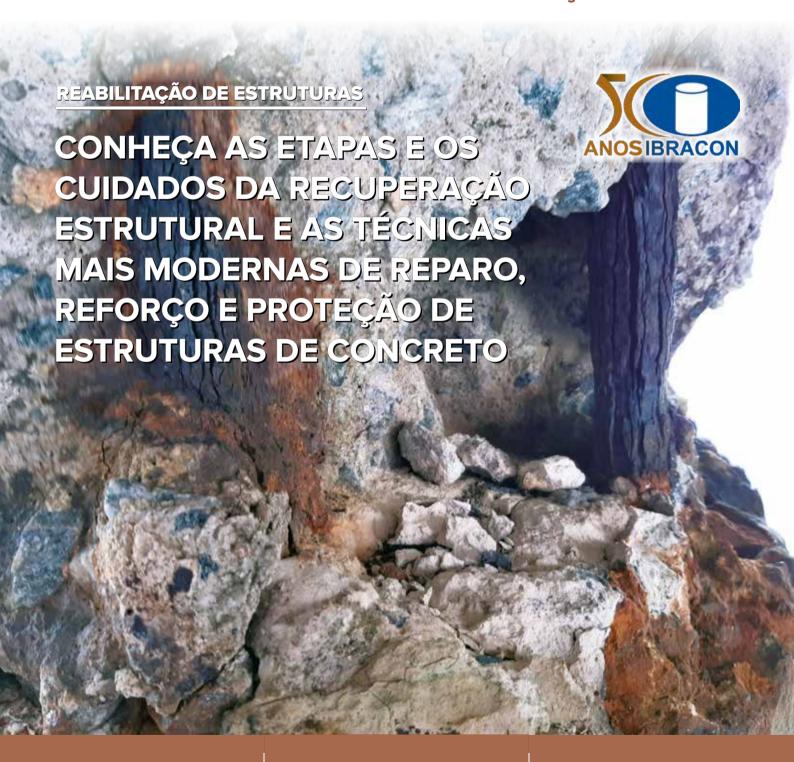


& Construções

Ano L 106 ABR-JUN | 2022

ISSN 1809-7197 www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

ENIO PAZINI: EXPERTISE
PARA AUMENTAR
VIDA ÚTIL DAS
ESTRUTURAS DE CONCRETO

MANTENEDOR

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA CONCRETAGEM DE BASES EÓLICAS

JUBILEU DE OURO

MARCOS DE GESTÃO DO IBRACON DE 1999 A 2009

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





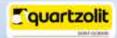


























VENVVDUSV









ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO











ESCRITORIOS DE PROJETOS











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





































































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 distribuida gratuitamente aos associados

IORNALISTA RESPONSÁVEL

Fábio Luís Pedroso - MTB 41.728 fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

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

PROJETO GRÁFICO E DTP

gill@ellementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO office@ibracon.org.br

GRÁFICA Duograph Preço: R\$ 12,00 As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

@ Copyright 2022 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

IBRACON

Av. Queiroz Filho, 1.700 — sala 407 / 408, Torre D — Villa Lobos Office Park 05319-000 - Vila Hamburguesa - São Paulo - SP - Tel. (11) 3735-0202

PRESIDENTE DO COMITÊ **EDITORIAL**

Oswaldo Cascudo

COMITÊ EDITORIAL MEMBROS

- Alio Kimura (informática no projeto estrutural)
- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Fonseca Tutikian (cimentos especiais)
- ▶ Cláudio Vicente Mitidieri Filho
- (qualidade e desempenho) ▶ Emílio Minoru Takagi
- (aditivos e adições) Ercio Thomaz
- (sistemas construtivos) Fabiana Lopes Oliveira
- (arquitetura e projeto) Frederico Falconi
- (fundações) Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Iria Lícia Oliva Doniak (industrialização da construção)
- Lvdio dos Santos B. de Mello (normalização técnica)
- Mauricio Linn Bianchi (sistemas construtivos)

- (concreto e durabilidade) Paulo Helene
- (concreto e estruturas)

Nowaldo Cascudo

- Pedro Teodoro Franca (obras subterrâneas)
- Paulo Fernando Araujo da Silva (pavimentos)
- Vinicius Caruso (saneamento)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO Gláucia Maria Dalfré

COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

- Alessandra Castro (Universidade de São Paulo) ▶ Eduardo Cabral
- (Universidade Federal do Ceará)
- Eduardo Moraes Rêgo Fairbairn (Univ. Federal do Rio de Janeiro)
- ▶ Enio Pazini Figueiredo (Universidade Federal de Goiás)
- Fernando Branco
- (Universidade de Lisboa)
- ▶ Gibson Rocha Meira (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba)

- Cláucia Maria Dalfré (Universidade Federal de S. Carlos)
- José Julio de Cerqueira Pituba (UFCat)
- Maria del Carmen A. Perdrix (Universitat Politècnica de Catalunya)
- María Josefina Positieri (Universidad Tecnológica Nacional)
- Maria Teresa Paulino Aguiar (Universidade Federal de Minas Gerais)
- Pedro Castro Borges (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados)
- Pedro Garcés Terradillos (Universidad de Alicante)
- Rafael Alves de Souza (UEM)
- ▶ Selmo Kuperman (Desek)
- Sérgio H. Pialarissi Cavalaro (Loughborough University)
- Rodrigo de Melo Lameiras (Universidade de Brasília)
- Fernanda G. da Silva Ferreira (Universidade Federal de S. Carlos)

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Fundado em 1972 Declarado de Útilidade Pública Estadual Lei 2538 de 11/11/1980

Declarado de Utilidade Pública Federal

IBRACON Decreto 86871 de 25/01/1982

DIRETOR PRESIDENTE

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE Julio Timerman

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

DIRETOR 1º SECRETÁRIO Cláudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º SECRETÁRIO Carlos Massucato

DIRETOR 1º TESOUREIRO

DIRETOR 2º TESOUREIRO

DIRETOR DE MARKETING

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES Guilherme Parsekiar

DIRETOR DE EVENTOS Rafael Timerman

DIRETOR TÉCNICO

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS Cesar Henrique Daher

DIRETORA DE CURSOS Jéssika Pacheco

DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

DIRETOR DE PESOUISA E DESENVOLVIMENTO

secões



CRÉDITOS DE CAPA

PHD ENGENHARIA

EM TRECHO DE RESPINGO DE MARÉ.

DETALHE DE FUSTE EMERSO DE ESTACA LOCALIZADA

- 5 EDITORIAL
- **COLUNA INSTITUCIONAL**
- CONVERSE COM O IBRACON
- **ENCONTROS E NOTÍCIAS**
- Homenagem Póstuma
- PERSONALIDADE ENTREVISTADA: Enio Pazini
- MANTENEDOR 51
- ACONTECE NAS REGIONAIS

JUBILEU DE OURO





INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO



Recuperação estrutural emergencial de 52 estacas da ponte rodoviária

Mudanca de vocação e revitalização de terminais portuários

Estado da arte e BIM: um banco de dados aplicável às obras de reabilitação

PESOUISA E DESENVOLVIMENTO



Avaliação das propriedades mecânicas e autocicatrização de bioconcreto produzido com bacillus subtilis

ESTRUTURAS EM DETALHES



Análise comparativa entre lajes macicas e nervuradas: estudo de caso do estacionamento do TCE-MA

Aplicação da metodologia BIM e princípios da Construção Enxuta para o planejamento de uma obra comercial

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

Dimensionamento da técnica TRM/TRC para reforço à flexão de elementos de concreto armado segundo a norma americana ACI 529.4R (2020)

Comparação entre os critérios da NBR 15812-1: 2010 e NBR 15961-1: 2011 com os da norma NBR 16868-1: 2020 Caro leitor.

A produtividade invisível

uando se pensa em produtividade de um determinado pesquisador, geralmente seus índices bibliométricos são utilizados como fatores de avaliação. Mas, esta avaliação é realmente abrangente e capaz de medir o real retorno do trabalho do pesquisador para a sociedade?

Entre os critérios avaliados, incluemse: produção científica, formação de recursos humanos, contribuição para a inovação, coordenação ou participação em projetos de pesquisa, inserção internacional na área, participação em atividades editoriais (como edição de revistas científicas), participação em gestão científica e administração acadêmica, gestão de instituições e núcleos de excelência científica e tecnológica, e organização de congressos importantes na área, sendo o desempenho do pesquisador avaliado por meio de indicadores referentes aos cincos ou dez últimos anos.

A qualidade e o impacto das publicações são em parte obtidos de indexadores nacionais e internacionais tais como ISI (Institute for Scientific Information), ICR (Journal Citation.Reports), SciELO, SCOPUS e classificação de periódicos da CAPES. Existe ainda o Google Scholar, que apesar de não ser o mais reconhecido pela comunidade científica, é um dos poucos que não exige cadastro prévio, sendo uma base ampla, útil, confiável e de fácil acesso. A publicação de livros e ou capítulos de livros em editoras com qualidade reconhecida pela comunidadecientífica pode ser considerada na produção, porém, infelizmente, não tem grande pontuação em análises por comitês acadêmicos, assim como como a valiosa, nobre e generosa participação voluntária no processo de normalização gerido pela ABNT não é considerado na avaliação! Por exemplo, para ser considerado como um pesquisador com

produtividade suficiente para ter acesso à Categoria 2 no CNPq, ele deve ter, ao menos, 4 artigos publicados no último quinquênio em periódicos classificados entre os 3 níveis superiores do estrato Qualis/ CAPES, com mínimo de 2 artigos classificados A1 ou

A2, ter orientado ou coorientado pelo menos três dissertações de mestrado na vida acadêmica e alcançar um índice h, avaliado pelo ISI, superior a 3. Note-se que o índice h, ou índice hirsch, é o número de artigos com citações maiores ou iquais a esse número. Quando vinculados a universidades, professores/pesquisadores geralmente tendem a produzir conteúdos acadêmicos em forma de livros e materiais didáticos, os quais, muitas vezes, ultrapassam as fronteiras da instituição de origem e são utilizados como texto básicos em cursos de graduação, pós-graduação, ou como referências para consulta pelos escritórios de engenharia, tanto no Brasil quanto no exterior. Esses produtos do trabalho acadêmico têm, porém, pouco valor no sistema atual de avaliação do pesquisador. Além das funções acadêmicas, os pesquisadores despendem um grande tempo, em forma de voluntariado, para discussão e redação de textos normativos, atuando, de forma isenta e com conhecimento específicos, como presidentes, secretários ou membros de grupos de trabalho), em inúmeras reuniões, que podem levar anos até sua conclusão. Os pesquisadores contribuem ainda na função de presidentes ou outros cargos relacionados a alguma instituição de classe, como editores, membros

de comitês técnicos e científicos, avaliadores de periódicos científicos (nacionais e internacionais), na escrita e submissão de projetos solicitação de fomento à pesquisa (os quais, na maioria das vezes, não

são selecionados), instrutores de cursos e palestrantes de eventos para o meio técnico brasileiro ou estrangeiro. E, na maioria das vezes. tais trabalhos, de suma importância à sociedade, não são adequadamente pontuados ou levados em conta nos critérios de produtividade. Relembrando o Juramento

de formatura: "Que honrando os ensinamentos que recebi, que eu coopere sempre para o desenvolvimento da ciência e faça tudo quanto em mim couber pela grandeza moral, social e material do Brasil". Será que ele é integralmente cumprido quando se leva em conta a avaliação da produtividade dos pesquisadores pelos critérios atuais? Enquanto pesquisadores, e quando vinculados a universidades e instituições de pesquisa, também atuamos na formação de recursos humanos. Mas a pesquisa é realizada de forma homogênea em todas as regiões brasileiras, com amplo acesso a fomento para sua realização? Todos os pesquisadores possuem toda a infraestrutura necessária para a realização das pesquisas? Todos os pesquisadores em formação recebem bolsa para sua subsistência ao longo do mestrado, doutorado ou pósdoutorado? Todos os líderes de grupos de pesquisa possuem mão de obra capacitada para a escrita de artigos, em língua inglesa, para atendimento dos índices bibliométricos exigidos? Será que todos possuem recursos para pagamento de taxas de publicação em periódicos, as quais tem se demonstrado como tendência para os próximos anos? Geralmente, não se recomenda a publicação em veículos de baixo impacto científico. Entretanto, as revistas brasileiras destinadas à divulgação tecnológica,



científica ou informativa na área de concreto, tendo em vista os critérios aplicados à área de avaliação Engenharias I, nem sempre são bem avaliadas como deveriam e pouco aparecem na Plataforma Sucupira da Capes. Neste âmbito, talvez fosse interessante que as revistas nacionais, não indexadas nas bases principais, também fossem bem apreciadas e valorizadas em defesa da engenharia nacional. Neste sentido, o índice h do Google Scholar aparenta ser mais democrático, uma vez que avalia o impacto cumulativo da produção acadêmica e do desempenho de um autor ao longo do tempo, fazendo a comparação entre as publicações e citações e corrigindo o peso desproporcional de trabalhos altamente citados e aqueles ainda não citados. Felizmente nota-se um movimento da CAPES nessa linha, valorizando as Revistas Técnicas nacionais que tem seriedade e tradicão.

