises

posteriores e executar a obra, desde que atendidas as demais Normas Brasileiras pertinentes. Nos demais casos, o fluxograma remete para uma análise do histórico de casos de ocorrência da reação em obras já executadas com o mesmo agregado.

Sempre que se constatar a ocorrência de casos de reação álcali-agregado em obras já construídas, o agregado utilizado nessas obras é considerado potencialmente reativo.

A partir dessa constatação, a Norma Brasileira indica o uso de medidas mitigadoras

Tabela 2 – Exemplos da classificação da ação preventiva quanto à possibilidade de ocorrência da RAA

Ação preventiva	Características principais da estrutura e do ambiente	Exemplos
Desnecessária	Estruturas provisórias Curta vida útil de projeto	Estruturas provisórias a menos de elementos maciços permanentemente em contato com água, como, construções em canteiros de obras.
	Estruturas correntes Elementos não maciços Ambiente seco	Superestrutura de edifícios habitacionais, comerciais e industriais
Mínima	Estruturas especiais Elementos não maciços Ambiente seco	Superestrutura de shopping-centers, estádios e similares, sem elementos maciços de concreto
	Estruturas provisórias Curta vida útil de projeto Elementos maciços Presença de água	Elementos maciços de estruturas provisórias permanentemente em contato com água, como fundações das construções provisórias.
Moderada	Estruturas correntes Elementos maciços Ambiente seco	Bases internas para equipamentos pesados
	Estruturas correntes Elementos não maciços Presença de água	Artefatos como tubos para condução de águas pluviais e esgotos sanitários, telhas de concreto, postes, etc.
Forte	Estruturas correntes Elementos não maciços Presença de água	Vigas de baldrame de fundações
	Estruturas correntes Elementos maciços Presença de água	Blocos de fundações de todas as estruturas correntes
	Estruturas especiais Elementos maciços Ambiente seco	Superestruturas de obras de arte, em função da responsabilidade estrutural e da elevada vida útil de projeto
	Estruturas especiais Elementos não maciços Presença de água	Comportas de concreto, fundações de subestações, pré-moldados externos e de galerias, pavimentos externos, elementos de fundações de grandes obras
	Estruturas especiais Elementos maciços Presença de água	Infra-estruturas de obras de arte, estruturas hidráulicas, estruturas de usinas termelétricas, nucleares e eólicas

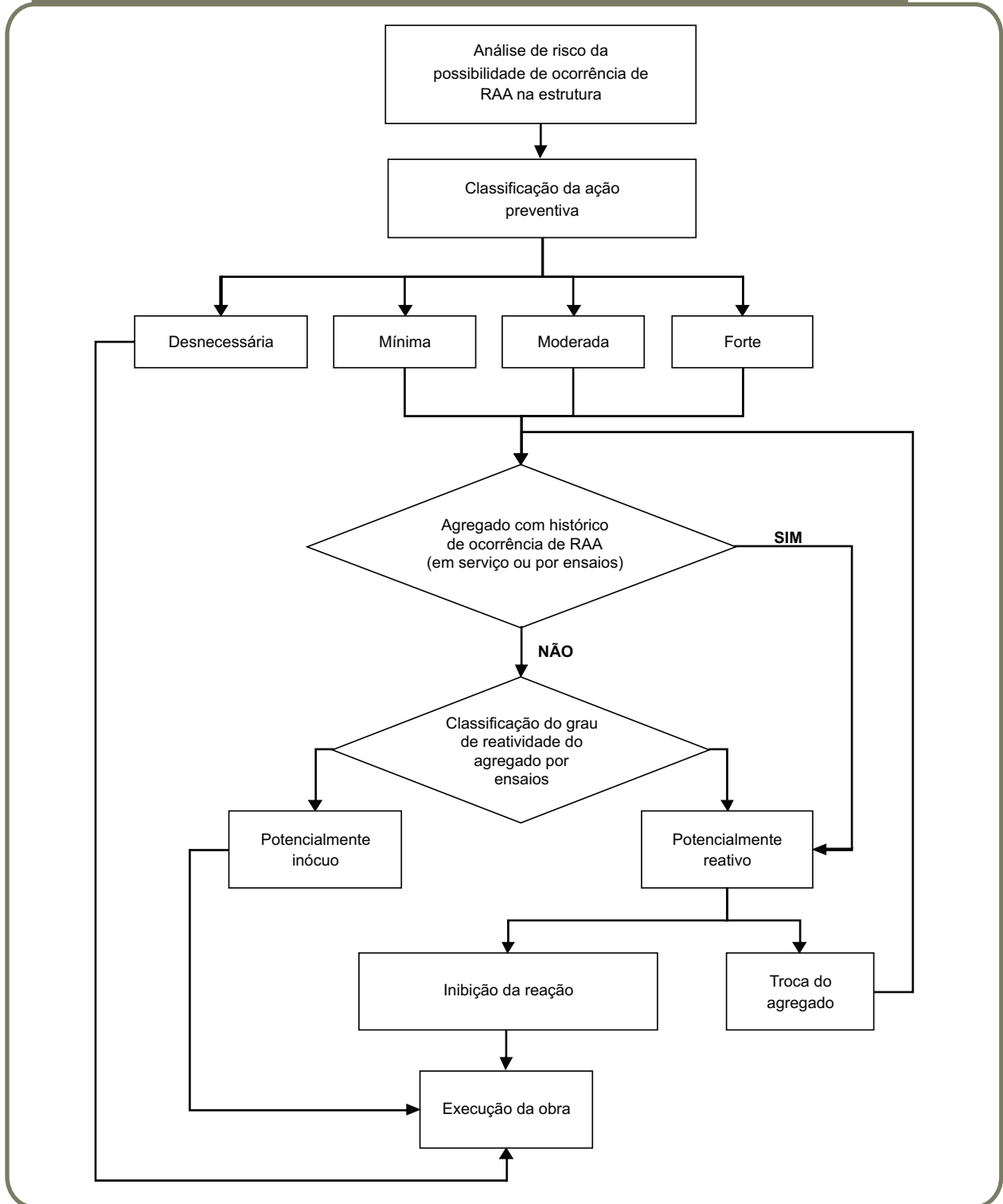
da reação e a comprovação de sua eficácia por ensaios.

Cumpra ainda ressaltar que agregados de comportamento desconhecido frente à RAA devem sempre ser considerados como poten-

cialmente reativos, antes da comprovação de seu caráter potencialmente inócuo por ensaios de acordo com a Parte 4 da ABNT NBR 15577.

O processo pelo qual se evita a ocorrência da reação álcali-agregado em todo o

Figura 3 – Fluxograma de ações da Norma Brasileira para prevenção da reação álcali-agregado



mundo consiste basicamente em limitar o teor de álcalis ou combinar os álcalis presentes no concreto, aprisionando-os na matriz cimentícia, de forma a não permitir o desenvolvimento da reação.

Assim, o uso de cimentos com adições, que contêm materiais pozolânicos ou escórias de alto-forno em sua composição vai a favor da durabilidade das obras, por minimizar os efeitos da reação e, muitas vezes, inibir sua ocorrência, pelo fato de combinarem e aprisionarem os íons alcalinos e diminuírem a disponibilidade dos íons hidroxila. A tradição brasileira de fabricação e uso dos cimentos com adições, uma vez mais mostrou ser uma escolha correta e tecnicamente sustentável.

NECESSIDADE DE AÇÕES PREVENTIVAS E MEDIDAS MITIGADORAS

A ABNT NBR 15577 classifica o risco de ocorrência da RAA, em função da necessidade de ações preventivas da reação: desnecessária, mínima, moderada e forte; correspondendo ao mesmo grau de intensidade das medidas mitigadoras.

Considerando a tradição brasileira de produção e consumo de cimentos com adições, essa Norma estabelece seu uso como suficiente para prevenir efeitos danosos da reação quando a classificação da ação preventiva for mínima. Estão contemplados nessa condição os cimentos CII-E, CII-Z (ABNT NBR 11578), CIII (ABNT NBR 5735) e CIV (ABNT NBR 5736).

Ações preventivas de moderada intensidade, que correspondem a medidas mitigadoras também de moderada intensidade, são atendidas com o uso de cimento Portland de alto-forno (CIII), com pelo menos 60% de escória em sua composição ou com o uso de cimento Portland pozolânico, com no mínimo 30% de pozolana.

Assim, o uso de cimentos compostos, atendendo às condições acima mencionadas, conforme estabelecido na nova Norma Brasileira, é considerado suficiente para garantir a ausência de efeitos deletérios devidos à RAA em obras de concreto que não contenham elementos maciços e que não estejam permanentemente em contato com a água, dispensando-se a realização de ensaios comprobatórios da mitigação.

A Comissão de Estudos optou por considerar que, para uma ação preventiva forte, as medidas mitigadoras devem sempre

contemplar a realização de ensaios, para comprovar que o agregado tem comportamento potencialmente inócuo, ou para comprovar a mitigação da reação pelo uso de materiais inibidores, nos casos de agregados reativos. Estão incluídos nessa condição todas as obras hidráulicas e estruturas em contato direto com água, elementos estruturais enterrados ou em contato com o solo, elementos maciços de concreto, todas as construções consideradas de grande porte e, portanto, de grande responsabilidade estrutural, cuja manutenção, além de difícil, é onerosa e cuja paralisação pode gerar grandes transtornos à população, como barragens, pontes, viadutos, usinas produtoras de energia, e similares. Os ensaios para comprovar a inocuidade dos agregados ou a mitigação da expansão causada pela reação são tratados a seguir.

Ensaio de laboratório

Ensaio buscam simular acontecimentos reais, mas sempre que possível devem fornecer resultados em curto período de tempo. No caso de reações químicas, é comum se estabelecer condições extremamente energéticas, que acelerem seu desenvolvimento durante o ensaio.

Os ensaios acelerados destinados à avaliação da potencialidade reativa dos agregados e à comprovação da mitigação da reação com materiais inibidores pressupõem uma fonte inesgotável de álcalis, pois os corpos-de-prova permanecem imersos em uma solução alcalina 1N (concentração 1 NORMAL de uma solução aquosa, contendo 40 gramas de hidróxido de sódio em um litro de água), durante quase todo o período de ensaio, sob temperatura elevada (80°C, no caso da avaliação do agregado; e 38°C, para comprovação da mitigação da reação). Os ensaios acelerados são estabelecidos nas Partes 4 e 5 da Norma, com tempo total de duração de 30 dias e 16 dias, respectivamente. Os agregados considerados potencialmente inócuos são aqueles que apresentam expansão das barras de argamassa menores que 0,19%, ao passo que a medida mitigadora mostra ser eficaz quando a expansão for menor que 0,10%.

Condição similar se verifica no ensaio de longa duração, porém sem haver contato direto entre a água e os corpos-de-prova, que são mantidos em câmara ventilada a 38°C, imediatamente acima da solução alcalina, du-

rante um ano (Parte 6 da Norma). Nesse caso, o agregado é considerado potencialmente inócuo quando o prisma apresentar expansão menor que 0,04%.

Por sua vez, a caracterização mineralógica, a análise petrográfica (no caso de agregado graúdo) ou a apreciação petrográfica (no caso de agregado miúdo), associadas aos ensaios acelerados ou de longa duração, fornecem informações importantes para a decisão de uso de agregados, que não devem ser consideradas isoladamente, conforme a proposta da nova Norma Brasileira.

Prevenindo a RAA

Em todas as situações onde a importância estrutural da obra, seu local de implantação, tipo e destinação final ou as dimensões dos elementos estruturais, exigirem cuidados específicos relativos à avaliação da possibilidade de ocorrência de efeitos deletérios devidos à reação álcali-agregado, a nova Norma Brasileira fornece um conjunto de informações, que possibilita prevenir sua ocorrência. A aceitação de agregados locais, em algumas situações especí-

ficas, ou a escolha da composição do concreto, passam por essa análise.

A Parte 2 da ABNT NBR 15577 traz como proposta a realização de ensaios nas plantas produtoras de agregados, a exemplo do que se verifica em países como os EUA e o Canadá, estabelecendo uma periodicidade semestral (ou até 150 000 m³ de agregados produzidos, o que ocorrer primeiro) para a realização da coleta e dos ensaios de avaliação quanto à RAA.

Um ano após a publicação da norma

A atual Norma Técnica ABNT NBR 15577 veio de encontro aos mais atuais conceitos mundiais sobre o tema, estabelecendo as diretrizes para a prevenção de comprometimento precoce da vida útil de elementos e estruturas de concreto, considerando um elenco de informações que permite a melhor decisão em cada obra e estendendo esse conceito a todos os tipos de obra da construção civil.

Isto se deve ao reconhecimento da complexidade dos fatores envolvidos no fenômeno da RAA, com múltiplos aspectos, que vão desde a cinética da reação química, interpretação dirigida da análise petrográfica e dos ensaios

Figura 4a – Evolução da quantidade de ensaios de RAA realizados na ABCP de acordo com as normas ASTM C-1260 e ABNT NBR 15577 – Partes 4 e 5

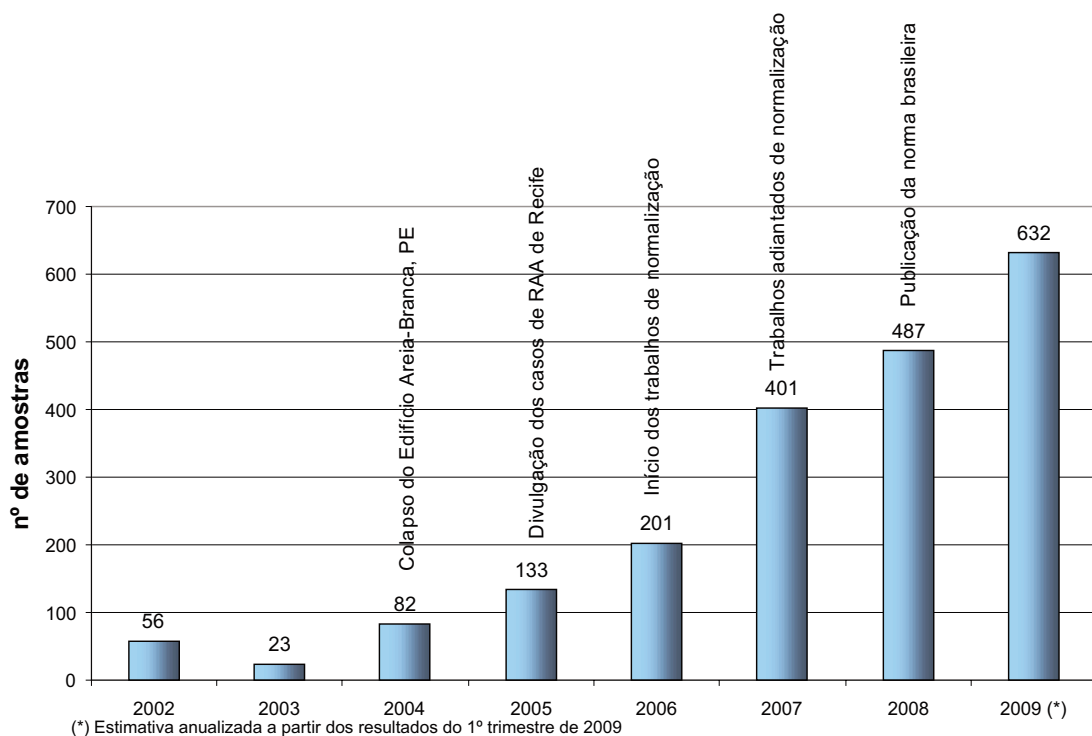
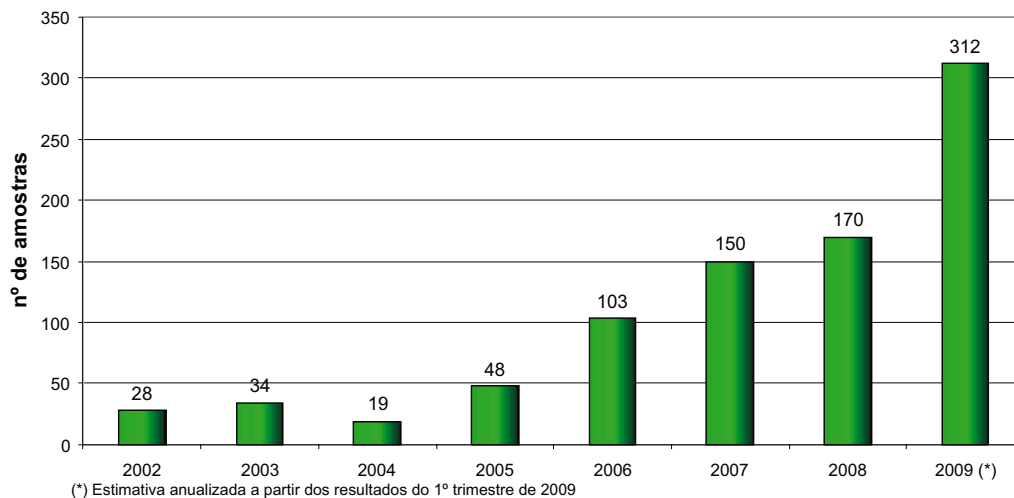


Figura 4b – Evolução da quantidade de análises petrográficas de agregados quanto à RAA realizadas na ABCP



físicos, até a avaliação correta do micro e do macro ambientes de inserção da obra.