Reconhece-se, lógico, que a publicação de trabalhos em veículos

internacionais é importante e que talvez tenhamos demorado muito a entender sua relevância e, por isso, não apresentemos os mesmos índices do exterior. Entretanto, contrapõe-se a necessidade de se reconhecer, também, as produções aplicadas, aquelas que buscam o desenvolvimento e o melhor entendimento de materiais. componentes e sistemas, traduzindo este conhecimento (muito vezes apresentado de forma rebuscada) para uma linguagem mais simples e atuando na transferência das inovações, que, muitas vezes foram obtidas com baixo ou nenhum financiamento, ao meio técnico. Assim, fica o questionamento: como bem avaliar a contribuição da academia e dos profissionais à sociedade?

A produção científica, reconhecida internacionalmente, é uma salutar demanda de qualquer pesquisador. Precisamos estar inseridos na fronteira do conhecimento, participar de discussões acadêmicas

com nossos pares internacionais dentro do conhecimento específico da área de atuação de cada um. Porém, isso precisa ser "traduzido" e revertido em prol da comunidade técnica praticante da engenharia, o que potencializa os benefícios da produção acadêmica à sociedade brasileira. Sem desmerecer a primeira parte, achar uma forma de reconhecer a produção aplicada é também uma demanda da academia. A edição atual desta publicação técnica, trata do estado da arte da tecnologia aplicada à reabilitação de estruturas de concreto. Traz contribuições relevantes, de profissionais e pesquisadores experientes e consagrados, que gentilmente disponibilizam seu conhecimento em prol e em defesa da engenharia nacional.

Boa leitura!

GLÁUCIA M. DALFRÉ

Presidente do Comitê Científico da Revista CONCRETO & Construções



Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado

COORDENADORES

Cláudio Sbrighi Neto, Eduardo Brandau Quitete e Arnaldo Forti Battagin

Apresenta de forma didática a sequência de ações necessárias para a prevenção da reação álcali-agregado (RAA). São abordadas generalidades da RAA, avaliação de risco de sua ocorrência, medidas preventivas, classificação da ação preventiva, ensaios laboratoriais, medidas de mitigação e a tomada de decisão.

O trabalho é resultado das discussões ocorridas no Comitê Técnico de Reação Álcali-Agregado do IBRACON (CT-201) e seu lançamento segue a recente publicação das sete partes da norma ABNT NBR 15577 Agregados – Reatividade álcali-agregado.

Aquisição: Acesse a Loja Virtual do IBRACON. www.ibracon.org.br

Parcerias que geram boas práticas

o longo destes 50 anos, o IBRACON buscou firmar-se como uma das mais fortes associações de engenharia em toda a cadeia produtiva do concreto, em nível internacional. Isso jamais seria possível não fosse pela dedicação de seus fundadores, presidentes, conselheiros, diretores nacionais/regionais, sócios coletivos e mantenedores, bem como, a equipe de colaboradores que compuseram o seu staff durante esse meio século de vida. E. obviamente, não poderíamos deixar de citar a participação dos nossos associados e patrocinadores em nossos cursos, eventos e demais atividades do Instituto.

Ainda assim. houve a necessidade de firmar parcerias com entidades nacionais e estrangeiras, com o intuito não somente de participação mútua e benefícios em seus respectivos eventos, mas voltadas a uma colaboração técnico-científica mais profícua e intensa. Nesse sentido, muitos esforcos foram feitos, iniciados em um tempo remoto por seus fundadores e ex-presidentes, ficando a cargo da diretoria de relações institucionais nas últimas décadas. Diretoria que tem por finalidade, além de dar suporte às diretorias regionais para a disseminação do Instituto e suas atividades em todo o território nacional, manter as parcerias existentes e buscar outras, sempre com instituições que tenham finalidades similares, visando à disseminação do conhecimento técnico-científico e das boas práticas da engenharia.

Hoje, o IBRACON conta com diversos termos de cooperação com reconhecidas entidades que possibilitaram e possibilitam a sua visibilidade e reconhecimento. Parcerias, como as firmadas com o American Concrete Institute (ACI), a Associación Latinoamericana de Control de Calidad, Patologia y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT Internacional), a Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Construction et Ouvrages (RILEM), e da Fédération Internationale du Béton (FIB) têm possibilitado grande intercâmbio de participações em comitês de normas e procedimentos técnicos internacionais,

facultando à engenharia nacional expor seu conhecimento e manter-se sempre atualizada em relação às discussões técnicas mais relevantes em âmbito mundial. As parcerias internacionais fomentam a participação de renomadas personalidades estrangeiras em nossos congressos, e vice-versa. No caso do ACI, por exemplo, a cooperação permite que nossos associados possam adquirir as publicações com os mesmos descontos dos seus sócios, podermos concorrer ao prêmio mundial de excelência em construções, no qual o Brasil conquistou um primeiro e um segundo lugar na última edição. No ACI, o IBRACON também participa do evento online 24 Hours of Concrete Knowledge, com palestrantes de renome, assim como costuma levar delegações aos eventos anuais, possibilitando grande visibilidade às nossas atividades de pesquisa e desenvolvimento.

No que tange ao âmbito nacional, muitos convênios têm possibilitado o desenvolvimento conjunto de práticas recomendadas (PRs), por meio de comitês técnicos (CTs) conjuntos, podemos citar como exemplos:

- A parceria com a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE): o Comitê Técnico 301 Projeto de Estruturas de Concreto já publicou duas práticas recomendadas e o Comitê Técnico 303 Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, uma;
- A parceria com a Associação
 Brasileira de Patologia das
 Construções (ALCONPAT Brasil): o
 Comitê Técnico 702 Procedimentos
 para Ensaios de Avaliação da
 Durabilidade das Estruturas de
 Concreto, publicou 5 práticas
 recomendada, assim como, os
 Comitês Técnicos 703 Inspeção
 Estrutural Predial em Sistemas
 de Estruturas de Concreto e
 Requisitos para o Inspetor e 802
 Manutenção e Reabilitação de
 Estruturas de Concreto, em breve
 publicarão outras.

Existem ainda outros comitês técnicos advindos dessas parcerias como o CT 304 de Pré-Fabricados de concreto, entre o IBRACON e a Associação Brasileira de Construção



Industrializada em Concreto (ABCIC) e o CT 501 de Estanqueidade de Estruturas de Concreto, advindo do convênio recente com o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI). Enfim, são diversos convênios existentes que geram, gerarão muitos frutos, cooperações e discussões técnicas de alto nível, sempre em prol da melhora dos materiais, projetos e processos construtivos em concreto, com materiais convencionais ou não.

Para finalizar, poderia parafrasear e a adaptar a famosa frase do poeta religioso inglês John Donne: "Nenhum homem é uma ilha", dizendo que o IBRACON tem ciência que "Nenhuma Associação é uma Ilha", afinal já se vão anos que estamos trabalhando com profícuas parcerias, sempre visando aprimorar a cadeia produtiva do concreto, buscando melhorias para as nossas obras de engenharia e seus impactos na sociedade.

CÉSAR DAHER

DIRETOR DA RELAÇÕES INSTITUCIONAIS DO IBRACON (GESTÃO 2021/2023)

¹ Através da tríplice aliança ABECE-ABCIC-IBRACON que possibilita uma cadeira nas discussões do Model Code de Estruturas de Concreto.

fabio@ibracon.org.br

PERGUNTAS TÉCNICAS

EM UM UNIVERSO DE CONCRETOS COM f_{cb} = 30 E 35 MPa, OBTIVEMOS OS RESULTADOS APRESENTADOS NA TABELA ABAIXO. COMO SE DEVE ANALISAR OS RESULTADOS? QUAL A RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO. FORNECIDA EFETIVAMENTE? RAFAEL SILVA **UP Mackenzie**

f _{ck} 30	%	f _{ck} 35	%
738 m³	100%	566 m ³	100%
483 m³	65%	407 m ³	72%
255 m ³	35%	159 m³	28%
180 m ³	24%	91 m³	16%
32 m ³	4%	22 m ³	4%
	738 m ³ 483 m ³ 255 m ³ 180 m ³	738 m³ 100% 483 m³ 65% 255 m³ 35% 180 m³ 24%	738 m³ 100% 566 m³ 483 m³ 65% 407 m³ 255 m³ 35% 159 m³ 180 m³ 24% 91 m³

Segundo sua informação, essas não conformidades aconteceram ao longo da entrega, ou seja, pode-se considerar uma única população a ser julgada. Também segundo sua informação, o Laboratório é acreditado no sistema RBLE do INMETRO, com mão de obra de laboratorista certificada pelo IBRACON, ou seja, descarta-se os desconfortáveis, mas frequentes, erros de ensaio. A norma ABNT NBR 6118 e a norma ABNT NBR 8681, assim como a bibliografia técnica pertinente, definem f_{ck} como a população de concreto que tem, apenas, 5% do volume total abaixo de f_{ck} . Por outro lado, a norma ABNT NBR 8593 classifica o concreto com as seguintes classes: 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa e assim por diante até 90 MPa. Entendo que, no seu caso, foi

contratado e solicitado um concreto com uma classe de resistência e entregue um concreto com uma ou até duas classes abaixo, considerando a norma ABNT NBR 8593, isso do ponto de vista comercial.

Entretanto, do ponto de vista técnico, deve-se analisar caso a caso (e isso tem um custo de horas técnicas) e até pode passar tudo sem necessidade de reforço, ou seja, na análise técnica, o f_{ck} de cada caminhão é comparado com as exigências de segurança de cada um dos elementos aue foram concretados com aquele concreto, e pode passar ou não.

Resumindo do ponto de vista comercial, os concretos entregues apresentam características de um concreto com $f_{ck} = 20$ MPa e outro com $f_{ck} = 25$ MPa. A população de 738 m³ tem f_{ck} de 20 MPa e a população de 566 m³ tem f_{ck} de 25 MPa. Este deve ser o ponto de vista comercial, mas do ponto de vista técnico, a análise é caminhão por caminhão comparado às necessidades de segurança de cada peça, pois para isso se faz amostragem a 100% com rastreabilidade.

PAULO HELENE **DIRETOR PRESIDENTE DO IBRACON**

SOLICITO A GENTILEZA DE **ESCLARECER COM O COORDENADOR** DA COMISSÃO DE ESTUDO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DA NORMA EM EPÍGRAFE A SEGUINTE QUESTÃO: ABNT NBR 16868-3:2020 - ITEM 6.4 **RELATÓRIO DE ENSAIO** O RELATÓRIO DE ENSAIO DEVE **CONTER NO MÍNIMO AS SEGUINTES** INFORMAÇÕES:

ALÍNEA K) VALORES DA ÁREA BRUTA NOMINAL DOS PRISMAS, EXPRESSOS EM MILÍMETROS QUADRADOS (MM²) ALÍNEA M) RESISTÊNCIAS INDIVIDUAIS CARACTERÍSTICAS (VER ANEXO A) E MÉDIA DOS PRISMAS, DETERMINADAS NA ÁREA BRUTA, EXPRESSAS EM MEGAPASCALS (MPA), COM APROXIMAÇÃO DECIMAL, E VALOR DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO; A NORMA SOLICITA CALCULAR A RESISTÊNCIA PELA ÁREA BRUTA DOS PRISMAS, NO ENTANTO NÃO **ESCLARECE SE TRATA-SE DA** ÁREA BRUTA NOMINAL OU ÁREA BRUTA REAL. ENTENDO TRATAR-SE DA ÁREA **BRUTA REAL (POIS. NOS ITENS 4.5**

ALÍNEA L E 5.4 ALÍNEA M DA MESMA

NORMA CITA ÁREA BRUTA MÉDIA DAS PAREDES). A NORMA ABNT NBR 12118 ESPECIFICA A ÁREA BRUTA E DIMENSÕES REAIS DOS BLOCOS. CELINA YOKOYAMA GERENTE OPERACIONAL LABORATÓRIO SP - CONCREMAT

A área bruta deve ser calculada considerando as dimensões nominais do bloco, ou seja, dimensões especificadas pelo fabricante, por exemplo, 140 mm x 390 mm. Deve-se destacar que a área bruta é uma referência, utilizada como parâmetro para dimensionamento da alvenaria. Esse dimensionamento será feito considerando também essa referência (não dimensões reais). Não é propriamente determinando a resistência do material, mas sim o valor de referência.

A utilização da área bruta real não é adequada.

Por exemplo, se um determinado ensaio for realizado, a carga de ruptura resultar em 539,32 kN e for medido a dimensão "real" dos blocos como 139 mm x 388 mm, com área bruta "real" de 53.932 mm², o resultado seria uma resistência iqual a 539.320/53.932 = 10 MPa. Entretanto, quando do dimensionamento, o projetista vai considerar as dimensões nominais: 140 mm x 390 mm, com área bruta de 54.600 mm², ou seja, estaria prevendo que o prisma rompeu com 546 kN, acima do real.

Se for utilizada a área bruta nominal como referência, o resultado é uma resistência = 539.320/54600 = 9,88 MPa, sendo esse o valor a ser reportado. Desta forma, a especificação é área bruta nominal, referente às dimensões nominais, àquelas especificadas pelo fabricante para largura, altura e comprimento, por exemplo 140 mm x 390 mm, utilizando como parâmetro no resultado do ensajo e no dimensionamento.

GUILHERME A. PARSEKIAN DIRETOR DE PUBLICAÇÕES DO IBRACON E PROFESSOR DA UFSCAR

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

V Congresso Brasileiro de Patologia das Construções vai ser realizado em Gramado, de 2 a 5 de agosto de 2022.
O evento é um fórum de debates sobre o controle da qualidade, a patologia e a

recuperação de estruturas



e sistemas construtivos. Dele participarão, como palestrantes, o diretor de pesquisa e desenvolvimento, Prof. Bernardo Tutikian, e o vice-presidente do IBRACON, Prof. Enio Pazini.

Para se inscrever, acesse: https://alconpat.org.br/

Curso **preparatório** para capacitação de **inspetores de pontes e viadutos**

curso Inspeção de Estruturas de Concreto segundo a ABNT NBR 16230 apresenta conteúdos técnicos para a formação de inspetores I de estruturas de concreto, capacitando-os para o diagnóstico e prognóstico do estado de conservação de obras de arte especiais, como pontes e viadutos.

O curso é ministrado pelos diretores do IBRACON, Eng. Julio Timerman (vice-presidente), Prof. Enio Pazini (vice-presidente) e Eng. Rafael Timerman (diretor de eventos).

Com carga horária de 25 horas, o curso será ministrado on-line, no período de 04 a 08 de julho de 2022, das 18h15 às 22h40.

O curso integra o Programa MasterPEC (Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto), sendo organizada conjuntamente pelo IBRACON e IDD.

MAIS INFORMAÇÕES:

https://www.idd.edu.br/



PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras

Elaborada pelo *CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras*, a Prática Recomendada *"Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras"* indica métodos de ensaios para o controle da qualidade do CRF utilizado em estruturas de concreto reforçado com fibras e estruturas de concreto reforçado com fibras em conjunto com armaduras.

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

A Q U I S I Ç Ã O www.ibracon.org.br (Loja Virtual) DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-30-5 **Edição:** 1ª edição **Formato:** eletrônico

Páginas: 31

Acabamento: digital Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Patrocínio















Palestras no Congresso da ConcreteShow

iretores e conselheiros do Instituto Brasileiro do Concreto vão apresentar na ConcreteShow palestras no seu Congresso Construindo Conhecimento na tarde do dia 11 de agosto, na sala 1.

O diretor de pesquisa e desenvolvimento, Prof. Bernardo Tutikian, palestrará sobre os concretos especiais do futuro e do presente. O conselheiro e sócio



honorário, Eng. Selmo Kuperman, vai tratar da refrigeração do concreto. Já, o vice-presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, vai apresentar como inspecionar pontes segundo a ABNT NBR 9452. Por fim, o conselheiro e vice-presidente, Prof. Enio Pazini, vai mostrar como fazer o diagnóstico de danos em estruturas de concreto com a finalidade para sua prevenção e reabilitação.

MAIS INFORMAÇÕES:

www.concreteshow.com.br

Conferência sobre **compósitos reforçados** com fibras **recebe resumos**

A 11ª Conferência Internacional sobre Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras (11th International Conference on Fiber-Reforced Polymer Composites in Civil Engineering – CICE 2023) vai ser realizada no Rio de Janeiro, de 23 a 26 de julho de 2023.

Esta é a primeira vez que a CICE vai ser realizada na América do Sul. Desde a primeira edição em 2001, em Hong Kong, a Cice já deu a volta ao mundo para discutir e compartilhar os desenvolvimentos científicos e tecnológicos sobre os polímeros reforçados com fibras.

O evento, realizado pelo Instituto Internacional de Compósitos Reforçados com Fibras na Construção (IIFC) e apoiado pelo IBRACON, está recebendo resumos de trabalhos até 1º de outubro de 2022.

MAIS INFORMAÇÕES:

https://cice2o23.org/



Calendário cursos



4 a 8 de Julho

Inspeção de Estruturas de Concreto segundo a ABNT | NBR - 16230:2013 Paulo Helene, Enio Pazini, Júlio Timerman, Rafael Timerman Local: On-line

18 de Setembro

Concreto e Incêndio - Conceito, Estudos de Casos e Retrofits Carlos Britez Local: On-line

26 a 30 de Setembro

Inspeção de Estruturas de Concreto segundo a ABNT | NBR - 16230:2013- Inspetor II Paulo Helene, Enio Pazini, Júlio Timerman, Rafael Timerman Local: On-line

11 de Outubro

Punção em Lajes Lisas: Teoria e Prática Elyson Andrew Pozo Liberati e Marília Gonçalves Marques Local: Híbrido (presencial e virtual) Jubileu de Ouro do IBRACON – Brasília

12 de Outubro

Corrosão e Proteção Catódica de Estruturas de Concreto Luiz Paulo Gomes Local: Híbrido (presencial e virtual) Jubileu de Ouro do IBRACON – Brasília

13 de Outubro

Projeto de Elementos de Concreto Armado Através de Modelos de Bielas e Tirantes Maurício Pina Ferreiras Local: Plataforma Google Meet

21 a 25 de Novembro

Inspeção de Estruturas de Concreto Segundo a ABNT | NBR - 16230:2013 Paulo Helene, Enio Pazini, Júlio Timerman, Rafael Timerman Local: On-line

<u>INSCRIÇÕES</u>

Site: www.ibracon.org.br (Educação Continuada)
Vanessa Pedroso: Tel. (11) 3735-0202
e-mail: vanessa@ibracon.org.br

Engenharia perde a maior especialista brasileira em química do cimento



aria Alba Cincotto formouse em química em 1961 pela Universidade de São Paulo (USP). Menos de um ano depois, ingressou no Laboratório de Produtos Industriais do Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT), onde permaneceu por 32 anos, até se aposentar, indo, então, para a Escola Politécnica da USP, onde trabalhou até este mês.

No IPT, atendia às solicitações da indústria em geral, mas principalmente do setor da construção civil, assessorando o Laboratório de Concreto. Já, no Laboratório de Química de Materiais, na Divisão de Engenharia Civil, trabalhou para a identificação de manifestações patológicas em revestimentos de argamassas na década de 1970, contribuindo com a indústria para melhorar o desempenho desses revestimentos. Também, nessa época, realizou importante trabalho de identificação, quantificação e localização de agentes agressivos ao concreto em obras enterradas, como as linhas

Norte-Sul e Leste-Oeste do Metrô de São Paulo, o que resultou na primeira norma brasileira de determinação de agentes agressivos ao concreto. No início da década de 70, aderiu aos colóquios de permeabilidade e durabilidade do concreto, organizados por funcionários do IPT, e que culminaram com a fundação do Instituto Brasileiro do Concreto, em 1972.

Na década de 1980 iniciou suas pesquisas sobre adições ao cimento, tendo introduzido o método para determinação da atividade pozolânica dos resíduos agrícolas e industriais e participado de projetos de desenvolvimento de painéis de fibrocimento com fibras vegetais para edificações que usavam como ligante escória-gipsita-cal hidratada. Recentemente, a pesquisadora Maria Alba investigava a substituição do cimento Portland pelo resíduo de lama vermelha das mineradoras, com o objetivo de desenvolver sua aplicação em larga escala na indústria de cimento e mitigar seu passivo ambiental.

Desde 1992, Maria Alba se dedicou ao ensino e à pesquisa na Escola Politécnica da USP como professora convidada pelo Prof. Paulo Helene, ministrando as disciplinas "Técnicas aplicadas na pesquisa de materiais" e "Ciência dos materiais aplicada ao estudo dos ligantes inorgânicos", tendo formado 14 mestres e 8 doutores.

Seu falecimento em 16 de maio último, aos 85 anos, encerra um profícuo período de significativa produção científica, dedicação impecável ao ensino de química aplicada ao cimento e de camaradagem entre seus colegas e amigos.

Por sua inestimável contribuição, o IBRACON conferiu-lhe, em 2014, o Prêmio Luiz Alfredo Falcão Bauer, de destaque em engenharia de pesquisa em tecnologia de estruturas de concreto.

Mais informações

Leia a entrevista com a Prof^a Maria Alba Cincotto, na edição 96 da Revista CONCRETO & Construções.

Tributo a Maria Alba

Ao fazer esta homenagem à Prof^a Maria Alba, personifico toda uma geração de alunos de pós-graduação da Poli-USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) que "bebeu da fonte" da química do cimento e da ciência dos materiais, na época áurea da Poli-USP do final dos anos 80 e durante os anos 90.

Conheci Maria Alba Cincotto no ano de 1988, quando ela editou pela primeira vez na Poli-PCC (Departamento de Construção Civil), ainda como uma professora convidada vinda do IPT, a disciplina de "Aglomerantes para Concretos e Argamassas". A professora tinha trazido muitas novidades de seus estudos de pós-graduação na França, de sorte que todo aquele conteúdo de química aplicada aos sistemas cimentícios era algo considerado de muito valor na formação superior do engenheiro. A disciplina foi um sucesso de participação, tendo, inclusive, professores da Poli (como o Prof. Vahan Agopyan – Ex-Reitor da USP) assistindo como ouvinte, dado o alto valor científico e a enorme expectativa produzida.

Após essa disciplina, tornei-me alguém diferente. Passei a ter um olhar científico para as questões práticas de engenharia. Conforme convivia com ela e após ter cursado outras disciplinas no doutorado, fui construindo uma personalidade científica que possui a marca inexorável de Maria Alba, posto que seus ensinamentos modificaram

minha forma de raciocinar e de enxergar os materiais sob um prisma científico.

Minha eterna gratidão à professora Maria Alba, não apenas pela contribuição definitiva no meu "DNA" de pesquisador (o que já seria algo extraordinário), mas por tantas outras formas de interação, como sua efetiva colaboração para viabilizar nosso pós-doc na França, com o Prof. Jean-Pierre Ollivier – uma experiência ímpar em nossas vidas (minha e da Profa Helena Carasek).

A saudade é imensa neste momento, assim como a tristeza de saber que não teremos mais a Maria Alba neste plano para discutir questões no campo da "ciência dos materiais". A transcendência de sua essência, porém, é revigorante, seja por meio de sua vasta produção literária e científica, seja pela base conceitual e convicções científicas passadas aos seus alunos. Isto de fato tem um poder transformador, que se perpetuará ao longo de gerações.

Salve Maria Alba Cincotto

PROF. OSWALDO CASCUDO (UFG) – Um professor de Ciência dos Materiais Presidente do Comitê Editorial da Revista CONCRETO & Construcões – IBRACON

Prática Recomendada IBRACON/ABECE

Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



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

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

Aquisição

www.ibracon.org.br (loja virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição Formato: Eletrônico Páginas: 39

Acabamento: Digital
Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

<u>Patrocínio</u>







Enio Pazini Figueiredo

nio Pazini Figueiredo despertou para a engenharia civil por influência de um tio e de uma viagem à Usina Hidrelétrica de Itaipu. Formou-se em 1985 pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Seu gosto pelo estudo, o fez optar em seguir a carreira acadêmica, fazendo mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1986-1989) e doutorado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1989-1994). Neste ínterim, fez o curso de especialização em Patologia das Edificações no Instituto Eduardo Torroja, na Espanha, em 1988, um divisor de águas na sua trajetória profissional, e começou a lecionar

na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), além de trabalhar como engenheiro na Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC).

Em 1995, passou nos concursos para professor na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e na Universidade Federal de Goiás (UFG), tendo optado pela última. Na UFG, participou da criação dos Cursos de Especialização em Gestão e Gerenciamento de Obra, e Construção Civil, tendo coordenado o primeiro, e



E. P. F. – No ensino médio, fiz o curso profissionalizante de Desenho Arquitetônico, por influência do meu tio José Pazini, que trabalhava com projeto e construção de casas. A viagem à Foz do Iguaçu, que ganhei de presente da minha saudosa e amada mãe, Maria Eni Pazini, em 1980, mudou minha visão da construção civil, antes focada na construção de casas. Itaipu ainda não produzia energia, mas aquela fascinante obra e aqueles enormes vertedouros abertos mudaram a escala que eu tinha da construção civil. O gosto pelos ensaios laboratoriais e pela avaliação do desempenho das edificações



foi vice-presidente da Comissão para implementação do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da UFG, recomendado pela Capes em 1997. Por meio da Fundação de Apoio à Pesquisa da UFG, tem participado como consultor e projetista de diversas obras de reabilitação das estruturas de concreto armado no Brasil e no exterior, como os estádios do Maracanã. Beira Rio e a Arena Corinthians. Em função das suas pesquisas, publicações e atuações profissionais, recebeu o título de doutor honoris causa da Universidade Científica do Peru (UPC) em 2013.

Fez pós-doutorado na Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia

(NTNU), em 2009, onde estudou as técnicas de extração eletroquímica de cloretos (EEC), realcalinização eletroquímica do concreto carbonatado (REC) e proteção catódica por corrente impressa.

Enio Pazini é coordenador do CT 802 Comitê Técnico de Manutenção e Reabilitação de Estruturas de Concreto e presidente da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação da Construção (ALCONPAT Internacional).

veio durante a produção do meu trabalho experimental de conclusão de curso de engenharia civil, realizado na Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC), intitulado "Ensaios de desempenho em painéis pré-fabricados".