A prevenção da reação álcali-agregado é simples, segura e de fácil assimilação pela comunidade técnica. Quando necessárias, as formas de prevenção através do uso de materiais mitigadores da RAA são uma primeira alternativa a ser avaliada técnica e economicamente para alcançar o nível de risco compatível com a obra e seu projeto.

A Figura 4 exemplifica o impacto do desenvolvimento dos trabalhos de normalização sobre o número de ensaios efetuados nos laboratórios da ABCP, na ausência de estatística dos demais laboratórios. Esses ensaios referem-se aos métodos ASTM C1260 e ABNT NBR 15577, Partes 4 e 5 (ensaios acelerados de barras de argamassa), bem como as análises petrográficas (ABNT NBR 15577, Parte 3). Cumprir enfatizar que estão em andamento ensaios em 54 amostras de agregados pelo método

do prisma de concreto de longa duração (um ano). Interessante comentar que as amostras de agregados são enviadas pelos mais diferentes segmentos, incluindo fornecedores de agregados (pedreiras), empresas de serviços de concretagem, construtoras, projetistas, PCHs, universidades, além de outros laboratórios, mostrando que toda a cadeia da construção civil vai aos poucos se conscientizando da importância da prevenção de manifestações patológicas ligadas a RAA.

Os esforços já empreendidos em outros países podem servir de exemplo às iniciativas nacionais, tanto no aprimoramento do parque laboratorial, para possibilitar o atendimento às novas exigências, como no mapeamento das jazidas de agregados, possibilitando prévio conhecimento do material, bem como o próprio aprimoramento da norma.

A Norma atual traz a conceituação e as prerogativas necessárias a esse desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] FIGUEIRÔA, J. P. & ANDRADE, T. O ataque da reação álcali-agregado sobre as estruturas de concreto: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na Região Metropolitana do Recife. Recife, 2007.
- [02] KUPERMAN, S.C. A Reação Álcali-Agregado no Mundo. Seminário Soluções para a reação álcali-agregado. Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.
- [03] STANTON, T. E. Expansion of concrete through reaction between cement and Aggregate. Proceedings of American Society of Civil Engineers, p. 1781-1811. ASCE, V. 66 - nº 10, Dec 1940.
- [04] MEHTA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estruturas, propriedades e materiais. São Paulo : Ed. Pini, 1994
- [05] HOOPS, D.W. Alkali Silica reaction in concrete. Londres : Ed. Thomas Telford, 1988. ◆

CNEC conquista certificação ambiental inédita no setor

A CNEC, empresa de serviços de engenharia do grupo Camargo Corrêa, acaba de receber a certificação ISO 14064, por recomendação da Fundação Carlos Alberto Vanzolini. Com a conquista, a empresa, que completa 50 anos em 2009, passa a ser a primeira no setor de engenharia a ter um sistema de gestão da emissão de gases do efeito estufa e a poder oferecer este serviço a outras companhias.

A CNEC foi a primeira empresa brasileira do setor a ter a questão ambiental incorporada às suas atividades. Em 2007, alinhada aos pilares da sustentabilidade, passou a mensurar a emissão de GEE (Gases de Efeito Estufa) provenientes de suas operações, para que pudesse geri-los. Ao final desse trabalho, a CNEC havia feito um inventário das fontes, sendo possível mapear as ações corretivas para minimizar as emissões de GEE. Assim, os principais processos responsáveis pela emissão dos gases foram revisados. Frequentes viagens aéreas de seus executivos, por exemplo, foram trocadas por videoconferências, gerando benefícios ambiental e econômico. Buscou-se ainda utilizar produtos e insumos renováveis.

“A certificação ISO 14.064 vem confirmar o pioneirismo das ações da CNEC na área ambiental, validando seus esforços no desenvolvimento do Programa de Gestão de Emissões de Gases de Efeito Estufa, iniciados em 2007. Atesta ainda o comprometimento com as ações necessárias para orientar as ações da CNEC e do Grupo Camargo Corrêa na perpetuação de suas atividades, reforçando o compromisso assumido pela empresa em maio de 2008 ao se tornar signatária do Programa Brasileiro GHG Protocol”,



diz José Ayres de Campos, diretor superintendente da CNEC.

O GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) é a ferramenta de medição utilizada mundialmente por empresas e governos na identificação e gerenciamento de suas emissões dos gases de efeito estufa. O Programa Brasileiro GHG Protocol trabalha na elaboração de um padrão brasileiro de quantificação das emissões de GEE a partir de procedimentos universais.

Certificada em Gestão de Qualidade (ISO 9001) desde 1997, a CNEC assegurou em 2007 a tríplex certificação (qualidade, meio ambiente, saúde e segurança do trabalho) conferida pela Fundação Vanzolini.

Sobre a CNEC

Incorporada em 1969 pelo grupo Camargo Corrêa, a CNEC integra a Divisão de Engenharia e Construção do conglomerado. A empresa é especializada em realizar projetos, estudos, gerenciamento completo de empreendimentos e obras, consultoria e assessoria técnica. Nestas cinco décadas, a CNEC já participou no projeto e construção dos principais projetos de energia, metrô, portos, rodovias, ferrovias, obras de saneamento básico, desenvolvimento urbano e refinarias de petróleo em todo o Brasil e em alguns países da América Latina e África. Estão entre seus principais clientes Alcoa, Petrobras, CPFL, Grupo Eletrobrás (Furnas, Eletronorte, CHESF e Eletrosul), Vale, Votorantim e BHP Billiton, entre outras. ♦

Estudo de dosagem do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo de beneficiamento de granito

Alessandra Savazzini dos Reis • Professora-Mestre do IFES – Campus Colatina
Fernando Avancini Tristão • Professor-Doutor da UFES

1. Introdução

A designação ladrilho hidráulico surge do seu principal componente, o cimento Portland, que é um aglomerante hidráulico. É composto de três camadas e seu processo de produção é artesanal, através de prensagem.

Nos últimos anos, o ladrilho hidráulico teve sua demanda de produção diminuída em função do surgimento das placas cerâmicas. Com o advento da adaptação do piso de calçadas para atenderem a padrões de acessibilidade, foi desenvolvido o ladrilho hidráulico piso tátil para constituir a faixa de piso de alerta a ser utilizada por deficientes visuais.

O desenvolvimento da dosagem do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo de beneficiamento de granito vem mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente causados pela indústria de rochas ornamentais e, ao mesmo tempo, visa à melhoria na metodologia de dosagem dos ladrilhos hidráulicos

produzidos em grande volume nos dias atuais. É feita uma comparação entre as propriedades do ladrilho hidráulico desenvolvido com resíduo e as propriedades dos ladrilhos hidráulicos fabricados no estado do Espírito Santo, os quais não contêm o resíduo na composição.

O resíduo do beneficiamento de granito, que se comporta como um fíler nas argamassas cimentícias, melhora a densidade e diminui a porosidade. Pretende-se com o uso do resíduo no ladrilho hidráulico piso tátil um aumento da compactidade e durabilidade do produto final, que passa a apresentar uma qualidade melhor em relação aos ladrilhos comercializados na

região do estudo. A Figura 1 apresenta ladrilhos hidráulicos produzidos no estado do Espírito Santo, apresentando fissuras em piso de calçada.

Figura 1 – Ladrilho hidráulico com fissuras

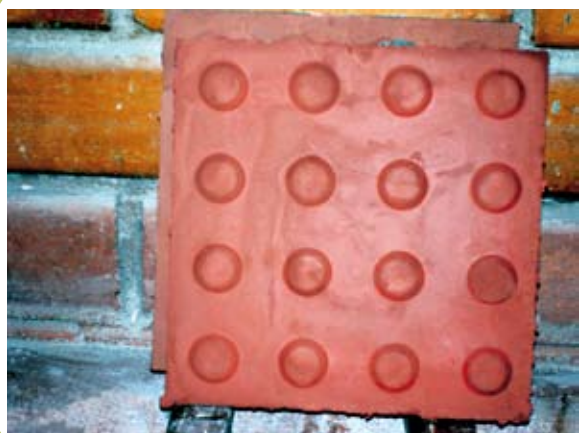


1.1 LADRILHO HIDRÁULICO

1.11 Conceituação e histórico

O ladrilho hidráulico é uma placa de concreto de alta resistência ao desgaste para acabamento de

Figura 2 – Ladrilho hidráulico piso tátil



paredes e pisos internos e externos, contendo uma superfície com textura lisa ou em relevo, colorido ou não, de formato quadrado, retangular ou outra forma geométrica definida (NBR 9457/1986).

O ladrilho hidráulico teve origem nos antigos mosaicos bizantinos e foram largamente aplicados na Europa como revestimento de paredes e pisos. No Brasil, inicialmente, os ladrilhos hidráulicos foram todos importados de Portugal, França e Bélgica. No final do século XIX surgiram as primeiras fábricas no estado de São Paulo. No século XX, o uso do ladrilho hidráulico foi bastante ampliado, principalmente nas áreas “frias” das residências, substituindo o chamado cimentado “vermelhão”, tido como material “muito pobre” na época.

A produção do ladrilho hidráulico teve seu auge no Brasil nas décadas de 30 à 50. Porém, nos anos 60, caiu em desuso com a introdução da cerâmica industrializada. Nas últimas décadas, a restauração de monumentos históricos tombados fez com que os fabricantes voltassem a produzir o ladrilho hidráulico. Além de arquitetos e decoradores, que voltaram a valorizar os ladrilhos hidráulicos como forma de personalizar seus projetos e usar em mosaicos. Atualmente, é muito comum o uso do ladrilho hidráulico piso tátil, que contém relevos superficiais, em pisos de calçadas com funções decorativas e de sinalização tátil. Algumas prefeituras municipais têm especificado o ladrilho em projetos de adaptação de calçadas para atenderem aos padrões de acessibilidade constantes na NBR9050/2004.

1.1.2 Ladrilho hidráulico piso tátil

O ladrilho hidráulico piso tátil é o ladrilho hidráulico usado em piso caracte-

terizado pela diferenciação de textura em relação ao piso adjacente (Figura 2). O objetivo do ladrilho hidráulico piso tátil é servir de sinalização tátil para o deficiente visual, ou seja, ser perceptível por pessoas com deficiência visual.

A textura da sinalização tátil de alerta (tipo pastilhado) consiste em um conjunto de relevos tronco-cônicos com modulação que deve garantir continuidade de textura e o padrão de informação. Esse tipo de piso tátil tem sido especificado por prefeituras que estão adaptando as calçadas para acessibilidade, em projetos, tal como, da “Calçada Cidadã” da Prefeitura Municipal de Vitória-ES, que foi criado para conscientizar e sensibilizar a população sobre a importância de construir, recuperar e manter as calçadas (Figuras 3a, 3b).

1.1.3 Fabricação do ladrilho hidráulico piso tátil com resíduo de beneficiamento de granito

A produção do ladrilho hidráulico é artesanal e embasada em procedimentos empíricos até nos dias atuais. É composto por três camadas (Figuras 4a, 4b, 4c), sendo que, nesta pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais na composição do produto contendo resíduo:

- ◆ **Camada superior** – é a camada de impressão do desenho e se apresenta bastante fluida. Compõem-se de cimento Portland, resíduo, pigmento e água;
- ◆ **Camada intermediária** – tem função de absorver a água em excesso da camada superior e fixar o desenho. Compõem-se de cimento Portland e resíduo;
- ◆ **Camada inferior** – é uma argamassa bastante seca, devendo ser porosa para favorecer a aderência. Compõem-se de cimento Portland, areia, resíduo e água.

O ladrilho hidráulico é moldado em forma metálica lançando-se manualmente as três camadas sobrepostas e, em seguida, é prensado em prensa do tipo parafuso ou hidráulica. Após prensagem, é desmoldado e levado à cura.

2. Dosagem do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo do beneficiamento de granito

Foram realizadas visitas às fábricas de ladrilho hidráulico existentes no estado do Espírito Santo e foi feita pesquisa bibliográfica

Figura 3 – Ladrilho hidráulico piso tátil assentado



(a) Calçada em Vitória-ES



(b) Calçada em Colatina-ES

sobre a fabricação do ladrilho hidráulico, sendo constatado que não existe uma metodologia de dosagem, principalmente com relação à quantidade necessária de água em cada camada. Foram iniciados os estudos com a dosagem 1:3 (cimento:material seco).

O estudo da dosagem foi dividido para as três camadas formadoras do ladrilho hidráulico.

2.1 ESTUDO DA DOSAGEM DA CAMADA SUPERIOR

Foi baseado no estudo dos aspectos do comportamento do fluxo da pasta da camada superior contendo resíduo nos teores de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em relação à massa de cimento, através dos ensaios de mini-slump e

Figura 4 – Camadas do ladrilho hidráulico piso tátil



(a) Superior



(b) Intermediária



(c) Inferior

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de mini-slump, Funil de Marsh e a densidade da pasta da camada superior

Teor resíduo (%)	a/c	Mini-slump (mm)	Funil Marsh (s)	Densidade (Kg/m ³)
0	0,70	111,41	14	1,630
10	0,70	102,44	39	1,652
20	0,70	85,23	134	1,676
30	0,70	68,67	1208,4	1,713
40	0,70	64,22	Não determinado	1,756

de funil Marsh. Os procedimentos do ensaio de mini-slump seguiram a Metodologia de Gomes, que tem como objetivo estudar o comportamento das pastas com adições minerais e encontrar a dosagem ótima da relação entre fino e cimento. O ensaio para determinação do índice de fluidez da pasta pelo funil Marsh seguiu a NBR 7682/1983, onde o índice de fluidez é a medida do tempo em segundos, onde 1000 cm³ de pasta levam para escoar pelo funil Marsh. Foi determinada também a densidade das pastas.

Os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 1.

O fluxo da pasta no Funil de Marsh se tornou descontínuo quando foi adicionado 40% de resíduo - a dificuldade de realização do ensaio já foi notada quando a adição de resíduo foi de 30%. Esses fatos confirmam que as pastas com espalhamento final no ensaio de mini-slump abaixo de 70 mm não fluem no Funil Marsh. Os resultados dos ensaios conduziram ao uso de um teor de 20% de resíduo em relação à quantidade de cimento. A dosagem adotada para a camada superficial é apresentada no Quadro 1.

2.2 ESTUDO DA DOSAGEM DA CAMADA INFERIOR

Foram realizados testes preliminares de produção de ladrilhos hidráulicos para aprendizado do funcionamento da prensa hidráulica, bem como o estabelecimento de um procedimento de produção e a obtenção de uma dosagem inicial para moldagem do ladrilho hidráulico piso tátil.

Quadro 1 – Dosagem da camada superficial (massa)

cimento	pigmento	resíduo	água
1	0,03	0,20	0,70

O estudo da camada inferior foi antecipado em relação ao estudo da camada intermediária, pois foi verificado nos testes preliminares que a dosagem da camada inferior influencia mais diretamente nas propriedades do ladrilho hidráulico, tais como: a absorção de água e a resistência à flexão. Foram moldados ladrilhos hidráulicos nas dosagens 1:3, 1:2 e 1:1 (cimento:material seco). O Quadro 2 apresenta as dosagens testadas para a camada inferior.

2.3 ESTUDO DA DOSAGEM DA CAMADA INTERMEDIÁRIA

Com as dosagens definidas da camada superior e da inferior, foi feito o estudo da camada intermediária. Foi adotado inicialmente a dosagem 1:3 (cimento:resíduo) em massa, modificando-se a proporção de resíduo para 1:2 e 1:4. Foram moldados ladrilhos hidráulicos com as três dosagens.

3. Verificação das propriedades do ladrilho hidráulico com adição de resíduo do beneficiamento de granito

Foram moldados ladrilhos hidráulicos piso táteis no estudo de cada camada na prensa hidráulica semi-industrial com pressão de 250 Kgf/cm². Durante 24 h após a prensagem, o ladrilho hidráulico permaneceu ao ar livre; em seguida, foi procedida a cura imersa em

Quadro 2 – Dosagens da camada inferior (massa)

Dosagens	cimento	areia	resíduo	água
1:3	1	2,27	0,73	0,35
1:2	1	1,6	0,40	0,20
1:1	1	0,75	0,25	0,20

Quadro 3 – Ensaio realizados e limites da NBR 9457/1986

Propriedades	Ensaio	Limites NBR9457/1986
Absorção de água	NBR13818/1997	Máximo de 8%
Resistência ao desgaste por abrasão	NBR12042/1992	Máximo de 3 mm em 1000m
Módulo de ruptura à flexão (MRF)	NBR13818/1997	Valor médio da amostra 5 MPa Valor individual mínimo 4,6 MPa

câmara úmida por 7 dias; depois desse período o ladrilho permaneceu ao ar livre até as datas dos ensaios.

A verificação das propriedades do ladrilho hidráulico piso tátil produzido com resíduo visou analisar a influência do resíduo nas propriedades requeridas pela norma NBR 9457/1986, apresentada no Quadro 3.

4. Resultados da verificação das propriedades do ladrilho hidráulico com adição de resíduo do beneficiamento de granito

Os resultados dos ensaios realizados nos ladrilhos hidráulicos piso táteis produzidos na pesquisa e os das fábricas existentes no Espírito Santo, denominadas de A, B e C, são apresentados a seguir.

4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA E MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Na pesquisa, foram avaliadas os resultados obtidos nos ensaios para os estudos de dosagem das três camadas do ladrilho hidráulico piso tátil contendo resíduo.

4.2.1 Resultados dos ensaios na camada inferior do ladrilho hidráulico com resíduo

Os resultados dos ensaios na camada inferior estão apresentados na Tabela 2.

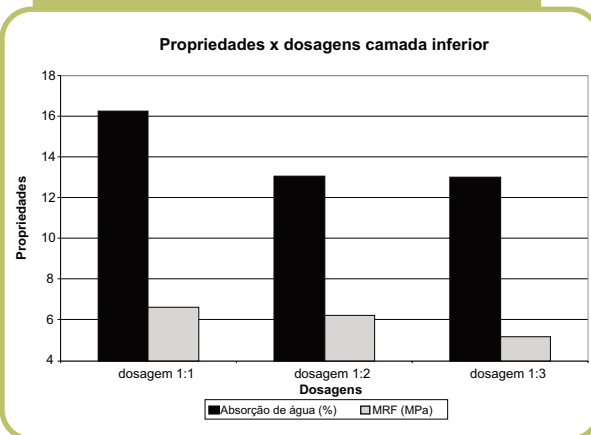
Tabela 2 – Resultados dos ensaios na camada inferior

Dosagens	Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	nº c.p.	Média	D.P.	nº c.p.	Média	D.P.
1:1	3	16,25	0,23	3	6,62	0,52
1:2	5	13,06	0,7	5	6,23	0,28
1:3	3	12,99	1,25	3	5,16	1,3

A Figura 5 apresenta os valores encontrados nos ensaios de absorção de água e de módulo de resistência à flexão no estudo de dosagem da camada inferior.

Foi adotada a dosagem 1:2 (cimento:material seco), em massa, para a camada inferior.

Figura 5 – Valores obtidos de absorção de água e MRF nas dosagens da camada inferior



4.2.2 Resultados dos ensaios na camada intermediária do ladrilho hidráulico com resíduo

Foram analisadas as dosagens da camada intermediária, mantendo-se constantes as dosagens das camadas superior e inferior encontradas nos respectivos estudos. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios na camada intermediária

Dosagens	Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	nº c.p.	Média	D.P.	nº c.p.	Média	D.P.
1:2	3	13,51	0,14	3	5,43	0,19
1:3	5	13,06	0,7	5	6,23	0,28
1:4	3	14,02	0,12	3	5,04	0,25

Nota: c.p. corpo de prova; D.P. desvio padrão

Verifica-se, através dos resultados dos ensaios de determinação do módulo de resistência à flexão e da absorção de água, que a dosagem ideal da camada intermediária é 1:3 (cimento:material seco), em massa.

4.2.3 Dosagem final do ladrilho hidráulico com resíduo de beneficiamento de granito

A partir do resultado dos ensaios realizados de absorção de água e da resistência a flexão nos ladrilhos para as três camadas, foi adotada a dosagem final de acordo com o Quadro 4.

5. Comparativo dos resultados das propriedades do ladrilho hidráulico com adição de resíduo do beneficiamento de granito e dos ladrilhos hidráulicos produzidos no ES

Os resultados da absorção de água e do módulo de resistência à flexão dos ladrilhos da pesquisa e dos ladrilhos fabricados no ES são comparados na Tabela 4.

A Figura 6 apresenta os resultados comparativos entre os valores da absorção de água e do MRF dos ladrilhos hidráulicos

da pesquisa e dos ladrilhos hidráulicos produzidos no ES.

Foi verificado que nenhuma das três fábricas atendeu aos valores médios da norma quanto à absorção de água e quanto ao módulo de resistência à flexão. Os resultados apresentaram uma grande variabilidade, principalmente no MRF, que pode dever-se ao fato do tipo de equipamento utilizado para prensagem do ladrilho hidráulico e a dosagem ser efetuada em volume.

A mistura manual dos materiais componentes das camadas do ladrilho hidráulico pode ter afetado a trabalhabilidade da mistura, que por sua vez afeta o adensamento e, conseqüentemente, a resistência. E, ainda, a resistência do concreto depende de como a dosagem, o grau de adensamento e a cura afetam a sua porosidade.

Quanto aos ladrilhos da pesquisa, atenderam ao MRF estabelecido pela norma.

5.1 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE POR ABRASÃO

Os resultados do ensaio de desgaste por abrasão nos ladrilhos hidráulicos com dosagem final obtidos na pesquisa, que foram ensaiados com idade de 28 dias; e nos ladrilhos hidráulicos das Fábricas A, B e C, ensaiados com idade de 83 dias, são apresentados na Tabela 5.

Quadro 4 – Dosagem final do ladrilho hidráulico piso tátil com resíduo (em massa)

Camadas	Dosagem final				
	cimento	areia	resíduo	água	pigmento
superior	1	0	0,2	0,70	0,03
intermediária	1	-	3	0	0
inferior	1	1,6	0,4	0,20	0

Tabela 4 – Resultados da absorção de água e do MRF dos ladrilhos hidráulicos

Ladrilhos	Absorção de água (%)			MRF (MPa)		
	nº c.p.	Média	D.P.	nº c.p.	Média	D.P.
Pesquisa	5	13,06	0,70	5	6,23	0,28
Fábrica A	9	12,06	0,84	4	4,72	0,55
Fábrica B	9	13,73	0,71	5	1,67	0,57
Fábrica C	9	11,62	1,24	5	4,04	1,02

Nota: c.p. corpo de prova; D.P. desvio padrão

Foi verificado que nenhum dos ladrilhos hidráulicos submetidos ao ensaio atendeu ao limite de desgaste da norma. No caso dos ladrilhos das fábricas, o desgaste foi menor em relação ao obtido no ladrilho hidráulico com resíduo, devendo-se ao fato da resistência à abrasão ser uma propriedade interligada a resistência à compressão que aumenta ao longo do tempo e os corpos de prova terem idade maior que os ladrilhos da pesquisa.

No caso do ladrilho hidráulico com resíduo, o não atendimento à norma deve-se ao fato de apresentar na camada superficial uma alta relação a/c, o que não conduz a bom adensamento e, com isso, diminui a resistência à compressão e a resistência ao desgaste por abrasão do piso.

6. Principais conclusões

6.1 QUANTO AO LADRILHO HIDRÁULICO PISO TÁTIL COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE GRANITO

Com base no desenvolvimento experimental e nos resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

- ◆ O uso do resíduo do beneficiamento de granito como adição mineral no ladrilho hidráulico piso tátil foi viável tecnicamente, pois agiu como um “filer” aumentando a resistência à flexão do produto.
- ◆ O módulo de resistência à flexão do ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo foi superior ao limite mínimo estabelecido pela norma NBR 9457/1986, para as dosagens da camada inferior, a partir da proporção de dosagem 1:3 (cimento:material seco), em massa.
- ◆ A absorção de água apresentou resultados que variaram de 13% a 16%, o que poderia ser aceitável, tratando-se de um material poroso; porém nenhuma dosagem atendeu o limite máximo de 8% da NBR 9457/1986.
- ◆ A resistência ao desgaste por abrasão não

foi atendida, por se tratar de um piso com a camada superficial com elevada relação água cimento ($a/c=0,70$), que é inerente ao processo de fabricação para se obter perfeito acabamento superficial no produto.

6.2 QUANTO AO LADRILHO HIDRÁULICO PISO TÁTIL PRODUZIDO PELAS FÁBRICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

Figura 6 – Comparação dos valores obtidos de absorção de água e MRF nas dosagens entre os ladrilhos hidráulicos com resíduo e os ladrilhos hidráulicos produzidos no ES

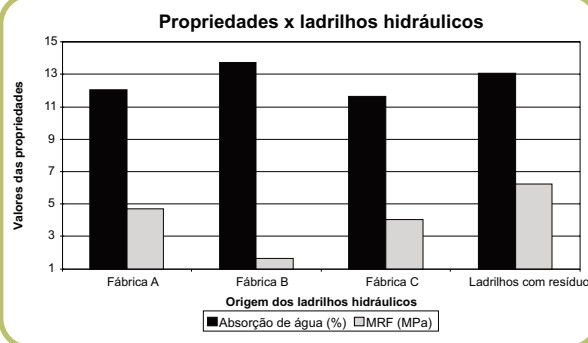


Tabela 5 – Resultados do ensaio de desgaste por abrasão

Dosagem	Desgaste (mm) após 1000m		
	Resultado	Limite máx. NBR	D.P.
Pesquisa	8,92	< 3	0,63
A	5,73	< 3	0,56
B	6,17	< 3	2,05
C	7,78	< 3	0,59

Nota: D.P. = desvio padrão

- ◆ Todas as propriedades analisadas nos lotes amostrais dos ladrilhos hidráulicos piso táteis fabricados no Espírito Santo não atenderam às normas pertinentes. O que levanta a problemática de implantação de controle de qualidade nas fábricas para que os produtos, que atualmente estão sendo muito comercializados, estejam aptos com relação à legislação pertinente.
- ◆ Quanto à absorção de água e à resistência à flexão, os valores estão muito aquém dos valores limites estabelecidos pela norma. E o limite da resistência ao desgaste por abrasão também não foi atendido.
- ◆ Isto sugere a necessidade de trabalho junto aos fabricantes, quanto à dosagem adequada com os materiais e equipamentos de cada fabricante, que visam atender aos limites da norma.

6.3 QUANTO À IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE GRANITO NO LADRILHO HIDRÁULICO PISO TÁTIL

Com a pesquisa, pode-se reafirmar que uma das alternativas para tornar o setor de beneficiamento de rochas ornamentais sustentável, principalmente no aspecto ambiental, passa pela reciclagem do resíduo sólido gerado, que ocasiona diminuição do volume de aterros, bem como das possíveis contaminações do solo e da água, além da adição do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais possibilitar a diminuição do consumo de materiais naturais não renováveis na confecção dos novos produtos.

A importância da pesquisa também é reforçada por ter buscado métodos de dosagem para serem aplicados na dosagem de cada camada formadora do ladrilho hidráulico, o que leva o trabalho a servir de referência na tecnologia de produção do ladrilho em bases científicas, que atualmente é empírica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.
- [02] __. NBR 9457: Ladrilho Hidráulico. Rio de Janeiro, 1986.
- [03] __. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- [04] MACHADO, L. G.. Exposições - Se esta rua fosse minha. São Paulo. 2005. Disponível em: <<http://www.mcb.sp.gov.br/mcbltem.asp?sMenu=P002&sTipo=5&sItem=224&sOrdem=1>>. Acesso em: 13 abr. 2007. ◆



LANÇAMENTO ESTUDO SETORIAL CONSTRUÇÃO - CIVIL E PESADA

Monitorar o mercado é atualmente aspecto crucial na condução dos negócios de todas as empresas e em específico daquelas que atuam no competitivo mercado de construção civil leve e pesada.

Por esta razão estamos levando a seu conhecimento as atividades da All Consulting, empresa voltada a elaboração de vários produtos entre os quais Relatórios Setoriais de Mercado, Acompanhamentos Contínuos de Mercado, Análises de Viabilidade, Workshops e Projetos Econômicos.

Constituída por profissionais altamente qualificados, experientes nas áreas mencionadas e oriundos de empresas correlatas, a All Consulting sente-se confortável em oferecer todo nosso portfólio de produtos, em específico os Relatórios Setoriais abrangendo as áreas de construção civil leve e pesada.

Entre em contato
para conhecer
outros produtos

www.allconsulting.srv.br

contato@allconsulting.srv.br

11 3565-1702 / 1703



Responsabilidade na engenharia e arquitetura

Rone Antônio de Azevedo • Engenheiro Civil
Caixa Econômica Federal

O presente artigo aborda a responsabilidade civil dos profissionais de Engenharia e Arquitetura, comparando e esclarecendo os dispositivos legais em vigor.

Toda conduta profissional que viola dever jurídico original, causando prejuízo a outrem é fonte geradora de responsabilidade civil. Responsável é o profissional que deve ressarcir o prejuízo decorrente da violação de precedente norma legal. Responsabilidade é todo o conjunto de normas e princípios que regem a obrigação de indenizar. Pressupõe-se uma obrigação descumprida.

É preciso diferenciar entre obrigação e responsabilidade. Cavalieri destaca que “a responsabilidade é a sombra da obrigação”. O Código Civil (CC) distingue obrigação e responsabilidade no art. 389. “Não cumprida a obrigação, responde o devedor por perdas e danos [...]”.

Para descobrir quem é o responsável faz-se necessário identificar aquele a quem a lei imputou a obrigação. O fundamento da responsabilidade é a culpa ou o dolo.

O dolo exterioriza-se na lesão desejada pelo agente; a culpa revela-se na lesão não desejada, mas ocorrida por negligência, imprudência ou imperícia na conduta de quem a causa. Em ambos os casos sempre haverá ilícito – doloso ou culposo – gerador de responsabilidade qualificada juridicamente.

Meirelles destaca que as responsabilidades provêm de três fontes distintas:

- ◆ **Legal:** imposição de conduta por meio da lei, independentemente de outro vínculo.
- ◆ **Contratual:** surge do acordo entre as partes para cumprimento de obrigações, estabelecendo a garantia de execução do contrato.
- ◆ **Extracontratual:** decorre de ato ilícito, ou seja, contrário ao Direito.

O ato ilícito surge quando a ação contraria dever geral previsto no ordenamento jurídico (responsabilidade extracontratual) e quando não são cumpridas as obrigações assumidas,

caso em que se configura a responsabilidade contratual. Todo ato ilícito e lesivo a terceiro gera obrigação de indenizar, independentemente das demais sanções cabíveis.

Em regra, a responsabilidade profissional é preponderantemente contratual. Quem exerce alguma profissão tem o dever de se comportar sob certos parâmetros exigidos para o ofício. O desvio desses parâmetros, ao ocasionar danos, interessa o dever de indenizar. A presunção é que o profissional conhece as condições e implicações dos seus atos.

Para caracterizar a responsabilidade dos engenheiros e arquitetos, é necessário distingui-la entre subjetiva e objetiva a partir da culpa como pressuposto à obrigação de reparação do dano.

Em sentido amplo, culpa é a inobservância de um dever que o profissional devia conhecer e observar. A culpa civil abrange não somente o ato ou conduta intencional (dolo), mas também os atos ou condutas evitadas de negligência, imprudência ou imperícia. Portanto, para fins de indenização, importa verificar se o agente agiu com culpa civil.

O Direito tradicional triparte a culpa em grave, leve e levíssima.

- ◆ **Culpa grave,** aproxima-se do dolo. Inclui a chamada culpa consciente quando o profissional assume o risco de que o evento danoso e previsível não ocorrerá.
- ◆ **Culpa leve,** decorre da infração de um dever de conduta relativa ao homem médio, o bom profissional. São situações nas quais, em tese, ele não transgrediria o dever de conduta.
- ◆ **Culpa levíssima,** constatada pela falta de atenção extraordinária que somente uma pessoa muito dotada de conhecimento, no caso um perito poderia ter.

Em todas essas situações o dano deve ser reparado. A culpa servirá somente de parâmetro, para que o magistrado mensure o valor do dano a reparar.

Na **responsabilidade subjetiva**, a culpa é necessária para configurar o causador do dano e decorre de contratos previamente ajustados, com legislação e regras pactuadas, sendo regulada pelo CC nos artigos 186 e 927:

- ◆ **Art. 186.** *quele que por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violar direito e causar dano ainda que exclusivamente moral, comete ato ilícito.*
- ◆ **Art. 927.** *Aquele que por ato ilícito causar prejuízo a outrem fica obrigado a repará-lo. (BRASIL, CC, 2002)*

Na responsabilidade subjetiva, o dever violado sempre será o ponto de partida, não importando se dentro ou fora da relação contratual. Nesse caso a culpa é vista de modo unitário, fundamento genérico da responsabilidade. Leva-se em conta a conduta do agente.

As responsabilidades extracontratual e contratual encontram-se disciplinadas no CC nos artigos 186, 289 e 927. Configuram responsabilidade subjetiva, onde a parte que se sentir lesada tem o dever de demonstrar que os procedimentos adotados pelos profissionais originaram o evento danoso. As provas devem ser apresentadas pelo autor lesado, cabendo a ele o ônus da prova.

A **responsabilidade objetiva** é integralmente respaldada pela doutrina e pelo Código de Defesa do Consumidor (CDC), onde a lei não impõe a culpa como elemento para responsabilizar o agente, exigindo apenas o nexo de causalidade entre o dano e o efetivo. O ônus da prova é invertido, o consumidor demonstra o dano e a pessoa física ou jurídica que o lesionou tem o dever legal de provar.

A responsabilidade objetiva baseia-se na teoria do risco, onde a atividade que gerou o dano é lícita, mas causou perigo a outrem. Aquele que a exerce tem a obrigação de velar para que dela não resulte prejuízo e terá o dever ressarcitório pelo simples nexo causal.

A vítima deverá pura e simplesmente demonstrar o nexo de causalidade entre o dano e a ação que o produziu. Não se cogita de responsabilidade indireta que reparará dano o agente ou a empresa exploradora. Somente se exime nos casos de excludentes, conforme dispõe o CDC.