IBRACON - FORMADO EM 1985, NO ANO SEGUINTE VOCÊ INGRESSOU NO MESTRADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMO BOLSISTA DO CNPO. POR OUÊ?

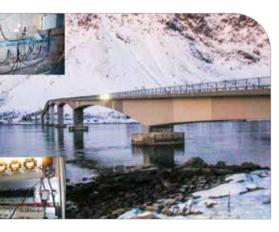
E. P. F. – No último ano de curso de engenharia civil e no ano seguinte da formatura, eu trabalhei em uma empresa construtora de tamanho médio, a C. P. Engenharia Ltda.

66

FOI A PRIMEIRA TESE DA EPUSP SOBRE O USO DAS TÉCNICAS NAO DESTRUTIVAS DE RESISTÊNCIA DE POLARIZACAO E DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA



Da mesma forma que muitos estagiários e engenheiros recémformados fazem, eu fazia de tudo na construtora, de projetos em papel manteiga e caneta nanquim, passando por compra de materiais, medicão de obra, até compra de lanches para todos do escritório. Neste período, reencontrei uma colega de faculdade que me disse que iria fazer a inscrição para a seleção do curso de mestrado em engenharia civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Confesso que não sabia muito bem o que era, mas me interessei porque sempre gostei de estudar. Optei pela área da Construção Civil (NORIE), uma vez que eu estava trabalhando nesta área. No momento da inscrição, recebíamos um volumoso material bibliográfico para estudar. Além da prova, tínhamos que enfrentar uma entrevista com alguns professores do curso. Fui aprovado, entrei no grupo selecionado com bolsa de estudos do CNPq e comecei o curso em março de 1986.



Ponte Gimsøystraumen em Lofoten, na Noruega, protegida catodicamente por corrente impressa e monitorada remotamente pela Norwegian Road Administration

IBRACON - COMO VOCÊ EXPLICA SUA PREDILEÇÃO PELA ÁREA DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES?

E. P. F. – Em 1986, a disciplina de Patologia das Construções começou a ser ministrada no curso de mestrado em engenharia civil da UFRGS pelo Prof. Paulo Helene (EPUSP). Nela, fizemos um trabalho experimental sobre durabilidade do concreto no laboratório de estruturas, supervisionado pelo Prof. João Luiz Campagnolo (UFRGS), que me despertou para a área. Antes de concluir o mestrado, tomei conhecimento do curso de especialização em Patologia das Edificações no Instituto Eduardo Torroja, na Espanha, oferecido a cada 3 anos para um grupo de 30 profissionais ibero-americanos. Figuei fascinado com a possibilidade de ter aulas com alguns autores que eu lia na época, os professores Manuel Fernandez Canovas, Maria del Carmen Andrade Perdrix, o saudoso Álvaro Garcia Meseguer, entre outros. Com a ajuda do saudoso professor Francisco Romeu Landi e do professor Paulo Helene, solicitei passagem Porto Alegre-Madri-Porto Alegre ao CNPq e, por iniciativa própria, solicitei bolsa da AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo), para pagamento da taxa de inscrição do curso. Na época, o coordenador do Programa de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS era o Prof. Jarbas Milititsky, com o qual me comprometi em finalizar meus experimentos antes de viajar e em trazer da Espanha minha dissertação bem avançada. Em janeiro de 1988, voei para Madri para fazer o "XI Curso de Estudios Mayores de la Construcción - CEMCO 88, em Normativa Cálculo, Experimentación y Patologia en Edificación". Considero que o curso foi um divisor de águas na minha trajetória profissional. Concluí o curso e retornei à Porto Alegre para terminar a dissertação de mestrado intitulada "Terapia das construções de concreto: metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto". Em 1988, fiz concurso público para engenheiro civil da Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC), onde trabalhei até 1995. Também em 1988, comecei a lecionar na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Em 1989, obtive a aceitação para fazer o doutoramento na Universidade Politécnica de Madrid. No entanto, incentivado pelos professores Paulo Helene e Vahan Agopyan, fiz inscrição no processo seletivo do doutoramento da Escola Politécnica da USP (EPUSP) e em março de 1989, logo após minha defesa de dissertação de mestrado, ingressei no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Urbana. O Prof. Paulo Helene, meu orientador, me ofereceu a possibilidade de coordenar um projeto patrocinado pela FOSECO (FOSROC) sobre diagnóstico e recomendações para projeto, proteção, reparo e reforço das estruturas de concreto em indústrias de papel e celulose. Além disso, em 1989 e 1990, atuei como docente dos procurados cursos de Atualização Profissional sobre "Patologia das Construções: diagnóstico e recuperação I e II" e "Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto: projeto, materiais e técnicas" promovidos pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), em convênio com a Escola Politécnica da USP. Em setembro de 1991, fui agraciado com uma bolsa de doutorado-sanduíche do CNPq para realizar a parte experimental da tese de doutorado no Instituto Eduardo Torroja/Espanha, com a supervisão da Profa. Carmen Andrade Perdrix, e na Aston University/Inglaterra, com a supervisão do Prof. Christopher L. Page. Depositei minha tese na EPUSP em dezembro de 1993, mas somente a defendi no início de

1994. Foi a primeira tese da EPUSP sobre o uso das técnicas não destrutivas de Resistência de Polarização, para medir a densidade de corrente de corrosão, e de impedância eletroquímica, para avaliar os fenômenos relativos à corrosão que ocorrem na interface aço-concreto. Naquele momento, tendo recémcompletado 30 anos, era o doutor mais jovem na área de materiais de construção formado pela EPUSP.

IBRACON - QUAIS FORAM OS MARCOS GERAIS DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA DE ESTUDOS DE "PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES"?

E. P. F. – Os problemas das construções nasceram junto com as construções. No entanto, a Patologia e Terapia das Construções, como ciência, nasceu da sistematização do estudo dos problemas das construções e das suas soluções, os quais podem ter causas diversas e origens nas fases de planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução e uso/manutenção das construções. De forma sistematizada e como ciência, a Patologia das Construções nasceu nos anos 70, principalmente na França e Bélgica, por meio da atuação do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) e, na Espanha, por meio da atuação do Instituto Eduardo Torroja. Com a máxima de que cada erro leva consigo um ensinamento, a Patologia das Construções trata, em suma, de evitar que o mesmo erro se repita em novas construcões.

O concreto armado da forma como conhecemos hoje é um jovem material de construção. A medida que o ambiente vai ficando cada vez mais agressivo, as estruturas de concreto vão sendo empregadas em novas situações e o tempo vai passando, o desempenho das estruturas de concreto vai diminuindo. Soma-se a isso a necessidade crescente de se construir cada vez mais metros quadrados por dia, com custo cada vez menor, e o resultado é o aparecimento, muitas vezes de forma prematura, de manifestações patológicas nas construções. Esse panorama levou ao desenvolvimento da área. Atualmente, os profissionais que atuam na área podem encontrar conhecimento específico em normas, livros, cursos, congressos, seminários e lives, para se atualizarem e melhor realizarem seus trabalhos. O mercado oferece equipamentos, cada vez mais sofisticados, para contribuir com a obtenção de diagnósticos mais



Reabilitação e adequação do Estádio Maracanã para a Copa do Mundo de Futebol de 2014 e Olimpíadas de 2016

precisos sobre o estado de conservação das estruturas. As empresas que fornecem materiais para proteção, reparo, recuperação e reforço de estruturas de concreto têm disponibilizado no mercado, ano após ano, novas alternativas tecnológicas com maior eficiência para prevenção e reabilitação das estruturas de concreto.

IBRACON - VOCÊ CONSEGUIU INTRODUZIR A DISCIPLINA "PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES" COMO PROFESSOR NAS UNIVERSIDADES DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS) NO PERÍODO DE 1988 A 1995? COMO FOI SUA ATUAÇÃO NAS PÓS-GRADUAÇÕES DA EPUSP, UFRGS E UFSM? COMO ESTE CAMPO DE ESTUDOS FOI ENCAMINHADO E DESENVOLVIDO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, ONDE VOCÊ É ATUALMENTE PROFESSOR TITULAR LIVRE, TENDO INGRESSADO EM 1995?

E. P. F. – Comecei a lecionar na UNISINOS em 1988, depois que retornei da Espanha. O Prof. Vanderley John, de saída da UNISINOS para o Instituto de Pesquisas Tecnológica de São Paulo (IPT), ofereceu-me a disciplina de Instrumentação e Controle de Qualidade. Nesta época, introduzi a Patologia e Terapia das Construções no curso de graduação, na extensão e pós-graduação lato sensu da UNISINOS. Em 1994, o Prof. Antônio Luiz Guerra Gastaldini, então coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Mestrado) da Universidade Federal de Santa Maria, convidou-me para ministrar a disciplina de "Corrosão das Armaduras". A disciplina foi ministrada uma única vez porque, no mesmo ano, recebi o honroso convite, por parte dos professores José Hennemann e Denise Dal Molin, para realizar tarefas de pesquisa e docência na área de "Patologia, Corrosão e Durabilidade das Estruturas de Concreto" no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil (NORIE) da UFRGS. Meu ingresso na Universidade Federal de Goiás (UFG) foi por meio de concurso público para Professor Titular, em 1995. Como único doutor da área, naquela ocasião, assumi a titularidade das disciplinas de Materiais de Construção e Laboratório de Materiais de Construção, nas quais, como não poderia ser diferente, devido à minha formação,



AS TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS DE REABILITAÇÃO DAS
ESTRUTURAS DE CONCRETO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS
NOVAS OU REABILITADAS COM SENSORES EMBUTIDOS E LIGADOS
À INTERNET AINDA NÃO SÃO EMPREGADAS NO NOSSO PAÍS





ATUALMENTE, É POSSÍVEL ENCONTRAR SENSORES DE UMIDADE, RESISTIVIDADE, POTENCIAL DE CORROSÃO, ENTRE OUTROS, QUE PODERIAM SER DESENVOLVIDOS NO NOSSO PAÍS PARA REALIZAÇÃO DE MONITORAMENTO REMOTO





Recuperação de um trecho de uma viga parapeito atingida pelo impacto do segmento metálico da cobertura na Arena Corinthians

os conceitos de Patologia foram introduzidos de forma natural. Em 1997, a CAPES recomendou a criação do "Curso de Mestrado em Engenharia Civil (CMEC)" da UFG, onde, desde a primeira turma, em 1998, eu ministrei as disciplinas de "Concreto: Estrutura. Propriedades e Materiais" e "Corrosão das Armaduras: Mecanismos, Diagnóstico e Reparo", nas quais a Patologia e Terapia das Estruturas de Concreto foi naturalmente introduzida. Atualmente, atuo no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFG/UFCat, em Catalão, Goiás, onde leciono a disciplina de Patologia

e Terapia das Edificações, e no Curso de Mestrado em Construção da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde mantenho profícua colaboração científica com o grupo de pesquisa da professora Maria Teresa Paulino Aguilar.

IBRACON – EM 2009, VOCÊ FEZ PÓS-DOUTORADO NA UNIVERSIDADE NORUEGUESA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. QUAL FOI SEU APRENDIZADO AO COMPARAR AS REALIDADES BRASILEIRA E ESTRANGEIRA NA ÁREA DE MONITORAMENTO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO?

E. P. F. – Em 2009, fui convidado para ser professor visitante, em programa de pósdoutorado, na Norwegian University of Science and Technology (NTNU), em Trondheim, na Noruega. Trabalhei com os saudosos e reconhecidos professores Øystein Vennesland e Odd Gjorv. A Noruega é conhecida pelo público em geral por sua lindas paisagens e fiordes. Mas, para os pesquisadores do concreto, ela é conhecida por ser precursora na produção e uso da sílica ativa (patenteada pela empresa noruequesa ELKEM como microssílica) e pelas patentes das técnicas de extração eletroquímica de cloretos (EEC) e realcalinização eletroquímica do concreto carbonatado (REC), esta última com participação do Prof. Øystein Vennesland. Meu foco de pesquisa na NTNU estava justamente nas técnicas não destrutivas de reabilitação, como a EEC, a REC, a proteção catódica por corrente impressa e o uso do aço inoxidável para aumentar a vida útil das estruturas de concreto. Como levei para a Noruega cinza de casca de arroz, cinza do bagaço da cana de açúcar e cimento CP III, pude produzir corpos de prova monitorados com sensores e avaliar a resistência de concretos com adições minerais ao ingresso de cloretos. Voltei entusias mando com a possibilidade de avançar no monitoramento de novas e existentes estruturas de concreto armado. No entanto, infelizmente, até os dias atuais, as técnicas não destrutivas de reabilitação das estruturas de concreto e o monitoramento de estruturas novas ou reabilitadas com sensores embutidos e ligados à internet ainda não são empregadas no nosso país. Com o interesse e o apoio do setor empresarial, acredito que poderíamos colocar em prática essas soluções de reabilitação e aumento da vida útil das estruturas de concreto armado.

IBRACON – QUAIS AS

POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES PARA
O MONITORAMENTO REMOTO DA
CARBONATAÇÃO E DA PENETRAÇÃO
DE CLORETOS NAS ESTRUTURAS DE
CONCRETO NO BRASIL?