O CDC, por seu turno, traz uma regra especial para a responsabilidade civil, em caso de atividade profissional de prestação de serviço defeituoso, no seu artigo 14, com a seguinte redação:

◆ **Art. 14.** *O fornecedor de serviços responde, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos relativos à prestação dos serviços, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua fruição e riscos. [o § 1º classifica as modalidades de serviço defeituoso] [...]*

◆ **§ 4º** *A responsabilidade pessoal dos profissionais liberais será apurada mediante a verificação de culpa. (BRASIL, CDC, 1990, comentário e negrito nosso)*

O início do artigo traz regra de responsabilidade civil objetiva na prestação do serviço. Entretanto, no § 4º há a ressalva da verificação de culpa para responsabilidade dos profissionais liberais. Engenheiros e arquitetos, enquanto pessoa física ou jurídica prestadora de serviço, são considerados fornecedores nos termos do artigo 3º do CDC:

◆ **Art. 3º** *Fornecedor é toda pessoa física ou jurídica, pública ou privada, nacional ou estrangeira, bem como os entes despersonalizados, que desenvolvem atividade de produção, montagem, criação, construção, transformação, importação, exportação, distribuição ou comercialização de produtos ou prestação de serviços. [...]*

◆ **§ 2º** *Serviço é qualquer atividade fornecida no mercado de consumo, mediante remuneração, inclusive as de natureza bancária, financeira, de crédito e securitária, salvo as decorrentes das relações de caráter trabalhista. (BRASIL, CDC, 1990, negrito nosso)*

Prevalece, portanto, a regra especial do artigo 14, § 4º do CDC, sobre a regra geral do CC. Engenheiros e arquitetos profissionais liberais devem ser responsabilizados por danos provenientes da prestação de seus serviços no caso de culpa comprovada. No entanto, na prestação de serviços de Engenharia e de Arquitetura oferecidos por pessoa jurídica, o defeito do serviço gera responsabilidade objetiva, independente de culpa, nos termos do artigo 14 do CDC.

O CDC representa a evolução na responsabilidade civil, estabelecendo um sistema jurídico para as relações contratuais e de consumo. Aquele que contrata serviço de Engenharia e Arquitetura é considerado consumidor, no ordenamento jurídico pátrio, conforme o artigo 2º do CDC: "Consumidor é toda pessoa física ou jurídica que adquire ou utiliza produto ou serviço como destinatário final".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BRASIL. Decreto-Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L8078.htm>>.
- [02] BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm>.
- [03] CAVALIERI FILHO, Sérgio. Programa de Responsabilidade Civil. 8. ed. 3. reimp. São Paulo: Atlas, 2009.
- [04] MEIRELLES, Hely Lopes. Direito de Construir. 9. ed. Atualizada por Eurico de Andrade Azevedo, Adilson Abreu Dallari e Daniela Libório di Sarno. São Paulo: Malheiros, 2005. 480 p. ◆

Uso de concreto reodinâmico em piso de estacionamento de um shopping center: um estudo de caso

Vinicius José Bezerra Fernandes Filgueiras • Fábio Giovanni Xavier de Oliveira
Rehabilitar Engenharia Ltda

1. Introdução

Muitas de nossas estruturas não estão preparadas para suportar o uso a que estão sendo solicitadas. Falta de planejamento ou mudança de uso para a qual foram projetadas trazem problemas de durabilidade, sendo necessário intervenções em curto período de utilização, tendo estas estruturas uma baixa vida útil.

A obra em questão foi realizada em lajes de um Shopping Center totalizando uma área de 18.000m², sendo executada em duas etapas. A primeira tratou-se de um revesti-

mento de proteção em lajes que seriam ainda liberadas para uso com área de aproximadamente 6.000m² proveniente de uma expansão. A segunda etapa tratou-se da recuperação dos recobrimentos das lajes de estacionamento que já estavam sendo utilizadas, com área de aproximadamente 12.000m².

O modelo estrutural desta estrutura é composto de lajes maciças nervuradas envoltas por faixas protendidas apoiadas em pilares. Todo o concreto utilizado na estrutura possui $f_{ck} = 30$ MPa fornecido por central dosadora. Durante a execução da superestrutura foi realizado controle tecnológico do concreto.

Tabela 1 – Composição dos traços produzidos

Traços	Componentes (1m ³ de concreto)			Aditivo (1m ³ de concreto)	Adições (1m ³ de concreto)		
	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Superplastificante (l)	Metacaulim (kg)	Microssilica (kg)	Fibra de Polipropileno (g)
PAOOSP	500,00	1039,69	713,61	4,60	0,00	0,00	0,00
PAOOSPF	500,00	1039,69	713,61	4,60	0,00	0,00	500,00
MSO8SP	460,00	1039,69	713,61	4,60	0,00	40,00	0,00
MSO8SPF	460,00	1039,69	713,61	4,60	0,00	40,00	500,00
MTO8SP	460,00	1039,69	713,61	4,60	40,00	0,00	0,00
MTO8SPF	460,00	1039,69	713,61	4,60	40,00	0,00	500,00
PAOOCF	500,00	1039,69	713,61	4,60	0,00	0,00	0,00
PAOOCPF	500,00	1039,69	713,61	4,60	0,00	0,00	500,00



Preparação do Substrato

Durante a fase de projeto e execução não foi concebido nenhum revestimento de proteção para estas lajes que seriam utilizadas como estacionamento, também não foi realizado nenhum tratamento específico neste concreto, para melhorar algumas de suas propriedades como aumento de resistência à abrasão, aumento da espessura de cobertura das armaduras, aumento do f_{ck} deste concreto.

Com a ausência de determinado tratamento, esta estrutura ao longo destes 5 anos apresentou um desgaste excessivo da espessura de cobertura das armaduras, levando a um aparecimento das mesmas, frente de carbonatação avançada e fissuração excessiva.

O objetivo principal era projetar um revestimento que fosse capaz de suportar as solicitações impostas, proteger a superestrutura dos agentes agressivos deste micro-clima propiciando um aumento de sua vida útil, carregamento compatível com aqueles considerados no cálculo estrutural com um custo de execução aceitável para a contratante.

2. Concepção do revestimento

Muitos tipos de revestimento foram propostos. Alguns foram descartados devido ao alto custo ou dificuldade de execução, pois o estacionamento não poderia ser fechado por completo, outros devido à baixa resistência à abrasão ou ao carregamento excessivo que causaria à estrutura.

A estrutura do shopping não possui um bom nivelamento de suas lajes, sendo este um fator agravante para a realização destes serviços, pois não se poderia nivelar o revestimento que seria colocado, o que causaria um aumento tanto do consumo dos insumos como do carregamento. Com isso, testou-se a utilização de um concreto auto-adensável que facilitaria tanto o acabamento superficial como o espalhamento a baixas espessuras.

Foram moldados oito corpos-de-prova, nas dimensões de $100 \times 100 \times 2,5 \text{ cm}^3$, com finalidade de se executar todos os testes que seriam necessários para a aprovação deste revestimento.

Os corpos-de-prova aplicados sobre a laje foram

divididos em grupos com duas amostras, sendo cada um executado com e sem a incorporação de fibra de polipropileno, e com as seguintes características: PA00SP chamado de padrão, sem adições e sem ponte de aderência; MS08SP com adição de 8% de microssílica em substituição ao cimento, sem ponte de aderência; MT08SP com adição 8% de metacaulim em substituição ao cimento, sem ponte de aderência;

PA00CP sem adições aplicado com ponte de aderência, sendo adotado em todos os corpo-de-prova uma cura úmida de sete dias.

De todas as amostras foram moldados 6 (seis) corpos-de-prova cilíndricos $10 \times 20 \text{ cm}^2$ para a realização de ensaios de resistência à compressão destes concretos.

As principais características deste concreto eram a sua alta fluidez e coesão, com relação água/cimento baixíssima, alcançadas com o uso de um superplastificante de 3º geração*, que age também como modificador de viscosidade, melhorando a coesão e segregação.

3. Materiais

A areia e a brita utilizados nesse estudo foram extraídos de jazidas regionais obtidos através de fornecedores locais. O cimento foi fornecido por um fabricante local e era do Tipo CII F – 32.

O superplastificante adotado era de terceira geração a base de policarboxilatos, produzido pela BASF.

4. Preparação da superfície

Foram realizados dois tipos de preparação das superfícies, uma para a estrutura nova; e outra para a estrutura que já estava em uso. Esta foi a etapa mais importante de toda a execução, pois era necessário garantir a máxima aderência entre os pisos, formando assim uma estrutura monolítica.

As superfícies das lajes que se encontravam em uso, após 5 anos, estavam cobertas por óleo, graxa, borracha, combustível, produtos químicos diversos, resultante da utilização e lavagem dos automóveis, partes de concreto mal-aderidas ao substrato oriundo das concretagens da etapa de execução da superestrutura; areia, pó resultante do atrito dos pneus com a estrutura; algumas ferragens expostas; enfim, um substrato bastante desfavorável para garantir uma perfeita aderência com o novo revestimento que ali seria executado.

As superfícies das lajes que ainda seriam liberadas para uso possuíam a presença apenas de partes de concreto mal-aderidas e sujeiras de fácil remoção, como areia, pó de madeira e outras normalmente encontradas em obras.

A superfície ideal para uma correta aderência entre os pisos deveria estar isenta de todos estes materiais citados acima e qualquer outro estranho ao sistema adotado, possuindo uma rugosidade desejável para favorecer esta interface entre o concreto novo e o velho.

Esta preparação começou com a limpeza mecânica dos concretos mal-aderidos, delimitando-se uma área de 64m² por vez, que era exatamente o tamanho de cada laje, sendo a estrutura formada por módulos de 8m x 8m. Após a realização desta limpeza mecânica, executava-se uma lavagem com equipamentos adequados com pressões de até 150bar. Esta preparação era realizada em toda a estrutura, tanto a parte que já estava sendo utilizada como a que seria liberada.

Esta primeira limpeza deixava a estrutura nova apta a receber o revestimento, mas a estrutura antiga apresentava ainda presença de óleo e faixas de pintura que existiam no piso, sendo necessária a realização de uma etapa que propiciasse uma remoção mais profunda neste sistema. Testou-se a limpeza

desta área numa etapa final com hidrojateamento de areia.

Após a realização do hidrojateamento de areia, constatou-se uma visível melhora na limpeza da superfície.

Foram orçados outros tipos de possibilidades para remoção destas marcas de óleo e pintura, como fresagem do piso, jateamento de granalha de aço, mas o mais econômico era o hidrojateamento de areia, mostrando-se bastante eficaz na realização deste serviço.

5. Execução do revestimento

Os módulos de concretagem possuíam uma área de 64m², assim como era na etapa de limpeza, coincidindo com os da superestrutura. Como o concreto era auto-adensável, esta área era delimitada por régua de alumínio ou barotes de madeira para evitar o espalhamento excessivo deste concreto.

As espessuras máximas e mínimas admitidas deste revestimento eram de 3 e 2 cm, respectivamente. O acabamento superficial era feito manualmente com desempenadeira de aço. O espalhamento quando necessário era realizado com pá, e devido à sua alta fluidez e alta coesão, não era realizado nenhuma vibração neste concreto.

O concreto era lançado diretamente sobre o substrato sem o uso de ponte de aderência, como se verificou nos resultados de aderência entre os pisos, realizado durante os testes.



Execução do piso



Piso executado

Todo o concreto foi dosado em obra, em uma betoneira de 350 litros, sendo o transporte realizado por carros-de-mão, a uma produção de 1,5m³/hora.

Sempre existia a preocupação no controle das condições do substrato, devendo estar no estado seco/saturado na hora da execução deste revestimento, pois os resultados das amostras deste revestimento se mostraram satisfatórios, como também possuía a dosagem mais econômica de todas as outras.

Como as lajes encontram-se no subsolo da superestrutura, a dificuldade em armazenar os insumos era maior, o transporte era realizado em camionetes de porte médio, trazendo-se um volume limitado de materiais para a execução do revestimento.

6. Cura

Com o elevado consumo de plastificante, o concreto teve a cura retardada, endurecimento lento nas primeiras horas e baixo calor de hidratação aparente, pois houve verificação apenas por contato físico para verificar seu aquecimento. Ausência de fissuras de retração, devido a este lento processo de hidratação, sendo esta uma das principais preocupações durante a execução do piso, pois o concreto possuía um grande consumo de cimento e baixa relação água/cimento.

A cura úmida era iniciada após 8 horas do término da concretagem, finalizando-se no sétimo dia.

7. Resultados dos ensaios

Os primeiros ensaios realizados no período de testes foram em placas concretadas com dimensões de 100x100x2,5cm³. O equipamento utilizado para a realização destes ensaios foi o TRANSUTOR*, modelo: Z2T, que possuía capacidade de tração de até 2000kgf. Foram retiradas 6(seis) corpos-de-prova de cada amostra, das 8(oito) amostras moldadas em cada substrato, novo e antigo, totalizando 16 amostras. Estes ensaios eram realizados 14(quatorze) dias após a moldagem das placas que foram utilizadas nos primeiros testes e durante toda a execução do piso. Os corpos-de-prova eram colados

ao concreto com adesivo epóxi, depois de 2(dois) dias eram efetuados os arrancamentos. Os resultados obtidos estão mostrados na tabela 5.

Observa-se que os resultados obtidos na estrutura que ainda não estava liberada para uso são maiores que o da estrutura que já estava sendo utilizada. Os resultados obtidos com ponte de aderência são maiores em ambas, mas não foi a solução adotada, devido ao alto custo despendido.

Todos os concretos dosados tiveram tanto o controle à aderência entre os pisos como a resistência à compressão, não sendo esse o fator determinante para a escolha do traço a ser utilizado, pois todos os outros se mostraram com elevada resistência.

Durante os testes para a escolha do revestimento existia a preocupação de garantir a máxima aderência possível entre os concretos, primeiramente para evitar o uso de ponte de aderência que poderia inviabilizar a obra; segundo ponto importante era garantir que a estrutura ao receber o carregamento tivesse comportamento monolítico, considerando o concreto de revestimento mais como uma recuperação estrutural do que como um simples revestimento.

8. Juntas de movimentação

As juntas foram posteriormente cortadas a execução do piso, cerca de 3(três) dias, e foram locadas de acordo com as deformações máximas

Tabela 2 – Resultado do ensaio de resistências a aderência e a compressão

Traços	Ensaio de Aderência										Resistência à compressão Fck
	Substrato novo					Substrato antigo					
	Aderência Média (MPa)	N	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Amplitude	Aderência Média (MPa)	N	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Amplitude	
PAOOSP	3,15	6	0,35	0,11	0,99	2,50	6	0,13	0,05	0,33	59,40
PAOOSPF	2,39	6	1,06	0,44	2,80	2,36	6	0,27	0,11	0,79	60,80
MSO8SP	3,32	6	0,16	0,04	0,39	2,78	6	0,08	0,06	0,22	67,72
MSO8SPF	3,01	6	0,38	0,13	1,07	2,72	6	0,27	0,07	0,54	65,10
MTO8SP	3,44	6	0,13	0,04	0,31	2,78	6	0,08	0,03	0,22	71,10
MTO8SPF	3,10	6	0,43	0,14	1,15	2,86	6	0,39	0,14	2,18	69,93
PAOOCF	3,26	6	0,38	0,12	1,03	2,42	6	0,87	0,32	2,18	-
PAOOCPF	2,71	6	0,31	0,11	0,94	2,42	6	0,35	0,14	1,05	-

da superestrutura, estando situadas nos eixos de momentos fletores máximos negativos e positivos. Após a cura de sete dias do piso, esperava-se a secagem natural do revestimento para aplicação de selante de poliuretano auto nivelante*.

9. Considerações finais

Neste trabalho foi apresentada a possibilidade de recuperação de recobrimento de pisos com uso de concreto reodinâmico. Este estudo possibilitou a recomposição de estruturas que sofreram desgastes excessivos. Concretos com baixa relação água/cimento dosados com plastificantes de 3ª geração propiciaram um controle da retração, coesão, viscosidade, resistência e altíssima trabalhabilidade. Os valores alcançados de aderência entre os pisos mostraram a eficiência alcançada pelo sistema sem ponte de aderência, com controle do substrato seco/saturado, chegando a valores da ordem de 2,5MPa, podendo-se considerar um sistema monolítico para resistir às solicitações mecânicas da estrutura.

Apesar de valores de aderência elevados e limpeza rigorosa do substrato, o piso antigo que já estava em uso, não obteve os mesmos resultados do piso sem uso. São necessários mais dados para serem correlacionados, como pressão exercida pelos equipamentos de limpeza, carbonatação, corrosão das armaduras, reação química entre os concretos de substrato e de revestimento, entre outros.

Todos os valores de aderência dos corpos-de-prova que tiveram fibras de polipropileno

incorporadas foram menores. Provavelmente, estas fibras se aglomeraram na interface entre os concretos, desfavorecendo a aderência entre os pisos. Possivelmente com incorporações de menores taxas de fibra não haja interferência nesta interface. A resistência à compressão não foi alterada com a incorporação de fibras.

Os valores de aderência e resistência mecânica dos concretos sem ponte de aderência que tiveram adições de metacaulim foram os maiores. As reações pozolânicas destas adições favoreceram estas propriedades do concreto auto-adensável.

Todas as amostras que tiveram uso de ponte de aderência melhoraram os seus resultados no ensaio de arrancamento.

A maioria dos ensaios ocorreu após 2(dois) dias de efetuada a colagem dos corpos-de-prova (placas quadradas para acoplamento ao aparelho), tendo como consequência disso o rompimento na colagem entre o corpo-de-prova ao concreto, na cola epóxi.

O uso de endurecedores de superfície para concretos com alta resistência mostrou-se pouco eficaz. Uma das características de reação entre o fluorsilicato de magnésio e o hidróxido de cálcio é o esbranquecimento da superfície, onde se verificou “in loco” poucas áreas com esta característica.