E. P. F. – No ano de 2009, visitei, a convite da Norwegian Road Administration, a Ponte Gimsøystraumen, que conecta a ilha de Lofoten a outras ilhas da região. A ponte foi concluída e aberta para o tráfico em 1981 e sofreu várias intervenções de reabilitação, sem que os problemas de corrosão das armaduras devido aos cloretos pudessem ser eliminados. O governo noruequês resolveu investir em técnicas de monitoramento e proteção catódica das obras de arte do país. A Gimsøystraumen bru foi protegida catodicamente por corrente impressa e é monitorada à distância, devido ao envio das informações, via internet, oferecidas por sensores que estão embutidos e conectados a um sistema informatizado de coleta e envio de dados. Atualmente, no mercado mundial e nacional, é possível encontrar sensores de umidade, resistividade. potencial de corrosão, resistência de polarização (icorr), deformações, pH, cloretos, entre outros, que poderiam ser desenvolvidos no nosso país para realização de monitoramento remoto, principalmente das nossas obras de arte e de infraestrutura. Esta prática reduziria o custo de manutenção das estruturas de concreto e proporcionaria o aumento das suas vidas úteis. Para tanto, investimentos em pesquisa e aproximação das empresas com academia devem ser intensificados.

IBRACON - QUANDO E POR QUE VOCÊ COMEÇOU A PARTICIPAR DO IBRACON E QUAL É A IMPORTÂNCIA

DA ENTIDADE NA SUA VIDA PROFISSIONAL?

E. P. F. – O IBRACON representa um fórum qualificado para que as empresas ligadas à cadeia produtiva do concreto, a academia, os estudantes, os institutos de pesquisa e os profissionais que trabalham no setor possam discutir. apresentar e disseminar conhecimentos. bem como desenvolver o concreto e seus insumos nos seus mais variados usos. Conheci o Instituto Brasileiro do Concreto no início da década de 80. quando cursava engenharia civil, mas somente no final dos anos 80, quando realizava doutorado na (EPUSP), comecei a participar de forma mais ativa das famosas Reuniões do IBRACON (REIBRACs), publicando um artigo científico na 31º REIBRAC. Anos mais tarde, fui eleito, pelos pares, conselheiro do IBRACON, tendo sido, mais tarde, Diretor de Cursos. Desde a gestão de 2020, atuo como Diretor 2º Vicepresidente. Cabe salientar que esses serviços que prestamos ao IBRACON são totalmente voluntários. No entanto, levar a grife do IBRACON no nosso curriculum é um cartão de visitas que abre portas para qualquer profissional.

IBRACON - VOCÊ É UM DOS INSTRUTORES DO CURSO INSPETOR I E II - INSPEÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO SEGUNDO A ABNT NBR 16230. QUAL FOI SUA PARTICIPAÇÃO NA FORMATAÇÃO DO CURSO? O QUE SE PRETENDE AO OFERECER O CURSO PARA OS PROFISSIONAIS DO SETOR DE CONSTRUÇÃO?

E. P. F. – O curso de "Inspetor le Il de Estruturas de Concreto" foi pensado durante a minha gestão como Diretor de Cursos do IBRACON, por solicitação e envolvimento do Presidente do IBRACON na época, Prof. Julio Tmerman, dos Profs. Paulo Helene e Tulio Bittencourt e meu. O curso de Inspetor I foi lancado em 2019. Até o momento foram realizados 14 cursos em diversas cidades brasileiras, de forma presencial e, ultimamente, de forma virtual, ao vivo. O curso de Inspetor II foi ministrado por 4 vezes. Estes cursos possuem como foco principal a apresentação e discussão dos conteúdos relativos a formação de Inspetores I e II de Estruturas de Concreto, segundo a ABNT NBR 16.230 (2013) - Inspecão de estruturas de concreto - Qualificação e certificação de pessoal – Requisitos. Os cursos visam o estabelecimento de diagnóstico e prognóstico do estado de conservação das estruturas de concreto, principalmente de Obras de Arte Especiais (OAE), bem como a identificação de procedimentos de reabilitação e manutenção que mantenham ou reestabeleçam seus requisitos de segurança estrutural, funcional e durabilidade. Trata-se de curso preparatório para que os profissionais possam se submeter ao processo de certificação do IBRACON. A Global PCS, reconhecida empresa no ramo de certificação de pessoal, gerencia a realização dos exames teóricos e práticos. Os cursos têm sido um verdadeiro sucesso e estão engajados na missão do IBRACON de disseminar corretos conhecimentos à cadeia produtiva do concreto.

IBRACON - VOCÊ É COORDENADOR DO CT 802 COMITÊ TÉCNICO IBRACON/ ALCONPAT DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO. QUAIS TÊM SIDO AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO COMITÊ? PODEMOS ESPERAR PARA BREVE ALGUM DOCUMENTO ORIENTADOR NA ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO?

E. P. F. – O CT-802 - Manutenção e Reabilitação de Estruturas é um comitê técnico do IBRACON a da ALCONPAT Brasil, criado em 2018, para produzir Práticas Recomendadas sobre reabilitação e manutenção de estruturas de concreto armado, bem como contribuir com a normalização da área. Cabe ressaltar que não temos no Brasil nenhuma norma sobre reabilitação das estruturas de concreto, o que dificulta o trabalho das empresas que produzem materiais e equipamentos para o setor, dos projetistas que acabam buscando referenciais em normas internacionais para apoiarem

seus projetos, das empresas executores das reabilitações que necessitam de procedimentos consagrados e dos órgãos governamentais e privados que necessitam licitar e fiscalizar obras de reabilitação e manutenção. O grupo vem trabalhando intensamente para disponibilizar ao meio técnico uma Prática Recomendada, ainda para esse ano.

IBRACON - VOCÊ É TAMBÉM PRESIDENTE DA ALCONPAT INTERNATIONAL. O QUE É E O QUE FAZ A ENTIDADE?

E. P. F. – A Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción



Avaliação de eco pulso ultrassônico (tomografia) na cabeça do Pilar PQ-8 da Arena Corinthians, para avaliar a existência problemas internos no concreto, bem como sua homogeneidade



NÃO TEMOS NO BRASIL NENHUMA NORMA SOBRE REABILITAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO



A OBRA DO MARACANÃ IMPACTOU O MERCADO DE MATERIAIS DE REPARO, RECUPERAÇÃO, REFORÇO E PROTEÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO





Região onde se localizava o Autódromo de Jacarepaguá e que foi transformado em Parque Olímpico 2016

(ALCONPAT Internacional) nasceu em 1991, em Córdoba, na Argentina, durante o I Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción. Participo dela desde seu começo, quando publiquei e apresentei trabalho no primeiro congresso da Associação. Cabe ressaltar que a ALCONPAT Brasil é membro fundador da ALCONPAT Internacional. Na ALCONPAT Brasil tive a satisfação de trabalhar com o Prof. Dario Klein (UFRGS) na redação do primeiro estatuto da Associação, o que me conduziu a Vice-Presidência e, anos mais tarde, a Presidência da ALCONPAT Brasil. Tanto a ALCONPAT

Brasil como a *ALCONPAT Internacional* são instituições sem fins lucrativos que têm por objetivos desenvolver e disseminar o correto conhecimento sobre as áreas de Patologia, Terapia e Controle da Qualidade das Edificações.

IBRACON - DE QUE FORMA SE DEU SUA PARTICIPAÇÃO NOS PROJETOS DE REVITALIZAÇÃO DE DIVERSOS ESTÁDIOS BRASILEIROS DE FUTEBOL, COMO MARACANÃ (RIO DE JANEIRO) E ARENA CORINTHIANS (SÃO PAULO) E NO PAROUE OLÍMPICO?

E. P. F. – Atuei como consultor e projetista de diversas obras de reabilitação das estruturas de concreto armado no Brasil e no exterior. A maioria desses trabalhos foi viabilizada através da Fundação de Apoio à Pesquisa da UFG. Certamente, a mais emblemática foi a obra de reabilitação e adequação do Estádio Maracanã para a Copa do Mundo de 2014 e Olimpíadas de 2016. Minha responsabilidade foi avaliar o estado de conservação das estruturas de concreto e produzir os procedimentos de reparo, recuperação e proteção das estruturas. Para diagnosticar os problemas, empreguei metodologia de avaliação composta por ensaios não destrutivos e destrutivos. Pude aplicar nos diagnósticos e nas reabilitações tudo aquilo que estudei e orientei ao longo dos anos. Tudo fazia sentido. Ainda me emociono quando entro no Maracanã, quando revejo o programa da Discovery Channel que apresenta parte dos trabalhos realizados ou quando revejo as imagens de uma palestra que ministrei dentro do Maracanã para uma plateia de mais de 3.000 alunos e profissionais que estavam nas arquibancadas. A obra do Maracanã impactou o mercado de materiais de reparo, recuperação, reforço e proteção das estruturas de concreto, com novos procedimentos de limpeza das armaduras, novas especificações, novas formas de controle e garantia da qualidade dos serviços e uma visão de sustentabilidade até então não solicitada nas especificações da área. Quanto à obra da Arena Corinthians, o problema foi diferente, pois se tratava de uma obra nova que sofreu um grande impacto acidental, devido à queda do último segmento metálico da cobertura, com peso estimado de 420 toneladas, levando, inclusive, a um óbito. O estádio estava sendo preparado para a cerimônia

de inauguração da Copa do Mundo e o acidente podia colocar em risco o evento. No diagnóstico para avaliar as condições dos pilares pré-moldados, empreguei a técnica não destrutiva de velocidade do pulso ultrassônico, para avaliar a homogeneidade do concreto e estimar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. a fim de comparar os valores obtidos com os especificados no projeto estrutural. Devido à importância destes elementos estruturais, também empreguei a técnica de tomografia computadorizada (eco pulso ultrassônico) para melhor avaliar a presença de defeitos internos nos pilares. Felizmente, o diagnóstico mostrou que esses importantes elementos estruturais não sofreram avarias com o impacto e não receberam nenhuma intervenção. No início das obras do Parque Olímpico, fui responsável pelo uso dos materiais que saíam da demolição do Autódromo de Jacarepaquá nas próprias obras do Parque Olímpico. Após as demolições, os resíduos de demolição eram caracterizados e comparados com as especificações de projeto e, quando eram compatíveis, esses resíduos ou materiais produzidos com esses resíduos eram incorporados às novas construções.

IBRACON - O QUE VOCÊ FAZ EM SEU TEMPO LIVRE, FORA DO TRABALHO?

E. P. F. – Sempre gostei de judô e de jogar futebol, mas, devido a um problema no joelho, que resultou em cirurgia, passei a nadar e caminhar. Mas, o que mais gosto é colocar meus filhos e esposa no carro e viajar por este brasilzão. A companhia deles me faz feliz.

Os marcos de gestão do IBRACON de 1999 a 2009

FÁBIO LUÍS PEDROSO – EDITOR, ORCID https://orcid.org/0000-0002-5848-8710 – fabio@ibracon.org.br

a virada do milênio, o Instituto consolida atividades e amplia sua oferta de serviços para profissionais e empresas da cadeia produtiva do concreto.

1. EDUARDO SERRANO PREZOU PELO DEBATE E DISSEMINAÇÃO DA NORMALIZAÇÃO E PELOS EVENTOS CONJUNTOS

Logo no início da gestão de Eduardo Serrano (1999-2001), foi formada uma comissão com a missão de elaborar um Plano de Ação do Instituto Brasileiro do Concreto, para ser apresentado às empresas, com a finalidade de obter adesão para o Grupo de Apoio à Presidência (GAP), para dar suporte financeiro às atividades do IBRACON.

Entre as ideias e propostas para o Plano de Ação, a diretoria cogitou criar um programa de certificação de mão de obra. Em 2000, Eduardo Serrano buscou apresentar a proposta para o Sindicato da Indústria da Construção em São Paulo (Sinduscon-SP), mas a entidade entendeu, naquele momento, que a alfabetização dos operários era sua prioridade. Desta reunião, veio o convite para o IBRACON integrar o Grupo de Qualidade das Estruturas do Sinduscon-SP, com o comprometimento de elaborar Práticas Recomendadas para a execução de obras.

Dentro desse espírito de se buscar a qualidade dos sistemas construtivos, o IBRACON, juntamente com Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), promoveram, ao longo do ano de 2000, uma série de workshops, em São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Belo Horizonte e Salvador sobre a revisão da norma brasileira NBR 6118. O objetivo dos workshops foi discutir exaustivamente

o texto normativo e receber contribuições dos profissionais de vários setores da construcão.

A iniciativa rendeu tantos comentários e exemplos, que eles foram posteriormente, ainda na gestão de Eduardo Serrano, publicados na forma de práticas recomendadas.

A normalização foi também um dos eixos temáticos do 42º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado naquele ano em Fortaleza, com participação de 900 profissionais e

estudantes. O foco foi como tornar a norma brasileira de projeto de estruturas, em revisão, uma norma internacional, a exemplo, das normas europeias e norte-americanas. Para balizar as discussões foram convidados como palestrantes o presidente do *American Concrete Institute* (ACI), James Jirsa, e o pesquisador alemão Hans Ulrich Litzner, que discorreu sobre o Eurocode.

Para contornar a edição de apenas um número em todo o ano de 2000 da Revista IBRACON, a diretoria implantou o Portal do Concreto, mais um site do Instituto na internet para divulgar novidades e informações sobre a cadeia produtiva do concreto e para hospedar artigos técnico-científicos apresentados de forma resumida nas edições da Revista. A edição 25 foi publicada com apenas 20 páginas, trouxe a cobertura do 42º Congresso Brasileiro do Concreto e foi viabilizada devido à formação do GAP.



Eng. Eduardo Serrano (dir.) compõe mesa do Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, que discutiu Práticas Recomendadas

"Tivemos o êxito de conseguir formar o GAP com o apoio de empresas e entidades que tradicionalmente nos apoiavam, como Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC), Belgo Mineira, Camargo Corrêa Cimentos, Emic, Gerdau, Holdercim/Holcim, Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS), Master Builders Technologies (MBT)/Degussa e Otto Baumgart/Vedacit. Com isso, a Revista IBRACON pode contar com patrocinadores e voltar pouco a pouco a circular", conta Serrano.

A conclusão da revisão da NBR 6118 ocorreu em 2001. A última revisão havia sido feita em 1978. Um dos coordenadores da redação final da nova norma de projeto de estruturas de concreto era o diretor técnico do IBRACON na época, José Zamarion Ferreira Diniz. Foi ele quem entregou ao Secretário do

Desenvolvimento da Produção de Foz do Iguaçu, Reginaldo Braga Arcuri, na solenidade de abertura do 43º Congresso Brasileiro do Concreto, na presença de 1100 participantes, a versão final do texto da nova NBR 6118:2001 e a Prática Recomendada para Estruturas de Edificios de Nível 1, publicada pelo IBRACON.

"Esta prática veio para facilitar a vida dos projetistas, principalmente dos pequenos escritórios de projetos, que passaram a prescindir de recorrer ao texto denso e integral da nova norma para fazer seus projetos. Não é à toa que a publicação teve uma boa receptividade do mercado", comenta Serrano.

Outro fôlego às atividades foi ter aumentado o número de profissionais em uma centena e dos estudantes em mais de duas centenas até o final de sua primeira gestão.

1.1 Marcos da segunda gestão (2001-2003)

A segunda gestão de Eduardo Serrano começou com a reformulação gráfica e editorial da Revista IBRACON, que, em julho de 2001, passou a ser editada pela Enfoque Comunicação & Marketing. Composta por uma parte informativa colorida, com 28 páginas, e um caderno técnico-científico, com 40 páginas, em preto-e-branco, destacável, a Revista ganha, pela primeira vez, um Conselho Científico. Este torna-se



o responsável pela avaliação e seleção dos artigos submetidos e publicados em cada edição. A submissão torna-se aberta a todos os profissionais.

Naquele ano, algumas Diretorias Regionais organizaram e realizaram workshops para apresentar uma síntese do novo texto da NBR 6118:2001 aos profissionais de seus estados, que contaram com palestrantes que participaram na Comissão de Revisão da Norma, como José Zamarion Ferreira Diniz, Augusto Carlos de Vasconcelos, Fernando Rebouças Stucchi, Paulo Helene, Antonio Carlos Laranjeiras, Francisco Paulo Graziano, Ricardo Leopoldo e Silva França, e Sérgio Mangini. "Foram realizados workshops no Ceará, Bahia. Minas Gerais. Amazonas e Rio Grande do Sul, para conscientizar os profissionais sobre a nova norma brasileira", esclareceu Serrano.

O IBRACON realizou, em 2002, dois eventos conjuntamente com outras entidades técnicas. O 4º Simpósio sobre Túneis Urbanos (TURB 2002), com a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE)

> e Comitê Brasileiro de Túneis da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (CBT/ABMS), que apresentou trabalhos técnico-científicos sobre escavação subterrânea, métodos construtivos. métodos de cálculo, equipamentos, legislação e manutenção de obras.

> E o 1º Simpósio IBRACON-Sinaprocim de Produtos Industrializados de Cimento, que trouxe

para o debate a tecnologia e a qualidade da produção de estacas, tubos, dormentes, postes e pavers, bem como a construção industrializada de lajes, vigas, pilares, fachadas pré-moldadas, telhas, alvenaria estrutural e argamassas industrializadas.

Próximo de completar 30 anos de existência, o IBRACON assinou um convênio com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, em maio de 2002, que lhe concedeu uma área física para construir sua nova sede no campus do IPT, em regime de comodato. Este era um pleito antigo do Instituto, desde que foi transferido de uma sala do Edifício Adriano Marchini para uma casinha de madeira, ainda na gestão da Yasuko Tesuka, em 1990.

O convênio, assinado entre o presidente do IBRACON, Eduardo Serrano, e o superintendente do IPT, Guilherme Ary Plonski, visava a interesses tecnológicos e educacionais a serem atendidos pela nova sede. O prédio seria um protótipo inédito de um laboratório em escala real, para estudos de longa duração sobre o comportamento de diferentes tipos de concreto na obra. Sendo assim, a obra seria produzida com as mais modernas tecnologias construtivas e de monitoramento, para gerar informações e conhecimentos sobre o concreto para estudantes, pesquisadores e a iniciativa privada.

Como não podia deixar de ser, o evento comemorativo dos 30 anos do IBRACON aconteceu na forma de um simpósio no auditório do prédio Adriano Marchini, no IPT, berço da entidade, nos dias 24 e 25 de junho. No dia 23, houve uma apresentação coral na Sala São Paulo, que abriu as comemorações.

O Simpósio "IBRACON: 30 anos aperfeiçoando o concreto no Brasil" reuniu a nata dos seus fundadores. Augusto Carlos Vasconcelos palestrou sobre as inovações em 50 anos da tecnologia



Eng. José Zamarion palestra sobre o texto da ABNT NBR 6118:2001 para profissionais da Regional do IBRACON em Goiás



Mesa de abertura do Simpósio Comemorativo de 30 anos do IBRACON

do concreto. "Se antes o Brasil era um dos países a realizar os recordes mais importantes, depois passou um longo tempo sem que fizéssemos nenhuma obra notável, merecedora de um recorde nacional. Agora, estamos novamente chegando a esses recordes. Assim, é muito oportuno falar sobre isso, ainda mais que o Brasil recentemente conquistou um recorde extraordinário: o de ter o concreto de maior resistência no mundo inteiro, executado em obra, em betoneira comum", justificou Vasconcelos na cobertura do evento na edicão 30 da Revista IBRACON sobre a escolha do tema de sua palestra no Simpósio comemorativo, fazendo referência ao concreto do edifício e-Tower, cujo tecnologista responsável foi Paulo Helene.

Walmor José Prudêncio tratou do concreto aparente na arquitetura. "A temática que eu elegi, portanto, foi a de valorizar o concreto como material final de acabamento, desde que tomadas certas precauções relativas aos processos executivos e aos cuidados nos projetos em seus detalhes específicos", comentou Prudêncio na mesma edicão.

José Zamarion Ferreira Diniz abordou a evolução das normas de concreto estrutural. "Minha palestra é voltada às contribuições que as Comissões Técnicas do IBRACON ou Comitês Técnicos, como são conhecidos, prestaram ao desenvolvimento das normas brasileiras ligadas ao concreto, tanto na parte de tecnologia, quanto na de estruturas. Vários comitês do IBRACON colaboraram ao longo desses 30 anos para a feitura dessas

normas, seja com textos básicos, ou práticas recomendadas que depois se transformaram em normas", esclareceu Zamarion na edição.

Antonio Carlos Laranjeiras expôs como a durabilidade é uma chave para o desenvolvimento sustentável. "As estruturas de concreto precisam ser mais duráveis do que são hoje, para que formem uma parte da solução do desenvolvimento sustentável. O IBRACON é uma entidade que consolida, centraliza e reúne as inteligências na área da indústria do concreto no Brasil, e vem a cada ano se afirmando com mais força como um pólo e instrumento de congregação da engenharia nacional", argumentou Laranjeiras.

Geraldo Cechella Isaia compilou os trabalhos sobre adições minerais no concreto estrutural. "Fiz uma pesquisa de todos os trabalhos apresentados no IBRACON, nestes 30 anos, e uma classificação, em relação às adições minerais: quem apresentou, quais são as adições mais divulgadas, qual foi o assunto que mais predominou", disse.

Na ocasião, a maquete do projeto da futura sede do IBRACON ficou exposta no saguão do IPT, próximo ao auditório.

Antes da segunda gestão de Eduardo Serrano se encerrar, dois acontecimentos merecem registro. O lançamento da Prática Recomendada "Comentários da NB-1", fruto do trabalho de seu Comitê Técnico CT 301 Concreto Estrutural acerca das discussões de revisão da NBR 6118:2003.

A Revista IBRACON passa por mais uma reformulação gráfica e editorial. Desta vez, a transformação começa pelo título. Para se projetar no mercado editorial e ganhar visibilidade para além da comunidade reunida em torno do IBRACON, a Revista passa a se chamar Concreto.

Como a titularidade da denominação pertencia à Editora PINI, o diretor de publicações e divulgações técnicas do IBRACON, José Martins Laginha Neto, inicia uma negociação com Mário Pini e obtém um acordo para uso do nome pela Revista do IBRACON.

"Hoje, a Revista CONCRETO se consolidou no setor, estando na sala de espera das áreas técnicas de engenharia em nível nacional", comemora Serrano.

2. PAULO HELENE DIVERSIFICOU PUBLICAÇÕES EDITORIAIS, PRÊMIOS E CONCURSOS, BEM COMO CRIOU PROGRAMA DE CURSOS, CERTIFICAÇÃO E DE PESQUISAS

Ao se formar em 1972, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), Paulo Helene foi trabalhar como engenheiro de obras, ramo ao qual se dedicou por cinco anos, quando foi para Espanha, fazer especialização no curso 'Controle de Qualidade e Patologia na Construção', no Instituto Eduardo Torroja.

De volta, em 1977, foi convidado pela Profa. Yasuko Tesuka a trabalhar no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), e pelo Prof. Francisco Romeu Landi a dar aulas na Poli-USP. Nesta fez seu mestrado e doutorado e se aposentou como professor titular, em 2010. Naquele, trabalhou por 10 anos e foi quando iniciou sua militância no Instituto Brasileiro do Concreto, primeiramente como palestrante e coordenador do Comitê Técnico sobre Controle da Qualidade do Concreto, depois como conselheiro, diretor e, finalmente, como presidente em duas gestões (2003/2005 e 2005/2007).

2.1 Novas revistas, cursos, concursos e banco de teses e dissertações

Pela primeira vez na história do Instituto Brasileiro do Concreto, a eleição

para a gestão 2003-2005 teve dois candidatos: Cláudio Kerr do Amaral, filho do ex-presidente Epaminondas Melo do Amaral Filho, e Paulo Helene, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ambos com participação intensa na gestão do Instituto. Por uma margem apertada, o Prof. Paulo Helene foi eleito.

Sua gestão inicia-se com a mudança da sede, de uma casinha de madeira para um espaço de 393 m² no Prédio 62 do IPT, com sala de reunião, secretaria, arquivo e minianfiteatro com 40 lugares. O acordo previa seu uso por 10 anos, em regime de comodato, para realização das atividades do IBRACON, como cursos, treinamentos, processos de certificação, palestras e seminários.

A mudança era uma das diretrizes estipuladas pela Comitê de Desenvolvimento do IBRACON (CDI), constituído na gestão anterior e que elaborou um documento com propostas de ação para os próximos 10 anos.

Paulo Helene atendeu também a contratação de um secretário-executivo, para planejar e coordenar as atividades do Instituto, e buscar sustentabilidade financeira para essas atividades no médio prazo.

Uma das primeiras medidas para desonerar os custos foi a assinatura de um contrato entre o IBRACON e a Editora Conceptus para gerir a Revista Concreto, sem ônus ao Instituto. Com esse acordo, a Revista foi mais uma vez reformulada editorial e graficamente, passando a apresentar um layout moderno em sua capa e páginas, e ampliando o espaço das reportagens de interesse mais geral sobre obras, sistemas e tecnologias do setor.

Os artigos técnico-científicos, antes publicados na Revista IBRACON, foram direcionados para as revistas eletrônicas recém-lançadas – Revista IBRACON de Estruturas (RIEST) e Revista IBRACON de Materiais (RIMAT). De caráter científico, esses periódicos contavam com corpos de editores e corpos de revisores, além de uma plataforma on-line para submissão, gerenciamento de avaliação e publicação dos artigos.

A solução informatizada de recebimento, avaliação e gerenciamento



de resumos e artigos técnico-científicos foi adotada para o 47º Congresso Brasileiro do Concreto, em Recife. Por sua vez, o site do evento permitiu também, pela primeira vez, a inscrição online no Congresso.

Já, o site do IBRACON passou a contar com:

- Loja Virtual para exposição e aquisição on-line de suas publicações;
- banco de associados, separados por categorias;
- organograma dos recém-criados 11 Comitês Técnicos e 34 subcomitês;
- calendário de cursos e eventos;
- banco de teses e dissertações cadastro on-line de pesquisas de pós-graduação sobre o concreto, em nível de mestrado e doutorado, nas áreas de estruturas e materiais denominado CONCRETO Brasil, ideia retomada da gestão de José Zamarion Ferreira Diniz, quando da Missão do IBRACON no Canadá (ver edição 105).