Agradecimentos

Agradecimentos a Rehabilitar Engenharia Ltda, empresa executora dos serviços e o Shopping Tambiá. ♦

Principais aplicações de resíduos de construção e demolição (RCD) visando a redução e o reaproveitamento

Rodrigo Rodrigues da Cunha • *Supermix Concreto S/A*
Leila de Fátima Oliveira de Jesus, Roberta Camilo Teles • *Faculdade Ideal – FACI*

1. Introdução

A geração e disposição de resíduos e entulhos são grandes contribuintes à degradação ambiental. É importante que gestores de construtoras tenham consciência e conhecimento do que se tem feito e o que se pode fazer com os resíduos e entulhos gerados, assim como da legislação pertinente relacionada ao tema.

A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Já, a Resolução Conama 313, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, obriga as indústrias a fornecerem aos estados as informações “sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados no país” - aprovada em outubro de 2002.

No passado, as organizações se preocupavam apenas com a eficiência do modelo do sistema produtivo, para se tornarem competitivas no mercado. Atualmente, a noção de competitividade das empresas é totalmente diferente, pois o contexto mudou, com o alargamento da noção de desenvolvimento,

passando a importar a sustentabilidade das atividades econômicas, surgindo assim a consciência ecológica. As ações empreendidas pelas empresas em adotar novos sistemas de gerenciamento dos recursos para minimizar ou mesmo eliminar o dano ao meio natural em que atuam passou a contar como critério de competitividade.

Quanto antes as organizações visualizarem a questão ambiental como um fator de oportunidade competitiva, melhor para a durabilidade de seu ciclo de vida e para sua lucratividade. Ao contrário, as empresas que não se adequarem ao novo modelo de gestão muito provavelmente entrarão em decadência, ficando dessa forma esquecidas no passado.

1.1 PROBLEMA ANALISADO

As empresas de construção civil têm reaproveitado seus resíduos em aplicações diversificadas. Mesmo aquelas que não possuem sistema de gestão ambiental implantado podem atuar com medidas pró-ativas no que se refere aos resíduos que geram. Por isso, torna-se interessante uma pesquisa sobre tais condutas, para que sirva de benchmarking – marco de referência – quanto à

gestão e manipulação de resíduos e entulhos da construção civil.

Verificar o que as empresas têm feito com os resíduos gerados, suas aplicabilidades, formas de acondicionamento e gestão torna-se fundamental nos dias atuais. Esta pesquisa resultará em uma coletânea de informações sobre as principais aplicações de resíduos e de como as construtoras – no caso da pesquisa, as da cidade de Belém, no Pará – estão se portando neste quesito, quais medidas estão tomando e que sugestões de minimização oferecem.

Para as construtoras que ainda não adotam medidas de gestão de resíduos, a pesquisa serve para disponibilizar informações de como começar a tomar ações nesse sentido.

Primeiramente, torna-se importante questionar: Quais as aplicações dos resíduos de construção e demolição (RCD) em nível nacional?

2. Resíduos RCD de construções e demolições – entulho de obra

Os RCD, comumente chamados entulho, são gerados durante a construção, a remodelação (reforma), ou a demolição de prédios (residenciais ou comerciais), estradas, pontes, piers, barragens e demais obras de construção civil, em geral.

Sua composição é muito variável, dependendo basicamente da natureza de cada obra, mas, de um modo geral, costuma-se considerar que o entulho é constituído de tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.

A verificação das aplicabilidades de resíduos e entulhos de construção civil levou em consideração o seguinte fluxo das atividades (veja ilustração abaixo).



Como sugestão de gestão de resíduos, especificam-se as seguintes etapas:

- ◆ Identificação das fontes geradoras (locais onde os resíduos são gerados);
- ◆ Classificação dos resíduos, conforme legislação específica para identificação de procedimentos que vão desde a coleta até sua disposição final;
- ◆ Avaliação de disponibilidade de comunidade vizinha em receber os resíduos (avaliar a disponibilidade de incineradores, mercado de compra de materiais recicláveis etc);
- ◆ Verificação do que a empresa pode fazer (no que se refere a montar procedimentos não disponíveis em comunidades vizinhas); proceder coleta seletiva;
- ◆ Determinação da forma de armazenamento temporário, conforme as normas NBR 11174 – Armazenamento de resíduos Classe IIA (não inertes) e Classe IIB (inertes); e NBR 12235 – Armazenamento de resíduos perigosos;
- ◆ Determinação da forma de disposição final, levando em consideração ações de reciclagem, recuperação de resíduos, reutilização direta, incineração, tratamento químicos, físicos ou biológico, e ainda procedimentos de tecnologia limpa – redução na fonte.

2.1 A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS

A reciclagem, além de representar uma redução de até 75% (setenta e cinco por cento) do custo da remoção e do tratamento de doenças para o município, produz uma cadeia de benefícios de relevante importância: estende o tempo de vida útil dos aterros; preserva os recursos naturais; transforma uma fonte de despesa em fonte de receita; e impede a contaminação de novas áreas de despejo.

Quadro 1: Tipos de resíduos

Resíduos	Empresas (%)
Resto de ferragem/similares	80%
Papel/saco de cimento/similar	100%
Resto de madeira/similar	100%
Caco de tijolos/similar	100%
Resto de lajota/granito/cerâmica	80%
Resto de argamassa/similar	80%
Resto de fios de eletricidade/similar	20%
Resto de tubo PVC/similar	80%
Resto de tinta/massa/galões	100%
Isopor	20%

Fonte: Dados coletados em campo

2.2 ALGUMAS APLICAÇÕES DOS MATERIAIS PROVENIENTES DA RECICLAGEM DE ENTULHOS

Citam-se duas aplicações básicas dos RCDs:

a) Utilização em pavimentação: a

forma mais simples de reciclagem do entulho, utilizando-o na base, sub-base ou revestimento primário, na forma de brita corrida ou ainda em mistura de resíduos com solo. Vantagens:

- ◆ É a forma de reciclagem que exige menor utilização de tecnologia e que implica em menor custo no processo;
- ◆ Permite a utilização de todos os

Quadro 2: Aplicações de resíduos

Resíduos	O que as empresas fazem	Empresas
Ferragem/similares	Reutilização em malha para concreto em alvenaria, tampa, outros	50%
	Vende para sucata	50%
Papel/saco de cimento/similar	Reaproveitamento do saco de cimento para tampar boca de eletroduto, para servir como saco de lixo – a sobra vai para o lixo.	20%
	Vende para reciclagem	20%
	Entulho	60%
Madeira/similar	Reutilizada em outras obras.	40%
	Entulho	60%
Caco de tijolos/similar	Reutilizada em lajes desniveladas e preparação de contra-piso	20%
	Entulho	80%
Lajota/granito/cerâmica	Reutilizado em preparação de contra-piso	50%
	Entulho	50%
Argamassa/similar	Entulho	100%
Fios de eletricidade/similar	Vende	100%
Tubo PVC/similar	Aperto de pilares	25%
	Entulho	75%
Tinta/massa/galões	Entulho	100%
Isopor	Entulho	100%

Fonte: Dados coletados em campo

componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areias, pedras etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;

- ◆ Economia de energia no processo de moagem do entulho em relação à sua utilização em argamassa;
- ◆ Possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/trituração;
- ◆ Maior eficiência do resíduo quando adicionado aos solos saprolíticos (solos residuais jovens), em relação à mesma adição feita com brita.

b) Utilização como agregado para

o concreto: o entulho processado pelas usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para o concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (brita/seixo e areia). Vantagem:

- ◆ Possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza de baixo consumo de cimento.

No que se refere aos dados primários foram realizadas pesquisas junto às empresas de construção civil, através da aplicação de questionário com perguntas abertas e fechadas, com o objetivo de diagnosticar as aplicações de RCD e verificar as sugestões de minimização do impacto de disposição dos resíduos no meio ambiente. A pesquisa foi realizada em empresas de médio porte, que trabalham com obras prediais, contemplando uma amostra significativa do segmento.

Foram visitadas 10 (dez) empresas, mas apenas a Marko Engenharia Ltda permitiu divulgação de seus resultados.

3.1 PERGUNTAS E RESULTADOS OBTIDOS

1. Que tipo de resíduos as obras geram?

(veja o Quadro 1)

2. Para cada resíduo gerado, como a empresa dispõe este resíduo?

(veja o Quadro 2)

3. Existe algum programa de gestão de resíduos objetivando sua redução?

(veja o Quadro 3)

Quadro 3: Programa de gestão resíduos

Programas	Empresas (%)	Qual
Sim	20%	Desperdício zero
Não	80%	
Total	100%	

Fonte: Dados coletados em campo

Quadro 4: Conscientização dos operários

Conscientização dos operários	Empresas (%)	Qual
Sim	20%	Palestras
Não	80%	
Total	100%	

Fonte: Dados coletados em campo

Quadro 5: Coleta seletiva

Coleta seletiva	Empresas (%)
Sim	20%
Não	80%
Total	100%

Fonte: Dados coletados em campo

Quadro 6: Interesse em implantar PGR

Interesse em implantar PGR	Empresas (%)
Sim	100%
Não	-
Total	100%

Fonte: Dados coletados em campo

4. Os operários são orientados e conscientizados à reduzir os resíduos?

(veja o Quadro 4)

5. Existe uma destinação definida para cada tipo de resíduo?

(veja o Quadro 5)

6. Existe interesse em implantar programa de redução de resíduo?

(veja o Quadro 6)

4. Conclusão

Todas as empresas visitadas têm interesse em implantar programas de gestão de resíduos, focados na necessidade da coleta seletiva e na posterior reciclagem ou redução na fonte, com o objetivo do desperdício zero.

Parcerias com universidades e prefeituras podem servir de incentivo para que essas empresas adotem tais programas, assim como a divulgação de pesquisas sobre os tipos de aplicabilidades e seus retornos financeiros. A pesquisa mostrou que muito se tem que ainda fazer nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] SENAI DN. Estudo Setorial da Construção Civil: Características Estruturais do Setor. Rio de Janeiro, 1995, p.(projeto Estratégico NA.11. Documento, 1), 128p.
- [02] Blumenschein, Raquel Naves e Sposto, Rosa Maria. Projeto de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras. Universidade de Brasília e pelo Sindicato da Indústria da Construção do Distrito Federal, 2003.
- [03] KINLAW, Dennis C. Empresa competitiva e ecológica: desempenho sustentado na era ambiental. São Paulo: Makron Books, 1997. 250p.
- [04] BARBIERE, José Carlos. Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Saraiva, 2004.
- [05] CONAMA – Resíduos da construção civil, Ministério do Meio Ambiente, MA, Proposta de Resolução, Brasília, 2002. ◆

Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto “Sistemas de Formas e Escoramentos: Alternativas e Escolha da Melhor Solução”

Junho, 19, 2009

Fábrica da PERI BRASIL FORMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES,
Vargem Grande Paulista, SP

OBJETIVO

Discutir a escolha dos sistemas de formas e escoramentos para a melhor produtividade e qualidade das obras. Apresentar as alternativas para cada tipo de estrutura e critérios de escolha de cada sistema. Apresentar as vantagens de cada sistema do ponto de vista da produtividade e do acabamento de elementos de concreto arquitetônico.

PROFESSOR

Eng. Martín E. Sola - Gerente Peri

CARGA HORÁRIA

4 horas

Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto “Concreto Auto-Adensável (CAA) e suas Aplicações” Parte I

Junho, 22, 2009

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, SP
Patrocinador: Sika – **Apoio:** IPT

OBJETIVO

Apresentar a tecnologia do concreto auto-adensável (CAA), através de cases das mais diversas aplicações, com enfoque nos aspectos de produção e viabilidade técnico-econômica

PROFESSORES

Arcindo Vaquero y Mayor
Manfredo Belohuby
Ricardo Alencar

CARGA HORÁRIA

8 horas - correspondentes a 8 créditos do Programa MasterPEC.



INFORMAÇÕES

Marta

Tel. 11-3735-0202

e-mail: marta@ibracon.org.br | site: www.ibracon.org.br



Curitiba sedia o 5º CINPAR

Entre os dias 11 e 13 de junho, o Instituto Brasileiro do Concreto (Ibracon), Instituto IDD e o Instituto de Estudos de Materiais da Construção (IEMAC) realizam, em Curitiba, o 5º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas (CINPAR). O congresso deverá reunir cerca de 500 pessoas, entre profissionais, estudantes, professores e pesquisadores que atuam no âmbito da engenharia e arquitetura.

Entre os principais palestrantes estão profissionais atuantes no mercado internacional como: Eduardo Ballán (Espanha), Humberto Varum (Portugal), Petr Stepanek (República Tcheca) e Thomaz José Ripper Barbosa Cordeiro (Portugal).

Outro destaque será a palestra do presidente da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece), eng. Thomas G. Carmona, sobre a Inspeção, recuperação e proteção do cais do Terminal Graneleiro do Guarujá – SP, onde serão abordadas suas características estruturais, o aumento de sua capacidade de carga, os ensaios realizados e a tipificação dos danos, entre outros aspectos. A palestra abrirá a seção plenária de exposição de artigos. O 5º CINPAR acontecerá



no hotel Four Points Sheraton Curitiba.

Cursos de curta duração

Durante a realização do evento, cursos de curta duração, com carga horária de 6 horas/aulas, serão oferecidos aos congressistas. Veja a programação no site www.cinpar2009.com.br

Expositores

O 5º CINPAR vai contar com uma área de exposição, onde doze empresas do setor construtivo apresentarão as últimas novidades em tecnologias para a recuperação de estruturas de concreto.

“Acredito que é uma oportunidade única de ampliação do conhecimento técnico, trata-se de um dos assuntos mais importantes da engenharia - Patologia das Construções – e, além disso, estarão presentes grandes nomes da engenharia nacional e internacional que atuam nesse setor”, comenta o diretor técnico da Solução Engenharia Ltda, Otávio de Borba Vieira.

CT-MAB realiza seu nono Seminário

Nos dias 16 e 17 de junho, será realizado o IX Seminário de Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil, evento que discutirá a sustentabilidade no setor construtivo brasileiro. O Seminário é uma realização do Comitê IBRACON de Meio Ambiente, que busca incentivar, discutir e disseminar as pesquisas, desenvolvimentos e inovações que objetivem reduzir os impactos ambientais da construção civil no meio ambiente.

Na pauta do evento estão temas como: os resíduos sólidos da indústria, mineração e construção civil e o meio ambiente; o gerenciamento dos resíduos de demolição e construção; a tecnologia dos materiais e a sustentabilidade; o Mecanismo

do Desenvolvimento Limpo na engenharia civil; a gestão ambiental e as políticas públicas na construção civil; e os Green buildings.

“Hoje a iniciativa privada, a academia e o poder público entendem que o desenvolvimento não pode se pautar apenas pelo seu aspecto econômico; as gerações futuras vão se lembrar de nós como aquela que fez a diferença ou aquela que destruiu o planeta”, ressalta o professor Salomon Levy, coordenador do CT-MAB.

O local do evento será o Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Mais informações: www.ibracon.org.br

Regional IBRACON Ceará realiza as Jornadas de Engenharia

O Instituto de Estudo dos Materiais de Construção (IEMAC), a Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) e o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) realizarão nos dias 19 e 20 de junho de 2009, em Fortaleza, as Jornadas de Engenharia.

As Jornadas de Engenharia são uma importante oportunidade aos profissionais da engenharia civil e da arquitetura para aquisição de novos conhecimentos, novas técnicas e novas tecnologias.

Estão confirmadas as participações dos seguintes professores e pesquisadores,:

- ◆ Prof. Paulo R. do Lago Helene (POLI – USP – Brasil)
- ◆ Prof. Bernardo F. Tutikian (UNISINOS / UNIVATES – Brasil)
- ◆ Prof. Eliana C. B. Monteiro (POLI – UPE / UNICAP – Brasil)
- ◆ Prof. Aníbal Guimarães da Costa (UA – Portugal)
- ◆ Prof. Carlos H. Siqueira (Ponte Rio – Niterói – Brasil)
- ◆ Eng. Ricardo Faria (Vedacit – Otto Baumgart – Brasil)
- ◆ Prof. Gibson Rocha Meira (IFPB – Brasil)



- ◆ Prof. Humberto Salazar Varum (UA – Portugal)
- ◆ Profª. Maryangela Geimba de Lima (ITA – Brasil)
- ◆ Prof. César Henrique Daher (Instituto IDD – Brasil)

Mais informações, acesse: www.sobral.org/jornadas2009

Encontro de empresários define futuro corporativo

O *Corp Management – Congresso Nacional de Gestão Corporativa* vai acontecer dia 9 de julho, no Centro de Convenções da Firjan, no Rio de Janeiro. O evento, apoiado pelo IBRACON, vai discutir as principais tendências, desafios e oportunidades para o mercado corporativo brasileiro no segundo semestre deste ano.

Segundo Cristiano Lagôas, presidente do Corp Management, “o atual momento econômico global está agindo diretamente nas relações de consumo, investimento e empregabilidade no Brasil”. “Por conta disso, esse encontro visa debater os rumos que envolvem a alta administração, assim como as áreas de marketing, comercial, relações com o cliente,

finanças e recursos humanos”, completa.

Entre os principais líderes empresariais, estarão presentes: Eduardo Paes (Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro); Wagner Pinheiro (Presidente da Petros); Norberto Chadad (CEO da Catho); Dr. Luiz Roberto Londres (Presidente da Clínica São Vicente); Manoela Amaro (Diretora de Marketing da TAM); Henrique Gonzales (Diretor de RH da Shell); Luciano Siani (Diretor Mundial de RH e Governança VALE).

Quem quiser participar, deve se inscrever através do telefone RJ (21) 3286-9000 | SP (11) 3522-1094 ou site www.corpevents.com.br.

A expectativa é ter mais de mil pessoas presentes. ◆

Confinamento em colunas mistas curtas de aço e concreto: avaliação experimental da influência do diâmetro e espessura do tubo

Ana Elisabete P.G.A Jacintho • *Professora-doutora*
Renato Simões • *PROGEN*
Rosa Cristina Cecche Lintz • *Professora-doutora*
CEATEC – PUC Campinas

Luísa Andréia Gachet Barbosa • *Professora-doutora*
CESET-UNICAMP

João A. V. Requena • *Professor-associado*
FEC-UNICAMP

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi estudar a influência da espessura do tubo de aço e o diâmetro da coluna no efeito do confinamento presente nos pilares mistos tubulares curtos preenchidos com concreto de resistência convencional, verificando assim como e quanto há de interação entre o tubo metálico e o concreto de preenchimento sob o efeito de carga axial de compressão, comparando-o assim com os métodos de dimensionamentos propostos pelo EUROCODE 4 (1994) e pela especificação americana AISC-LRFD (1999). Para o estudo inicial foram ensaiados quatro modelos, de diferentes diâmetros e espessuras, mas com altura padrão de 300(mm). Com isso, pôde-se verificar que o confinamento existe nessas estruturas, entretanto a norma europeia superestima esse efeito na sua consideração em projeto.

Palavras-chave: Confinamento, Pilares Mistos, Pilares Curtos, Aço, Concreto

Abstract

The principal aim of this research was to study the influence of thickness of steel tube and the column diameter in the confinement effect in the short composite columns of steel filled with conventional concrete, verifying this way how and how much exists of material interaction between steel and concrete under effect of compression axial load, comparing the experimental results with the standard appointments of EUROCODE 4 (1994) and AISC-LRFD (1999). For the initial study were tested four specimens of different diameters and thickness however with standard height of 300mm. Thus could be verified that the confinement exist in this structural elements but the European standard overestimate this effect when it considered in structural design.

Keywords: Confinement, Composite Column, Short Column, Steel, Concrete

1. Introdução

A necessidade de novas tecnologias se faz diariamente, pois o mercado da construção civil está cada vez mais exigindo novos produtos com custos menores e de fácil aplicação. As estruturas mistas de aço e concreto há algum tempo vêm conquistando espaço no mercado da construção civil, em virtude das vantagens que apresentam como, por exemplo, a interação entre os materiais aço e concreto, possibilitando, desta forma, o aumento da capacidade resistente dos elementos estruturais, além de sua fácil aplicação. Sendo assim, torna-se viável que os custos e prazos fiquem cada vez menores, sem que haja comprometimento da qualidade e da integridade estrutural das edificações.

Devido ao seu alto grau de esbeltez e elevada rigidez, os pilares mistos, em especial os tubulares de aço preenchidos com concreto, são elementos estruturais que estão sendo mais utilizados na arquitetura moderna, principalmente em áreas com grandes atividades sísmicas, como Japão, Estados Unidos e China.

Segundo CIDECT Design Guide No. 5 (1991), existem alguns aspectos qualitativos que são vistos por Arquitetos e Engenheiros tais como:

- ◆ Esbeltez com maior capacidade resistente;
- ◆ Estrutura metálica aparente possibilitando pinturas diversas;
- ◆ Fácil aplicação do concreto de preenchimento;
- ◆ Maior velocidade de montagem devido à diminuição do tempo de cura do concreto;
- ◆ Maior capacidade resistente ao fogo;
- ◆ Raramente apresentam problemas relacionados às ligações entre os elementos.

Quando o aço e o concreto trabalham em conjunto (estrutura híbrida), sem que haja a separação dos materiais, verifica-se um aumento na capacidade resistente do elemento misto, quando comparado com a soma das capacidades resistentes isoladas do aço e do concreto.

Para Knowles & Park (1969), a principal vantagem do uso de colunas tubulares metálicas preenchidas com concreto é o fato das mesmas estarem sujeitas à tensão de confinamento que aumentam a capacidade resistente à compressão do núcleo de concreto em relação ao concreto não confinado. No entanto, o comportamento de tubos metálicos preenchidos com concreto pode variar de acordo com o método no qual as solicitações de forças são feitas. Essencialmente, há três métodos de aplicação de força:

- ◆ **Força no tubo, mas não no concreto:** Esse tipo de solicitação não aumenta a capacidade resistente axial da coluna mista. O tubo, quando solicitado sozinho, tende a expandir lateralmente e, com isso, ocorre o descolamento das superfícies de contato entre o concreto e o tubo. O concreto de preenchimento apenas contribui na contenção das deformações locais das paredes dos tubos, aumentando desta forma, a capacidade resistente às solicitações de flexão.
- ◆ **Força no concreto, mas não no tubo:** Em virtude do vínculo que existe entre a superfície de contato do tubo e do concreto, solicitando somente o concreto, as tensões longitudinais passarão a existir no tubo e, conseqüentemente, as tensões transversais começarão a atuar na seção mista. Sendo assim, o tubo passa a ser solicitado biaxialmente, reduzindo a capacidade de absorção de força na direção circunferencial. Essa diminuição na capacidade de absorção de força circunferencial do tubo metálico trará, como conseqüência, a redução na pressão de confinamento do concreto, reduzindo, desta forma, a força última que a seção pode resistir. Portanto, solicitando somente o concreto, a capacidade resistente da coluna mista será menor do que quando solicitamos o tubo e o concreto de preenchimento na seção mista.
- ◆ **Força no concreto e no tubo, porém com as deformações longitudinais dos materiais sendo as mesmas:** Esse é o método que, provavelmente, será o mais empregado nas construções. Para que o concreto fique sujeito a um estado triaxial de tensões e a instabilidade não ocorra antes do surgimento da pressão de confinamento, é necessário que as paredes dos tubos sejam grossas e que o pilar misto não seja esbelto.

O confinamento, resultado do envolvimento do concreto com tubo metálico de seção circular, retangular ou quadrada, ainda é objeto de estudo, pois a análise experimental é de grande dificuldade, tanto para este estudo como para estudos realizados por outros pesquisadores, principalmente nos tubos de seções retangulares e quadradas.

A combinação da pressão lateral e da compressão axial no concreto resulta em um estado triaxial de tensões, enquanto que o tubo fica tensionado biaxialmente. As deformações

Tabela 1 – Séries e dimensões dos pilares mistos

SÉRIES	DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)
1, 10, 100	114,3	6,0	300
2, 20, 200	114,3	8,6	300
3, 30, 300	141,3	6,3	300
4, 40, 400	168,3	7,2	300

transversais causadas pela pressão lateral que age em sentido contrário à tendência do concreto de expandir lateralmente são o resultado do aumento da capacidade resistente do elemento misto. Desta forma, a capacidade de força correspondente ao elemento misto é maior do que a soma das capacidades resistentes do aço e do concreto separadamente.

Como a distribuição da pressão lateral do concreto nas seções transversais circulares é uniforme e nas seções transversais quadradas e retangulares, não, observa-se o efeito do confinamento com maior evidência nos tubos de seções circulares.

De acordo com Shams & Saadeghvaziri (1997), as vantagens das colunas mistas circulares de aço e concreto são:

- ◆ Excelente comportamento sob força axial e aumento da capacidade resistente à flexão;
- ◆ Alta capacidade resistente às ações de cisalhamento provenientes das forças atuantes na estrutura, as quais são transmitidas aos pilares mistos por meio de conexões entre os elementos que constituem a estrutura como um todo;
- ◆ Grande ductilidade;

- ◆ Com tubos de paredes grossas, grande capacidade resistente para a força crítica de flambagem, comportamento favorável com relação à instabilidade do pilar;
- ◆ O tubo metálico serve como armadura para o concreto de preenchimento.

Por isso, objetivou-se neste trabalho o estudo de tubos metálicos de seção circular, sem costura, laminados e preenchidos com concreto, realizando ensaios experimentais físicos, onde foram analisados o comportamento força – deformação do concreto confinado, o comportamento força – deformação do tubo de revestimento, o acréscimo da capacidade resistente do pilar misto em função do confinamento do concreto e as parcelas de resistência atribuídas ao perfil tubular e ao concreto de preenchimento, com os resultados obtidos dos ensaios.

2. Metodologia

Utilizou-se para esta pesquisa experimental tubos de aço com seção transversal circular sem costura e concreto com cimento CP-V. As variáveis deste estudo foram o diâmetro do tubo e a sua espessura. Foram utilizados: três diâmetros (114,3; 141,3 e 168,3 milímetros) e quatro espessuras distintas (6,0; 8,6; 6,3 e 7,2 milímetros). No caso do concreto, foi fixado a resistência característica à compressão em 25 MPa, por ser um concreto convencional.

Para a elaboração das séries, foram selecionados tubos com as dimensões descritas na tabela 1 (diâmetro externo, espessura e comprimento).

As propriedades mecânicas destes tubos, indicadas pelo fabricante são: módulo de elasticidade $E = 205000 \text{ N/m}^2$, coeficiente de Poisson

Tabela 2 – Módulo de elasticidade e tensão de escoamento dos tubos metálicos

SÉRIES	DESCRIÇÃO mm	MÓDULO DE ELASTICIDADE MPa	TENSÃO DE ESCOAMENTO MPa	DEFORM. ESPECIF. NO ESCOAMENTO ‰
1, 10, 100	114,3 x 6,0	206419,6	305,1	1,48
2, 20, 200	114,3 x 8,6	187375,5	331,5	1,77
3, 30, 300	141,3 x 6,3	206921,2	324,8	1,57
4, 40, 400	168,3 x 7,2	202145,7	389,0	1,92

Figura 1 – Concretagem dos tubos e posicionamento dos *Strain gages* no concreto



$\nu = 0,3$ e limite de escoamento de, aproximadamente, 300 MPa. Estas propriedades foram testadas no laboratório e comparadas com as fornecidas pelo fabricante. Os resultados dos ensaios podem ser vistos na tabela 2.

As séries mostradas na tabela 1 foram montadas com o objetivo de selecionar tubos que tivessem dimensões usuais no mercado da construção civil e as espessuras variassem de forma a permitir a comparação entre as relações diâmetro/espessura. As séries 1, 2, 3 e 4 são os ensaios inéditos

Figura 2 – Sistema de aplicação de força para os pilares mistos



Figura 3 – Instrumentação externa dos pilares mistos



e as séries 10, 100, 20, 200, 30, 300, 40, 400 são as repetições dos ensaios das séries 1, 2, 3 e 4.

Todos os tubos foram cortados com 300 mm de altura e faceados em torno mecânico para se evitar excentricidades no carregamento.

2.1 CONCRETAGEM DOS TUBOS

A figura 1 mostra o posicionamento dos *strain gages* instalados no concreto internamente ao tubo de aço. Houve uma grande preocupação em garantir que os mesmos se mantivessem na posição vertical durante a concretagem. Todos os tubos foram preenchidos até, aproximadamente, 50% do volume total e adensados manualmente para o posterior preenchimento total.

A figura 2 mostra o sistema que foi usado para aplicação de força nos pilares mistos. O acessório utilizado para nivelamento dos protótipos foi um tubo metálico preenchido com concreto com capacidade resistente à compressão de, aproximadamente, 750 toneladas, projetado segundo o projeto de revisão da NBR

Figura 4 – Pilares Mistos já ensaiados para estudo do efeito do confinamento



8800 (2003). A superfície de contato de todos os acessórios foram faceadas para conseguir o máximo de nivelamento e, assim, evitar excentricidades geradas pelo sistema de aplicação de força. O macaco hidráulico foi posicionado na parte superior do pórtico de ensaios, juntamente com a célula de carga, e, na parte inferior, foi posicionado o tubo metálico usado para nivelar os protótipos de ensaio até a célula, para que fossem medidos os níveis de carregamento.

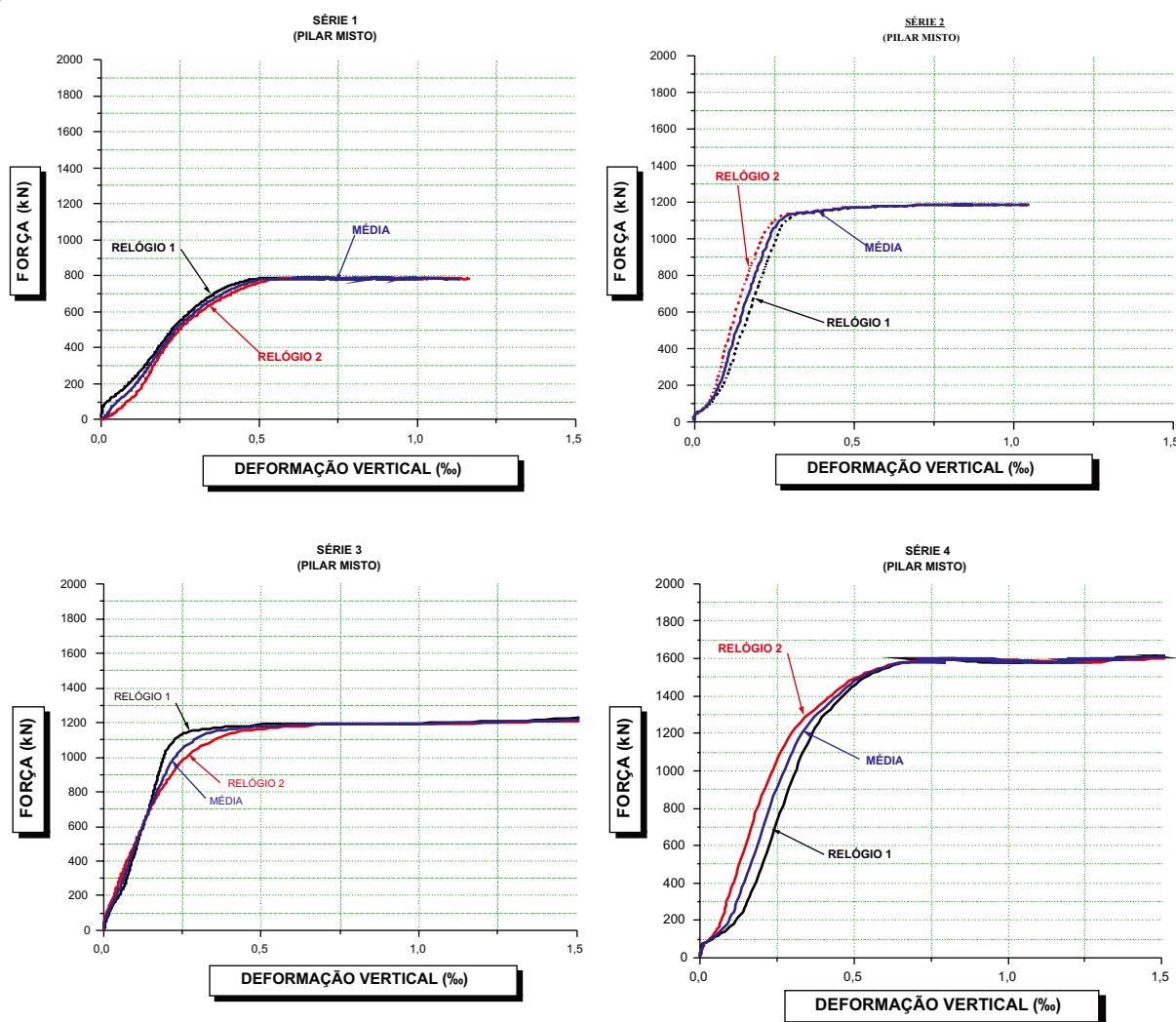
Os pilares foram ensaiados, sendo a instrumentação externa feita conforme mostra a figura 3. Além dos *strain gages* instalados no concreto de preenchimento (figura 1), foram colocados *strain gages* verticais e horizontais na parede externa do tubo metálico. Além disso, dois relógios comparadores também foram usados com o objetivo de calibrar o carregamento e de analisar os deslocamentos dos pilares mistos.

A figura 4 mostra os pilares já ensaiados. Um total de 12 pilares mistos foram ensaiados, divididos em séries conforme mostra a tabela 1. Em todos os ensaios, a aplicação da força de compressão nos pilares mistos ocorreu até o momento em que se observou um excesso de deformação plástica na parede dos tubos.

3. Análise dos resultados

Os dados obtidos nos ensaios dos pilares mistos, cujo objetivo foi avaliar o efeito do confinamento, são apresentados na forma de gráficos, que apresentam em sua ordenada os valores de força com a unidade no sistema internacional e, na abscissa, estão os valores de deformação específica.

Figura 5 – Deformação vertical do pilar misto



Para a determinação da deformação vertical do pilar misto, utilizaram-se dois relógios comparadores conectados diretamente ao aquisitor de dados; os valores (deslocamentos) lidos são divididos pelo comprimento total dos protótipos de pilares curtos, padronizado em 300mm. Os resultados destas deformações estão mostrados nos gráficos da figura 5.

A deformação transversal foi medida por *strain gages* colados em três pontos na altura média dos tubos, aproximadamente na mesma posição dos *strains gages* que mediram a deformação vertical. Os gráficos podem ser vistos na figura 6.