"Eu participei da Missão Canadá e, quando voltei, fui incumbido pelo presi-

CONCERCIO

ARCHIERO MICHAELE

ROTE

Destaque da capa da edição 34 da Revista CONCRETO, após a reformulação gráfica e editorial

dente do IBRACON à época parar implantar projeto similar no Brasil. Junto com Cláudio Sbrighi elaboramos o projeto e buscamos apoio nas Agências de Fomento. Infelizmente, não tivemos o apoio necessário e o projeto ficou nos arquivos do Instituto como colaboração à pesquisa científica", lembra Paulo Helene.

O Projeto Concreto Brasil tem como objetivos: levantar as necessidades de pesquisa e desenvolvimento sobre o concreto; fomentar as pesquisas sobre o concreto nas agências de fomento; e intermediar as pesquisas de interesse das indústrias ligadas ao concreto.

Na primeira gestão do Prof. Paulo Helene na presidência, foram cadastradas 167 pesquisas de pós-graduação no Projeto Concreto Brasil e realizadas duas edições do Workshop de Pesquisa, onde foram apresentadas as situações correntes das pesquisas brasileiras voltadas ao concreto, na tentativa de identificar áreas prioritárias para novos projetos de pesquisas. Esses seminários e a implantação do cadastro no site foram coordenados pelo diretor de pesquisa e desenvolvimento da gestão, Prof. Túlio Noqueira Bittencourt.

Com relação à nova estrutura dos Comitês Técnicos, seu propósito foi dinamizar a criação de textos-base para servir de ponto de partida para as discussões nas comissões da Associação Brasileira de Normas Técnicas e a elaboração de práticas recomendadas para o setor construtivo.

Vale destacar a criação do CT de Atividades Estudantis, cuja coordenação coube ao Eng. Paulo Martins Pereira Neto, responsável pela formulação do Regulamento do Concurso Aparato de Proteção ao Ovo. Foi no âmbito deste CT que foi criado o novo concurso estudantil do IBRACON – o Concrebol.

A primeira demonstração do Concrebol ocorreu na Conferência Internacional "100 anos do ACI – Construção

em concreto como fator de integração das Américas", realizada em São Paulo, em abril de 2004, que contou com palestrantes estrangeiros e brasileiros, que discutiram temas pertinentes para o avanço do concreto. Já, a competição aconteceu no 46º Congresso Brasileiro do Concreto, em Florianópolis. O concurso consiste na fabricação de uma esfera de concreto, que passa nos testes de resistência à compressão e de esfericidade.

No 46º Congresso Brasileiro do Concreto ocorreu também a primeira premiação do destaque do ano em pesquisa em estruturas de concreto – Prêmio Fernando Luiz Lobo Barbosa Carneiro, recém-criado. Durante este Congresso, a Assembleia Geral do IBRACON referendou a alteração do Estatuto do IBRACON para adequá-lo ao novo Código Civil Brasileiro. Nela, os termos 'sócio' e'sociedade civil' foram substituídos por 'associado' e 'associação', e houve alterações quanto à composição da receita e patrimônio do Instituto e quanto ao quórum das Assembleias.

No final de 2004, diante do desabamento do Edifício Areia Branca na região metropolitana de Recife, o IBRACON organiza, juntamente com Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece) e Instituto Brasileiro



José Zamarion dá o pontapé inicial para as competições do CONCREBOL



Diretores e presidentes do IBRACON e do ACI participam do evento comemorativo de 100 anos do American Concrete Institute

de Avaliações e Perícias em Engenharia (Ibape-SP), o debate "Lições do Areia Branca: acidentes, responsabilidades e segurança das obras". A questão que permeia as discussões: a necessidade de implementação de programa de inspeções periódicas das edificações.

Os consensos formados durante as

discussões ensejadas no Debate são compilados no documento "Segurança das Obras Civis", onde são feitas propostas para inspeção de edificações existentes, para certificação de mão de obra, para aperfeiçoamento do ensino de engenharia civil, para o exercício profissional e para a normalização da inspeção técnica. O documento é publicado em destaque na edição 37 da Revista CONCRE-TO, cujo gerenciamento editorial passou a ser assumido pelo IBRACON diante da falência da Editora Conceptus. No final da primeira gestão do Prof. Paulo Helene, a Revista já se firmara no contexto editorial do país como periódico técnico-científico e informativo, trimestral, de circulação controlada, auditada pelo Instituto Verificador de Circulação (IVC).

Outras realizações da primeira gestão do Prof. Paulo Helene como presidente foram: a criação e implementação do Programa MasterPEC; a criação do concurso Ousadia; e o lançamento do livro "CONCRETO: Ensino, Pesquisas e Realizações".

O Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto é um sistema de cursos de atualização profissional abrangendo conhecimentos científicos e tecnológicos sobre cada etapa do ciclo construtivo das obras de concreto. O programa confere certificado aos alunos que, em quatro anos, acumulem uma quantidade de créditos-aula em cursos oferecidos. O objetivo do Programa é estimular a divulgação do bom uso do concreto na construção.

Durante a primeira gestão, mais de 90 alunos assistiram aos três cursos oferecidos: Patologias das Estruturas de Concreto; O concreto na arquitetura; e Sustentabilidade e Responsabilidade Social – a contribuição do concreto.

O concurso Ousadia foi elaborado

para atrair estudantes de arquitetura para o IBRACON e para incentivar o trabalho em equipe entre eles e os estudantes de engenharia civil. Seu propósito é incentivar os estudantes a criar projetos de arquitetura tecnicamente viáveis e que ressaltem as qualidades plásticas do material. O primeiro concurso desafiou os estudantes a elaborar o anteprojeto de uma ponte sobre o Rio Pina, em Recife, de acordo com o projeto viário previsto para urbanização da cidade. A competição ocorreu no 47º Congresso Brasileiro do Concreto, em Olinda, envolvendo 16 equipes, que tiveram seus projetos expostos em pranchas em murais, maquetes e num relatório técnico que demonstrou a viabilidade estrutural quanto aos estados limites e durabilidade. Esses projetos foram julgados por uma comissão de arquitetos e engenheiros renomados, entre os quais: Ruy Ohtake, Bruno Contarini, Adão da Fonseca, Raul Husni, Hugo Corres, Mário Franco, dentre outros.

O livro "Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações" é uma obra didática produzida para ser o conhecimento mais atualizado sobre tecnologia do concreto na época de seu lançamento, escrita por 64 especialistas brasileiros, com a finalidade de servir de texto-base para as disciplinas sobre o concreto dos cursos de engenharia civil e arquitetura do Brasil. O compêndio faz menção a todas as normas brasileiras referentes aos temas de seus 50 capítulos e traz a experiência de profissionais brasileiros em suas 1579 páginas, distribuídas em dois volumes. A coordenação editorial do trabalho coube ao professor da Universidade de Santa Maria, Geraldo Cechella Isaia.

2.2 Criação do programa de certificação de pessoas, modernização legal e lancamentos editoriais

A nova gestão inicia-se em nova sede, num condomínio fechado na cidade de São Paulo, diante da decisão do IPT de retomar a área cedida ao IBRACON.

O IBRACON ganha mais uma atribuição: Organismo de Certificação de Pessoas. Ele passa a ter um Núcleo de



Qualificação e Certificação de Pessoal, para implementar uma sistemática para treinamento, avaliação e certificação de profissionais responsáveis pela execução das atividades de controle da qualidade relativas ao concreto e seus componentes. Uma nova diretoria foi criada para gerenciar esse processo — o diretor de certificação de mão de obra, assumida pelo ex-presidente da Abece, Julio Timerman, que esteve à frente do processo para implantação do programa de certificação de mão de obra no IBRACON.

Para incentivar o cadastro das pesquisas no Projeto Concreto Brasil, o Comitê de Pesquisa e Desenvolvimento instituiu, em 2006, o Prêmio de Teses e Dissertações, que, anualmente passa a premiar, alternadamente, as melhores dissertações e as melhores teses dos últimos três anos, nas áreas de estruturas e de materiais. A escolha é feita por comissões de especialistas com base nos critérios de qualidade, atualidade e contribuição para o desenvolvimento tecnológico, social e econômico da sociedade. A primeira premiação aconteceu no 48º Congresso Brasileiro do Concreto, no Rio de Janeiro, tendo con-

templado dois trabalhos de mestrado e dois trabalhos de doutorado.

O Estatuto do IBRA-CON foi modernizado, incorporando as novas atribuições e atividades do Instituto, e novos Regulamentos foram criados, enquanto outros foram revisados, perfazendo um total de 12 documentos reguladores das atividades do Instituto.

Para incentivar as atividades nas Regionais, a Revista CONCRETO & Construções criou a se-

ção "Acontece nas Regionais", com o intuito de divulgar os eventos ocorridos e programados.

O IBRACON participa, junto com o Instituto de Engenharia de São Paulo, a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), a Abece e da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), em março de 2007, do Debate "O momento atual da engenharia brasileira", que propôs discutir os problemas do contexto técnico, legal, social e econômico no qual se inseria a engenharia brasileira e que explicava os recentes acidentes com obras, como o desabamento da Estação Pinheiros do Metro de São Paulo. O assunto foi debatido pelas Regionais do IBRACON e em painel no 49º Congresso Brasileiro do Concreto, em Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul.

Foi criado o Prêmio Oscar Niemeyer Soares Filho, atribuído ao destaque do ano em projetos de arquitetura em concreto. Quem recebeu o primeiro prêmio foi o arquiteto Ruy Ohtake, no 49º Congresso Brasileiro do Concreto, em 2007. A partir deste ano, as indicações os Prêmios passaram a ser feita por meio



Homenagem aos autores do livro "Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações"



Mesa do Debate "O momento atual da Engenharia Brasileira"

do site do IBRACON pelos associados.

No Congresso, foi lançado o livro "Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais", obra que aborda, de maneira didática, todo o ciclo de conhecimentos necessários para utilização dos materiais na construção civil. O compêndio, coordenado pelo presidente do Comitê Técnico de Materiais de Construção do IBRACON, Prof. Geraldo Cechella Isaia, contou com a colaboração de 85 especialistas, que escreveram suas 1700 páginas, distribuídas em 51 capítulos, em dois volumes.

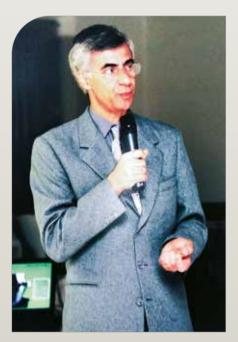
Durante a segunda gestão do Prof. Paulo Helene, foi lançado também os Comentários Técnicos e Exemplos de Aplicação da NB-1, iniciativa do CT-301 Concreto Estrutural para complementar e esclarecer os aspectos dos procedimentos estabelecidos pela NBR 6118:2003. Os engenheiros José Zamarion, Antonio Laranjeiras e Paulo Helene introduziram o conceito de durabilidade e vida útil na norma brasileira por primeira vez, nesta versão. Por sua vez, foi a iniciativa do IBRA-CON de traduzir esta norma para o inglês e, junto com a ABNT, promover sua discussão no âmbito do ISO/TC 71, organismo internacional de padronização de normas de projeto, inclusive com a promoção de sua reunião plenária em Salvador, em 2007, que a ABNT NBR 6118:2003 ganhou reconhecimento internacional.

A gestão encerrou-se com o sucesso do Programa MasterPEC, com a qualificação de 528 alunos em seus cursos oferecidos e com a assinatura de protocolos de cooperação mútua com 19 entidades nacionais e internacionais, entre elas o ACI e o Japan American Institute (JCI).

No âmbito estatutário, o Prof. Paulo Helene conseguiu alterar as regras de eleição de presidente, que permitiam a reeleição por vários mandatos seguidos, para apenas uma reeleição sequencial, assegurando a necessária renovação e rodízio dos presidentes e diretores por eles escolhidos.

3. RUBENS BITTENCOURT VOLTOU SUA GESTÃO PARA CAPACITAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

Rubens Machado Bittencourt formou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná, em 1977. Fez especialização na Universidade da Califórnia, em Berkeley, e MBA em



Rubens Machado Bittencourt palestrando no 43º Congresso Brasileiro do Concreto

gestão empresarial pela Fundação Getúlio Vargas.

Foi gerente geral do Centro Tecnológico de Engenharia Civil de Furnas Centrais Elétricas, em Aparecida de Goiânia, de 2003 a 2014 e do Centro Tecnológico de Engenharia Hidráulica, em Jacarepaquá, de 2010 a 2014.

Foi diretor técnico do IBRACON desde a gestão de Eduardo Serrano, em 2003, e durante as duas gestões de Paulo Helene. De 2007 a 2009, assumiu a presidência do Instituto.

3.1 Consolidação da certificação de pessoal

O cenário econômico da construção apresentava resultados bastante favoráveis no segundo semestre de 2007, quando o Eng. Rubens Machado Bittencourt assumiu a presidência do IBRACON, com perspectiva de crescimento no volume de obras, tanto no setor imobiliário quanto de obras de infraestrutura.

O desafio era capacitar recursos humanos para fazer frente ao movimento de retomada sustentável do setor. Em razão disso, a diretoria de certificação de mão de obra, recém-criada, foi privilegiada na dotação orçamentária do Instituto.