Na figura 7, foi feita a sobreposição dos gráficos das séries 1, 2, 3 e 4, com os respectivos comportamentos dos materiais trabalhando isoladamente e de forma mista, o que permite claramente verificar os acréscimos nas capacidades resistentes dos elementos, aliada ao efeito do confinamento. A capacidade resistente dos

pilares mistos relacionada ao escoamento do aço podem ser observadas nesta figura. Para o mesmo nível de carregamento, o tubo metálico e o concreto de preenchimento começam a apresentar deformação longitudinal e transversal maiores. A partir deste momento, a seção mista ainda mostra capacidade resistente para suportar níveis de carregamento maiores, porém com deformações muito mais acentuadas.

Ainda na figura 7 é possível observar que o tubo metálico para as séries 1 e 2 é quem recebe uma parcela maior de força em relação ao concreto, até que o mesmo atinja o escoamento. Para as séries 3 e 4 ocorreu uma inversão, onde o concreto foi quem mais absorveu mais força no início do carregamento e manteve esta absorção, mesmo depois do escoamento do tubo metálico. A partir do escoamento do tubo metálico, o mesmo transfere a força excedente para o

Figura 6 – Deformação transversal do tubo preenchido com concreto

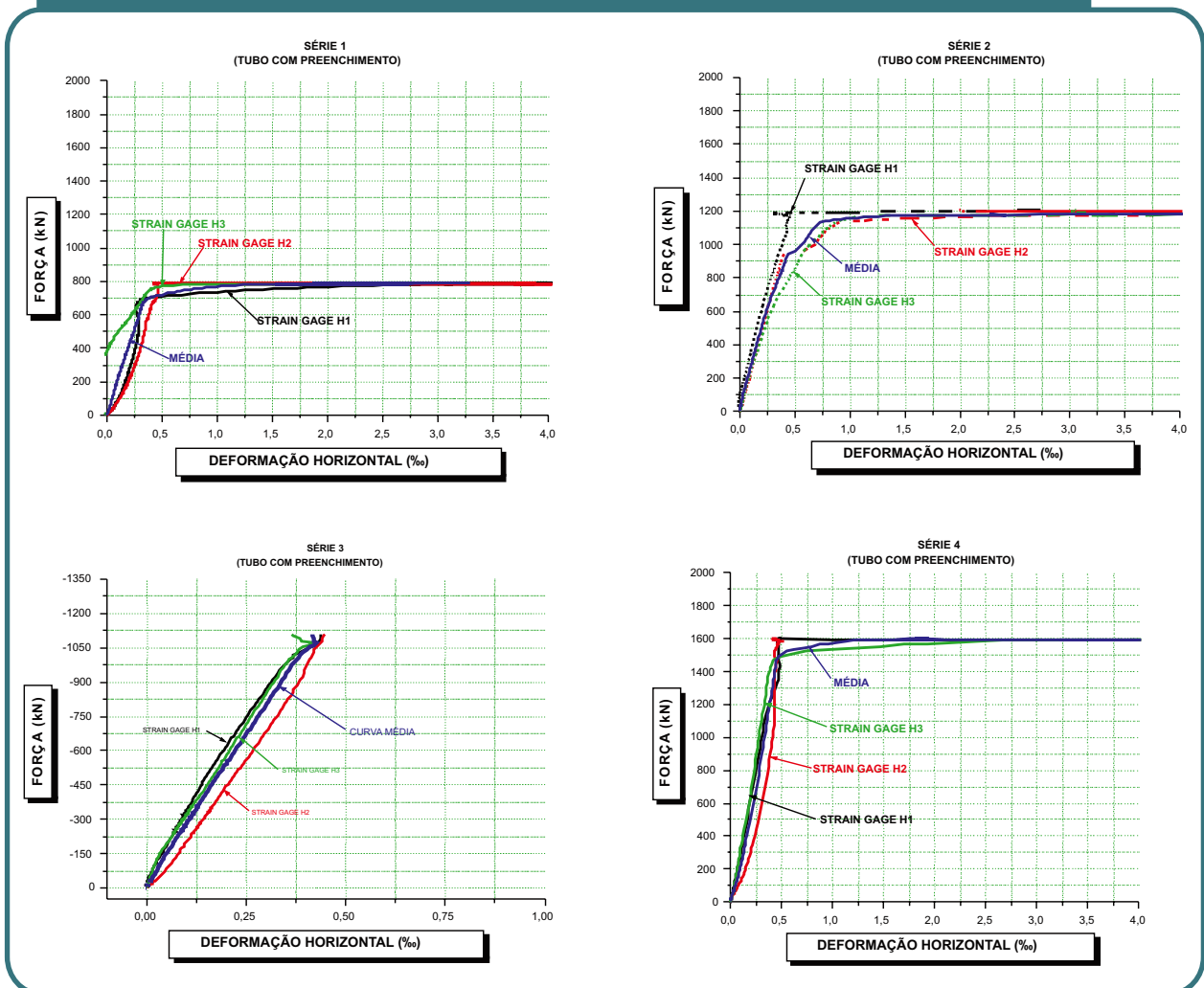
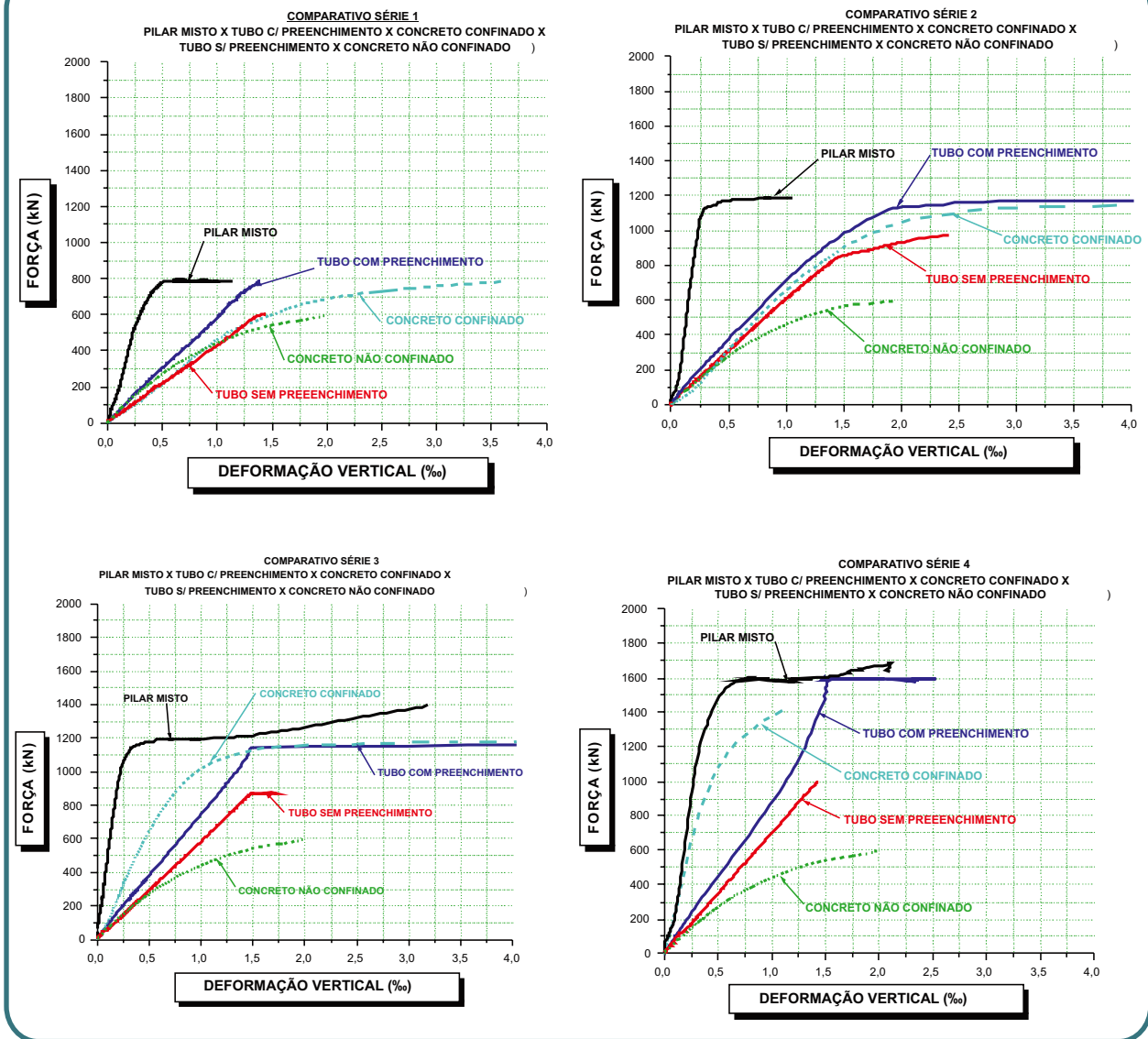


Figura 7 – Análise comparativa das deformações verticais



concreto que continua a absorvê-la criando um estado triaxial de tensões e a consequência desse fenômeno é a ocorrência do aumento da capacidade resistente do pilar. Portanto, podemos dizer que o confinamento nestes ensaios ocorreu após o tubo metálico atingir o seu limite de escoamento e transferiu o excedente de força para o concreto de preenchimento.

Na figura 8 pode-se verificar o comportamento tensão – deformação dos elementos constituintes do pilar misto das séries 1, 2, 3 e 4, sob carregamento em relação ao tubo e ao concreto, sendo solicitados isoladamente. Para se conseguir analisar este comportamento, foi preciso determinar as parcelas de

tensão que cada material estaria recebendo na seção mista. Com o auxílio dos gráficos da figura 8, foram selecionados alguns valores de deformação específica como 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2% e para cada deformação foi identificado o valor da força absorvida por cada material. Com os valores de força já identificados e com as áreas já dimensionadas de cada material na seção mista, obtiveram-se os valores de tensão para cada deformação (figura 8).

O gráfico da figura 8 mostra o ganho de capacidade resistente dos materiais, aço e concreto constituintes do pilar misto, em relação aos materiais sendo solicitados isoladamente. Atribuiu-se o ganho de capacidade resistente

do tubo metálico ao concreto que impede as deformações locais da parede do tubo e a do concreto, ao confinamento pela parede do tubo metálico.

O comportamento do concreto, nas séries 1, 2, 3 e 4, que é o principal responsável pelo bom comportamento da seção mista em relação a capacidade resistente, estão ampliados na figura 9. A partir destes gráficos foi possível observar o quanto de aumento na capacidade resistente do concreto foi possível por meio do confinamento do concreto pelo tubo de revestimento. E que este ganho foi proporcional a espessura da parede dos tubos de revestimentos.

Para avaliar o efeito da relação diâmetro/espessura, foi elaborado um gráfico que comparou o comportamento tensão x deformação dos tubos metálicos de revestimento na seção mista das séries 1, 2, 3 e 4. A figura 10 mostra este comparativo, incluindo

os valores da relação diâmetro/espessura. A série 2, que apresenta uma relação diâmetro/espessura baixa em relação as demais séries, foi a que apresentou maior capacidade de absorção de tensão.

Para avaliar o efeito da relação diâmetro/espessura no concreto de preenchimento, elaborou-se o gráfico mostrado na figura 11. O concreto que apresentou maior nível de confinamento foi o da série 2, onde a relação diâmetro/espessura foi menor.

Com o objetivo de comparar os valores últimos de força aplicados nos pilares mistos N_{EXP} , com os valores recomendados pelas normas de dimensionamento, elaborou-se a tabela 3. Os valores de coeficientes de segurança foram desprezados e os valores característicos dos materiais E_a , E_c , f_y , e f_m foram retirados de ensaios de caracterização. Os valores obtidos para N_C e N_{gl} são iguais, pois o projeto de revisão da

Figura 8 – Tensão x Deformação do tubo e do concreto constituinte do pilar misto

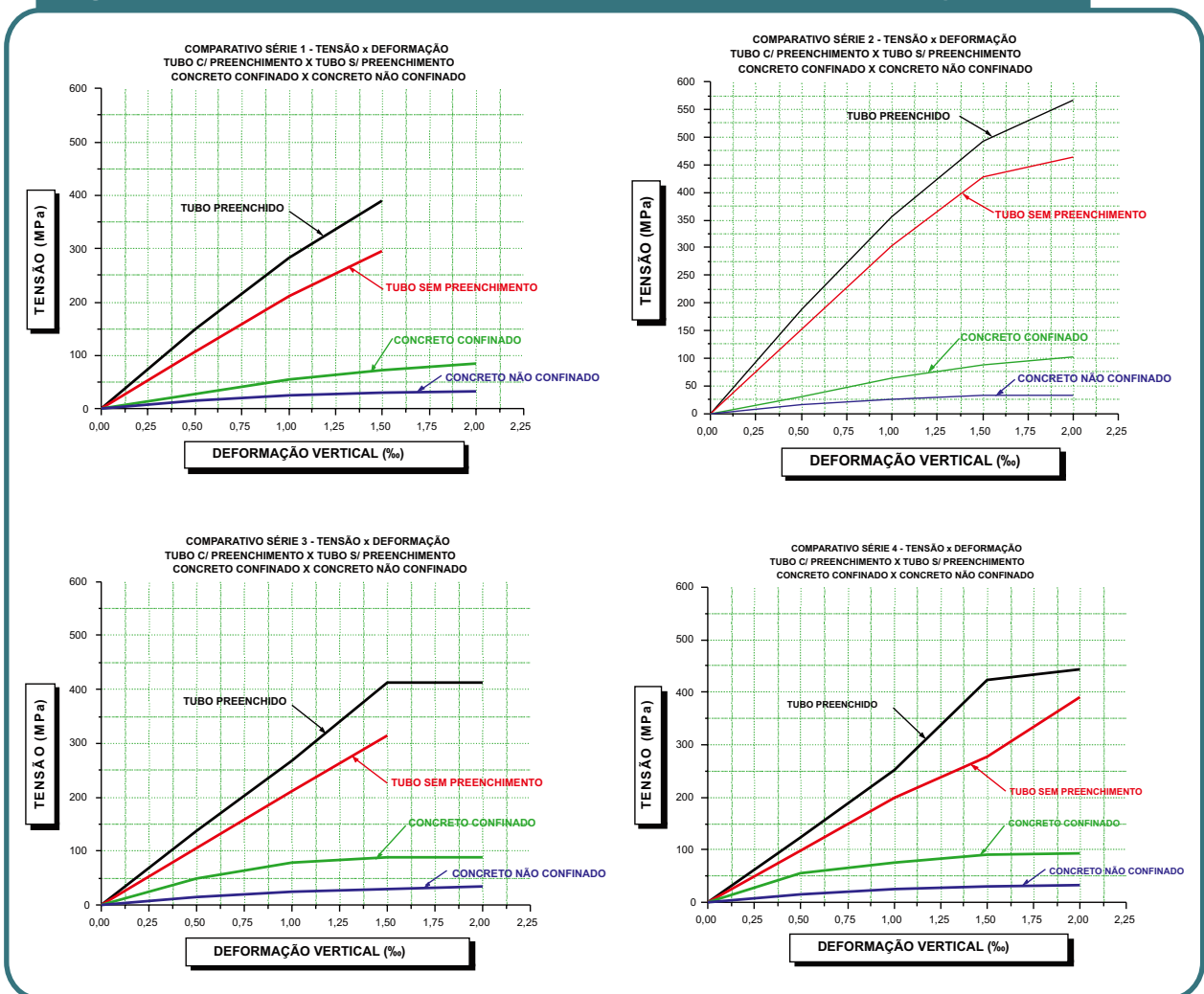
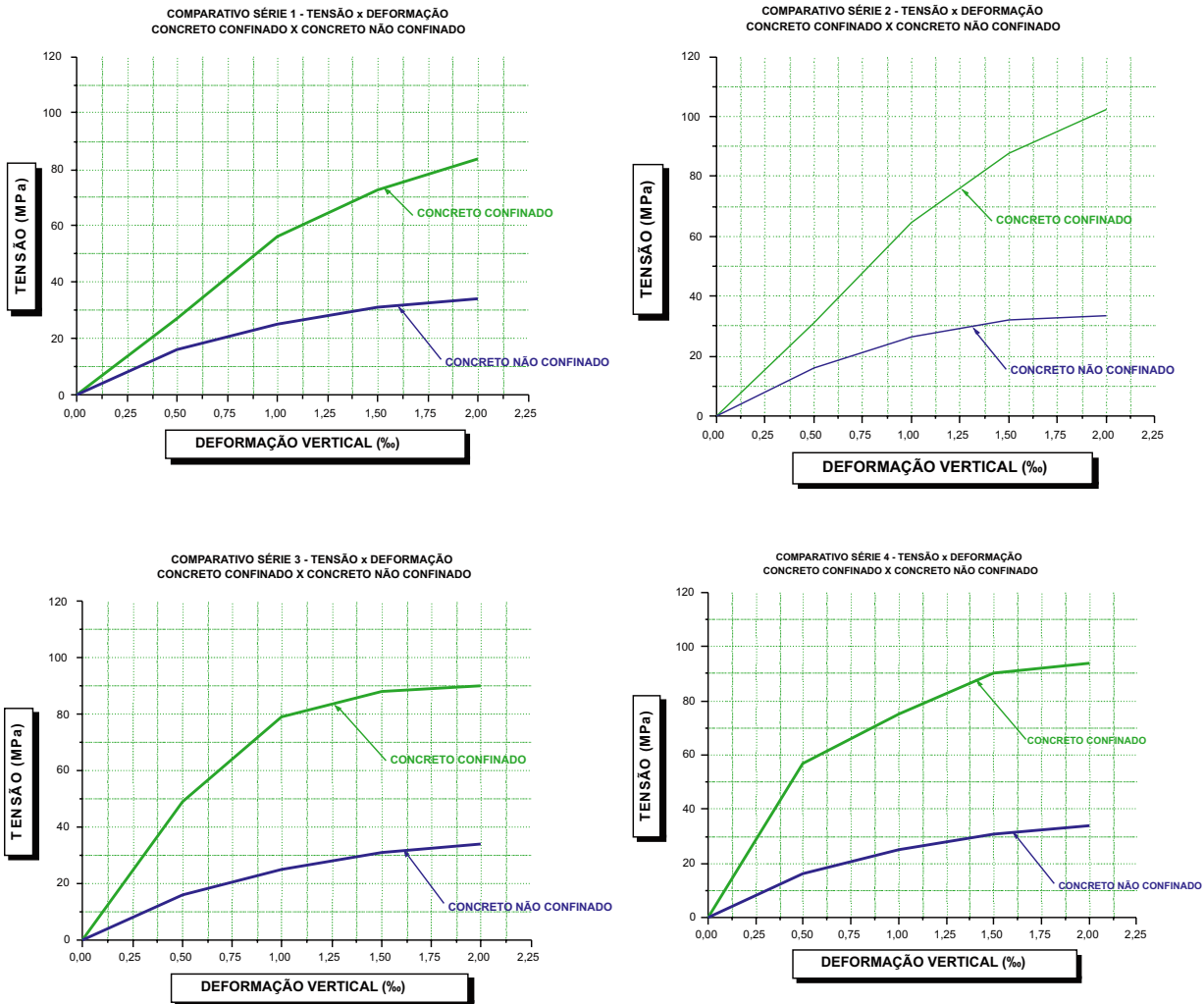


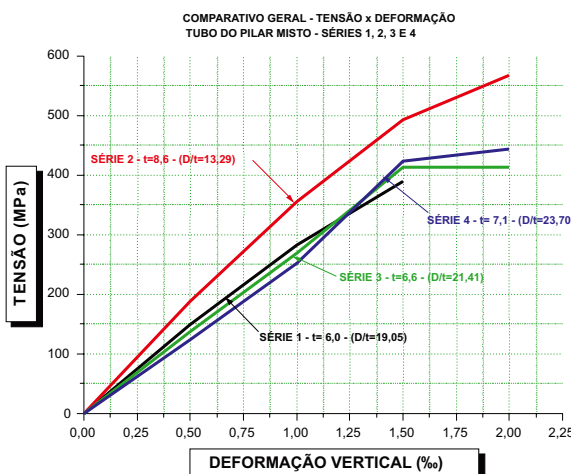
Figura 9 – Comportamento Tensão x Deformação do concreto de preenchimento da seção mista



norma brasileira NBR 8800 (2003) segue as mesmas recomendações do EUROCODE 4 (1994). Ambas levam em consideração o efeito do confinamento do concreto.

A especificação americana AISC-LRFD (1999) não leva em consideração o efeito do confinamento do concreto e o dimensionamento segue o mesmo caminho do dimensionamento de estruturas metálicas,

Figura 10 – Comportamento Tensão x Deformação dos tubos de revestimento das séries 1, 2, 3 e 4

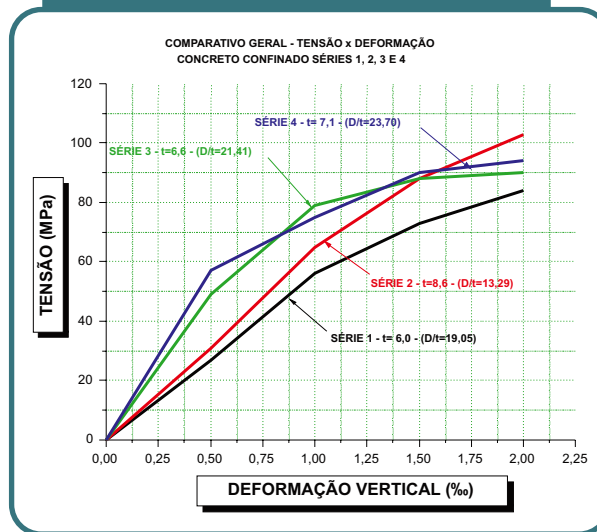


porém com alterações em alguns parâmetros para levar em consideração a presença do concreto. Por não levar em consideração o efeito do confinamento, o dimensionamento proposto pelo AISC-LRFD (1999) subestima a capacidade resistente das seções mistas.

O projeto de revisão da norma brasileira NBR 8800 (2003) e o EUROCODE 4 (1994), para o

dimensionamento da capacidade resistente de pilares mistos de seção circular preenchidos com concreto, levam em consideração o efeito do confinamento do concreto pelo tubo metálico. A tabela 4 mostra que, na maioria dos resultados, a relação dos valores obtidos experimentalmente e dos valores obtidos pelas recomendações destas normas estão muito próximos e, em alguns casos, até menores. Isso significa que o método proposto para o dimensionamento de pilares mistos com seção circular preenchidos com concreto está considerando que o efeito do confinamento é mais favorável do que realmente se percebeu nos resultados obtidos neste trabalho. O Comitê Brasileiro de Construção Civil apresentou no ano de 2007 uma nova versão do Projeto de Revisão da

Figura 11 – Comportamento Tensão x Deformação do concreto de preenchimento das séries 1, 2, 3 e 4



experimentais obtidos neste trabalho.

As normas NBR 8800 (2003), o EURO-CODE 4 (1994) e o AISC LRFD (1994) levam em consideração a tensão de escoamento no dimensionamento e por este motivo, elaborou-se a tabela 5 com os valores de força resistente para o início de escoamento N_{ESC} . Para isso, utilizou-se os gráficos da figura 8.

NBR 8800, onde o efeito do confinamento do concreto deixou de ser levado em consideração.

A relação dos valores obtidos experimentalmente com os valores recomendados pela especificação americana foram maiores em todos os casos. A especificação americana não leva em consideração o efeito do confinamento do concreto e por esse motivo os pilares mistos têm a capacidade resistente diminuída em relação aos valores

Tabela 3 – Comparativo dos resultados experimentais de forças de compressão máxima em relação aos propostos pelas normas

SÉRIES	DESCR. (mm)	E_a MPa	E_c MPa	f_y MPa	f_{cm} MPa	N_{EXP} kN	N_C NBR8800 (2003) kN	N_R AISC-LRFD (1999) kN	N_{Sd} EUROCODE 4 (1994) kN
1	114,3 x 6,0	206419,6	21580	305,1	28,12	1262	1138	815	1138
10	114,3 x 6,0	206419,6	21580	305,1	28,12	1029	1138	815	1138
100	114,3 x 6,0	206419,6	21580	305,1	28,12	1248	1138	815	1138
2	114,3 x 8,6	187375,5	21580	331,5	28,12	1776	1528	1114	1528
20	114,3 x 8,6	187375,5	21580	331,5	28,12	1830	1528	1114	1528
200	114,3 x 8,6	187375,5	21580	331,5	28,12	1779	1528	1114	1528
3	141,3 x 6,3	206921,2	21580	324,8	28,12	1659	1695	1172	1695
30	141,3 x 6,3	206921,2	21580	324,8	28,12	1649	1695	1172	1695
300	141,3 x 6,3	206921,2	21580	324,8	28,12	1722	1695	1172	1695
4	168,3 x 7,2	202145,7	21580	3890	28,12	2126	2708	1854	2708
40	168,3 x 7,2	202145,7	21580	3890	28,12	2086	2708	1854	2708
400	168,3 x 7,2	202145,7	21580	3890	28,12	2071	2708	1854	2708

A tabela 3 relaciona os valores experimentais com os valores das normas.

Tabela 4 – Valores experimentais de forças de compressão máxima em relação aos propostos pelas normas

SÉRIES	DESCR. (mm)	$N_{EXP.}$	N_C NBR880 O (2003) (kN)	N_R AISC - LRFD (1999) (kN)	N_{Sd} EURO CODE 4 (1994) (kN)	$N_{EXP.}/N_C$ NBR8800 (2003)	$N_{EXP.}/N_R$ AISC- LRFD (1999)	$N_{EXP.}/N_{Sd}$ EURO CODE 4 (1994)
1	114,3 x 6,0	1262	1138	815	1138	1,11	1,55	1,11
10	114,3 x 6,0	1029	1138	815	1138	0,90	1,26	0,90
100	114,3 x 6,0	1248	1138	815	1138	1,10	1,53	1,10
2	114,3 x 8,6	1776	1528	1114	1528	1,16	1,59	1,16
20	114,3 x 8,6	1830	1528	1114	1528	1,20	1,64	1,20
200	114,3 x 8,6	1779	1528	1114	1528	1,16	1,60	1,16
3	141,3 x 6,3	1659	1695	1172	1695	0,98	1,42	0,98
30	141,3 x 6,3	1649	1695	1172	1695	0,97	1,41	0,97
300	141,3 x 6,3	1722	1695	1172	1695	1,02	1,47	1,02
4	168,3 x 7,2	2126	2708	1854	2708	0,79	1,15	0,79
40	168,3 x 7,2	2086	2708	1854	2708	0,77	1,13	0,77
400	168,3 x 7,2	2071	2708	1854	2708	0,77	1,12	0,77

4. Conclusões

A resistência última do concreto confinado em relação ao concreto sem confinamento foi maior em todos os casos estudados. O concreto confinado foi capaz de absorver força para deformações acima de 2%.

É possível observar um comportamento praticamente linear para as deformações transversais dos tubos até, aproximadamente, 0,5%.

O tubo de revestimento também apresentou, em todos os casos, um bom comportamento com relação à absorção de força, ou seja, os tubos preenchidos apresentaram maiores capacidades resistentes em relação aos tubos vazios. O aumento da capacidade resistente do tubo se deve pela contenção das deformações locais da parede do tubo pelo concreto de preenchimento.

Analisando as parcelas de resistências atribuídas ao perfil tubular e ao concreto de preenchimento, pode-se afirmar que o tubo metálico de revestimento, no primeiro estágio de carregamento, é o principal responsável pela absorção de força e que esta responsabilidade só é atribuída ao concreto de preenchimento, quando o mesmo atinge o nível de escoamento. A partir deste ponto,

o tubo pára de absorver a força e transfere para o concreto esta absorção, ultrapassando inclusive o seu limite de deformação de 2% para compressão pura.

Portanto, este estudo mostra que os materiais aço e concreto, trabalhando de forma mista, contribuem para o aumento da capacidade resistente da seção de pilares mistos de aço e concreto, se comparados com a capacidade resistente desses mesmos materiais trabalhando isoladamente.

Porém, alguns fatores importantes devem ser verificados para que isso ocorra:

- ◆ A espessura da parede dos tubos não deve ser fina, respeitando os limites da relação diâmetro/espessura;
- ◆ A deformação de início de escoamento do aço deve ser compatível com a deformação de ruptura do concreto, ou seja, se o aço tiver uma deformação específica para escoamento acima de 2%, teremos a ruptura do concreto antes do aço atingir o escoamento e, conseqüentemente, a seção trabalhará como uma seção pura de aço sem a parcela de contribuição do concreto;
- ◆ Utilizando-se um concreto de resistência normal, aproveita-se melhor os dois materiais estruturais, pois este concreto é mais deformável;

Tabela 5 – Valores experimentais de forças de compressão no escoamento, em relação aos propostos pelas normas

SÉRIES	DESCR. (mm)	N_{EXC} Força de escoamento (kN)	N_c NBR880 O (2003) (kN)	N_R AISC - LRFD (1999) (kN)	N_{Sd} EURO CODE 4 (1994) (kN)	N_{EXC}/N_c NBR8800 (2003)	N_{EXC}/N_R AISC- LRFD (1999)	N_{EXC}/N_{Sd} EURO CODE 4 (1994)
1	114,3 x 6,0	788	1138	815	1138	0,69	0,97	0,69
10	114,3 x 6,0	749	1138	815	1138	0,66	0,92	0,66
100	114,3 x 6,0	682	1138	815	1138	0,60	0,84	0,60
2	114,3 x 8,6	1090	1528	1114	1528	0,71	0,98	0,71
20	114,3 x 8,6	1139	1528	1114	1528	0,75	1,02	0,75
200	114,3 x 8,6	1072	1528	1114	1528	0,71	0,97	0,71
3	141,3 x 6,3	1144	1695	1172	1695	0,68	0,98	0,68
30	141,3 x 6,3	1233	1695	1172	1695	0,73	1,05	0,73
300	141,3 x 6,3	1217	1695	1172	1695	0,72	1,04	0,72
4	168,3 x 7,2	1598	2708	1854	2708	0,59	0,87	0,59
40	168,3 x 7,2	1323	2708	1854	2708	0,49	0,72	0,49
400	168,3 x 7,2	1537	2708	1854	2708	0,57	0,83	0,57

- ◆ Todos os pilares mistos devem ter um índice de esbeltez baixo para se enquadrar no tipo “curto” e, assim, o efeito do confinamento poder ser obtido.

Com relação ao estudo das normas, os valores obtidos para a compressão axial da seção mista segundo a NBR 8800 (2003) e do EUROCODE 4 (1994) são, em média, 30% maiores do que os valores obtidos experimentalmente neste estudo. Para a especificação americana AISC LRFD (1994), os valores obtidos de cálculo para a compressão axial da seção mista foram praticamente os mesmos obtidos experimentalmente neste estudo.

E, ainda, além dos fatores positivos relacionados à capacidade resistente, po-

demos afirmar que este elemento estrutural apresenta também grandes vantagens com relação aos métodos construtivos, ou seja, grandes velocidades de montagem das estruturas no campo e fácil execução na fabricação.

5. Agradecimentos

À V&M do Brasil, pela doação de material, à FAPESP pela concessão de Auxílio à Pesquisa e aos técnicos do Laboratório de Estruturas da FEC-UNICAMP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] A.I.S.C. – AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (1999) – LRFD – Specification for Structural Steel Buildings.
- [02] CIDECT. For Concrete Filled Hollow Section Columns Under Static and Seismic Loading. v. 5, Germany, 1995.
- [03] EUROCODE 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures. Part 1.1 (1994).
- [04] KNOWLES, R. B.; PARK, R. Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns. Journal of the Structural Division, v. 95, nº ST12, p 2565-2587, dec. 1969.
- [05] NBR 8800 – Projeto e Execução de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas Aço-Concreto de Edifícios. Projeto de Revisão da NBR 8800, agosto 2003.
- [06] SHAMS, M.; SAADEGHVAZIRI M. A. State of the Art of Concrete-Filled Steel Tubular Columns. ACI Structural Journal, v. 94, nº 5, p. 558-571, sep./oct. 1997. ◆



51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO IBRACON 2009

CONCRETOS PARA
INFRAESTRUTURA
SUSTENTÁVEL

6 a 10
de outubro
de 2009

Local
EXPOUnimedCuritiba

CURITIBA é conhecida nacional e internacionalmente pela inovação e modernidade. Executa seu planejamento pensando em crescimento, desenvolvimento e qualidade de vida.



INVESTIMENTO

INSCRIÇÕES	Valores (R\$)	Valores (R\$)
	Até 25/09/09	No Congresso
SÓCIO INDIVIDUAL	R\$ 650,00	R\$ 700,00
NÃO-SÓCIO INDIVIDUAL	R\$ 800,00	R\$ 850,00
SÓCIO ESTUDANTE GRADUAÇÃO	R\$ 350,00	R\$ 400,00
ESTUDANTES SÓCIOS PÓS-GRADUAÇÃO	R\$ 400,00	R\$ 450,00
ESTUDANTES NÃO-SÓCIOS GRADUAÇÃO	R\$ 450,00	R\$ 500,00
ESTUDANTES NÃO-SÓCIOS PÓS-GRADUAÇÃO	R\$ 500,00	R\$ 550,00

EMPENHOS – só serão aceitos se pagos até 25/09/09. Não serão aceitos empenhos pagos posteriormente.

EVENTOS PARALELOS

- >> VII Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto
- >> Seminário Concreto Indústria de Óleo e Gás
- >> Evento Eletrobrás – Segurança de Barragens

V FEIBRACON
Feira Brasileira de
Produtos e Serviços
da Construção.
Reserve seu espaço!

Arlene Lima
Tel. 11-3735-0202
arlene@ibracon.org.br



PALESTRANTES CONVIDADOS

Prof. Maffei (EPUSP)

EPUSP – “Mecanismo de Colapso da Estrutura do Túnel da Estação Pinheiros do Metrô de São Paulo” - Brasil

Prof. Peter Marti (ETH – Zurich)

ETH Zurich - “Design of Structural Concrete: Impact of Limit Analysis” - Suíça

Prof. James Wight (Univ. Michigan)

University of Michigan - “Modern Codes for Design of Concrete Structures” – EUA

Prof. Alberto Carpinteri (Politécnico de Torino)

Politecnico di Torino – “Application of Nonlinear Fracture Mechanics to the assessment of rotational capacity in reinforced concrete beams” - Itália

Prof. Christian Bohler (Univ. Saarbrücken)

Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP) - “Managing Civil Infrastructure on the Basis of Structural Health Monitoring” - Alemanha

RAPIDÍSS

É assim que atua a linha de aceleradores da Vedacit/Otto Baumgart. Vedacit Rapidíssimo em Pó, 100, 150 e 200 são indicados para concretos projetados e possuem alta tecnologia, atendendo aos mais exigentes padrões de qualidade estabelecidos pelas obras com segurança, economia e muita rapidez.

www.vedacit.com.br

VEDACIT[®]
IMPERMEABILIZANTES