"A Petrobras necessitava certificar seus colaboradores em várias áreas. Além disso, o país passava por um momento ótimo na engenharia de obras de infraestrutura espalhadas por todo o território, tendo, por contrapartida, escassez de mão de obra qualificada. Esse cenário levou a Diretoria e o Conselho Diretor do IBRACON a vislumbrar uma grande oportunidade", explica Rubens Bittencourt.

Logo ao assumir, ele implantou um sistema novo de gestão orçamentária. A cobrança da anuidade passou a ser realizada automaticamente, com a emissão de boleto bancário, enviado na data de admissão e devidamente controlado pelo banco.

"Procuramos analisar as receitas e despesas agrupadas pelas principais atividades desenvolvidas dentro da missão do Instituto, pois não existem receitas sem despesas associadas a elas. Por exemplo: a venda de um livro gera receita, que tem despesas associadas, como produção, remessa e taxa de cobrança. Estes custos não podiam mais fazer parte dos custos de manutenção da sede", esclarece Bittencourt.

O primeiro encargo da diretoria de certificação de mão de obra, a cargo do Eng. Julio Timerman, foi apresentar o Regulamento do Programa de Certificação de Pessoal do IBRACON, que trouxe as diretrizes para o funcionamento das instâncias diretivas, administrativas e técnicas do programa. O Regulamento foi aprovado em julho de 2008. Ele criou o Conselho de Certificação, formado por nove profissionais de diferentes segmentos da construção civil, para discutir e homologar as diretrizes para certificação, além de validar os procedimentos do Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal, a instância executiva, responsável por conferir a documentação dos inscritos no programa, agendar provas teóricas e práticas com os examinadores e laboratórios credenciados, e encaminhar toda documentação para o Conselho de Certificação validar ou não os procedimentos, autorizando ou não a emissão do certificado profissional. O Conselho de Certificação é responsável ainda por validar as atividades dos Comitês Setoriais, formado por profissionais experientes que estabelecem competências, definem grade curricular e requisitos a serem atendidos pelos candidatos que anseiam pela certificação.

A autorização, concedida pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualificação Industrial), para o IBRACON realizar os procedimentos de certificação de mão de obra foi obtida em dezembro daquele ano. Com a autorização, o IBRACON se tornou a primeira entidade credenciada para certificar profissionais no setor da construção civil no Brasil.

Para se tornar um Organismo Certificador de Pessoal (OPC), o IBRACON precisou cumprir uma série de obrigações e adequações de suas atividades aos procedimentos da norma brasileira ABNT NBR 17024, que regulamenta as atividades dos organismos certificadores de pessoas.



Na primeira fase, o IBRACON focou na certificação de profissionais responsáveis pelo controle tecnológico do concreto: auxiliares, laboratoristas e inspetores de laboratórios de controle da qualidade de obras. A obtenção do certificado pelo profissional atesta que possui conhecimentos das especificações e dos procedimentos dos ensaios citados na ABNT NBR 15146, estando apto a realizar as atividades de controle tecnológico do concreto.

A primeira turma certificada ocorreu em julho de 2009. Os tecnologistas da Alphageos, ABCP, EPT e Imperflon fizeram um exame teórico geral (que avaliou conhecimentos nas áreas de matemática, segurança do trabalho, calibração de equipamentos, comportamento em laboratório e manuseio de instrumentos), um exame teórico específico (que avaliou o conhecimento em relação às normas técnicas) e

um exame prático (realização de três métodos de ensaio de concreto fresco). Numa etapa posterior, fizeram uma entrevista técnico-pedagógica, onde cada candidato recebeu uma avaliação dos aspectos positivos e negativos levantados em seu processo de avaliação.

"A certificação de pessoal é uma aspiração antiga do IBRACON, que vem se somar à sua missão de contribuir para o desenvolvimento da cadeia produtiva do concreto, na medida em que aumenta a confiabilidade dos resultados dos ensaios de controle tecnológico e reduz desperdícios no processo", explicou Julio Timerman na edição 55 da Revista CONCRETO & Construções.

3.2 Fortalecimento da área editorial e consolidação do Congresso

A gestão voltada para qualificação de profissionais na cadeia produtiva do concreto levou também à publicação da tradução para o português do livro "Concreto: microestrutura, propriedades e materiais", best-seller dos professores Kumar Mehta e Paulo Monteiro, que gentilmente doaram seus direitos autorais de publicação ao IBRACON. Coordenado por Nicole Hasparyk, Paulo Helene e Vladimir Paulon, a tradução do livro de 14 capítulos, totalizando 674 páginas, envolveu vários profissionais de excelência, e foi lançada no 50° Congresso Brasileiro do Concreto,



Candidato realiza exame prático para obter certificado do Programa de Certificação de Pessoal do IBRACON

em Salvador, em 2008. Desde que foi lançado em 1992, o livro foi citado centenas de vezes em dissertações e teses sobre o concreto e, por isso, é referência obrigatória para estudantes, pesquisadores, professores e profissionais de engenharia civil e arquitetura.

o 50º Congresso Brasileiro do Concreto bateu todos os recordes das edições anteriores: em número de artigos submetidos, publicados e apresentados (413); em número de participantes (1418); em número de palestrantes; em número de expositores (63) na Feira Brasileira das Construções em Concreto (FEIBRACON), que, pela primeira vez, foi aberta ao público em geral, ao invés de ser reservada apenas aos inscritos no evento e, por isso, teve público recorde (4197).

"Organizar o 50º Congresso Brasileiro do Concreto, em Salvador, foi um desafio. O mundo estava cercado em incertezas frente a crise financeira mundial de 2008. Os valores para realização do evento foram bem mais altos que os valores registrados anteriormente. Praticamente, o balanço entre receitas e despesas previstas gerava saldo zero. Em razão disso, os almoços tiveram que ser cortados dos valores das inscrições", argumenta Rubens.

Apesar disso, o evento se consolidou como o maior evento técnico-científico nacional do setor construtivo, "uma conquista memorável para uma instituição, afinal de contas não são muitas

instituições no Brasil que conseguiram chegar a um número tão expressivo de eventos como este", registrou o diretor de eventos do IBRACON, Prof. Tulio Nogueira Bittencourt, na edição 52 da Revista CONCRETO & Construções.

Foi na gestão de Rubens Bitencourt que houve também a consolidação da Revista IBRACON de Estruturas e Materiais – RIEM, formada a partir da fusão das revistas eletrônicas Revista IBRACON de Estruturas (RIEST) e Revista IBRACON de Materiais (RIMAT). A fusão visou contemplar a publicação de quatro edições anuais com 10 artigos científicos por edição, o que se manteve e se ampliou desde então. Com a finalidade de obter reconhecimento internacional, a RIEM publica os artigos em inglês, mas permitia inicialmente aos autores a submissão dos manuscritos em português ou espanhol, fazendo sua tradução após sua aprovação. Tal procedimento permitiu aos profissionais não tão familiarizados com o inglês comunicar seus trabalhos à comunidade científica internacional.

Apesar da sustentabilidade na cadeia produtiva do concreto ser tema debatido no seio do IBRACON de longa data – em 2009 foi realizado o IX Seminário de Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil, pelo Comitê Técnico do Meio Ambiente – ele foi, pela primeira vez, incorporado aos temas do 51º Congresso Brasileiro do

Concreto, além de ser também tema de um seminário paralelo. "A questão da sustentabilidade irá permear por todas as etapas dos processos produtivos em escala global, incidindo de maneira muito aguda nos empreendimentos de infraestrutura, os quais têm uma necessidade muito intensa de aplicação do concreto como material de construção", justificou o diretor regional do IBRACON no Paraná, sede do evento, Prof. José Marques Filho, no editorial da edição 55 da Revista CONCRETO & Construções.

No 51º Congresso Brasileiro do Concreto, os profissionais de destaque do ano foram indicados pelos associados e, pela primeira vez, escolhidos por uma comissão formada por profissionais renomados. Por determinação do Conselho Diretor, foram conferidos prêmios a seis categorias apenas, alternando-se as categorias de um ano a outro.

"Cada prêmio tem sua comissão formada por profissionais com formação relativa ao ele. Essas comissões analisam os indicados para cada categoria e escolhe entre os profissionais que mais se destacaram na área de abrangência do prêmio, dando-lhe mais credibilidade", pondera Rubens. Quanto à redução das categorias premiadas a cada ano, "foi para não consumir muito tempo na cerimônia de abertura dos Congressos", adiciona.

No evento, foi assinado também um convênio entre o IBRACON e a Petrobrás, para que o Instituto passasse a certificar profissionais da empresa.

Por fim, os Comitês Técnicos foram mais uma vez reformulados. Com o objetivo de agilizar o desenvolvimento de práticas recomendadas e de contribuir mais efetivamente com as discussões técnicas no âmbito da ABNT, os Comitês passaram a integrar entidades técnicas de segmentos da cadeia do concreto, como ABECE, ABCIC, ALCONPAT e IBI, cujos membros passaram a contribuir efetivamente com sua condução.

O primeiro Comitê Técnico com nova constituição foi o CT 301 Projeto de Estruturas de Concreto, que passou a ser coordenado conjuntamente pelo IBRACON e pela ABECE. Foi por meio do trabalho deste Comitê que a ABNT NBR 6118 obteve seu registro na ISO, em 2008, tornando-se norma internacional.



Auditório lotado para assistir a palestra do Prof. Paulo Monteiro durante o 50º Congresso Brasileiro do Concreto

Reparo **localizado** para **estruturas de concreto armado**: erros, acertos e reflexões

MARCELO H. F. DE MEDEIROS, https://orcid.org/0000-0003-3112-9715; PAULO A. DASCHEVI, https://orcid.org/0000-0002-2716-3091 EMANOEL C. ARAÚJO, emanoelcunhaa@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7825-3479 – UFPR

RESUMO

localizado é uma das técnicas mais utilizadas pelos engenheiros para reabilitação de estruturas de concreto armado. No entanto, observa-se que este não tem sido efetivo em deter o processo corrosivo e, frequentemente, é realizado repetidas vezes, com altos custos e sem sucesso. Nesse contexto, este artigo trata do conceito do ânodo incipiente, que consiste no fenômeno da deterioração prematura dos reparos localizados. Além disso,

investiga as condições de compatibilidade dimensional, com destaque para a retração e variações térmicas. Por fim, apresenta técnicas que podem ser aplicadas concomitantemente à realização do reparo, como a utilização de ânodos de sacrifício, a aplicação de proteção de superfície e o uso de inibidores de corrosão migratórios. Com isso, são apresentados caminhos que podem mitigar os danos precoces citados e conduzir a reparos efetivos e duráveis.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO, REPARO LOCALIZADO, COMPATIBILIDADE, ÂNODO INCIPIENTE.

1. INTRODUÇÃO

Figura 1 mostra um esquema da vida útil das estruturas de concreto armado, evidenciando o período de iniciação que conta desde a produção da estrutura até o momento que um processo de deterioração se instala e faz a corrosão de armaduras iniciar. Em seguida, entra-se no período de propagação da corrosão, de modo que o processo evolui até atingir um

nível de dano considerado inaceitável. Após este momento, adentra-se no período da vida útil da estrutura de concreto armado que é foco deste artigo, o momento em que são necessárias ações de reabilitação, em destaque na Figura 1.

Em 2016, o custo total da corrosão para vários países foi estimado entre 4 e 10% do PIB, dos quais cerca de 50% é devido à corrosão em estruturas de concreto armado. De acordo

com Krishnan et al. (2021), o NACE Impact Report (2016) indica que ≈ 50% das estruturas de concreto armado são reparadas dentro de 10 anos após a sua construção. Geralmente, solução adotada é a execução de reparos localizados. Contudo, existem relatos de que o reparo localizado não é capaz de impedir a corrosão de armaduras.

Desse modo, é fato que os reparos adotados em muitas estruturas estão falhando em cerca de 5 anos, gerando a necessidade de reparos repetidos e aumento significativo no custo total da corrosão e do ciclo de vida das estruturas de concreto armado. Os motivos para as falhas prematuras permeiam pela falta de rigor técnico na execução, pela incorreta especificação de materiais e pela economia nos sistemas de reparo (reparos incompletos para reduzir custo), de modo a não se atingir a estagnação plena do processo de corrosão.

Neste contexto, sabe-se que a corrosão em estruturas reparadas costuma reiniciar na interface entre o concreto antigo e a área reparada. Sendo assim, a corrosão pode continuar a progredir dentro do concreto, mesmo após uma seção de concreto deteriorado ter sido removida e substituída por um novo material de reparo. Isso geralmente é causado pela proteção insuficiente contra corrosão de vergalhões corroídos (Kim et al., 2016). Esses fatos indicam que um grande número de estruturas de concreto armado pode precisar de reparos repetidos ao longo da sua vida útil, resultando em uma demanda acima da necessária devido à falta de eficiência das

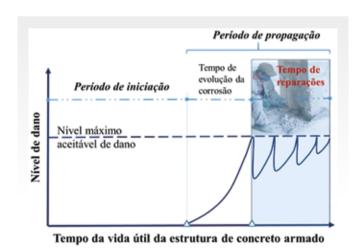


Figura 1

Esquema das fases da vida útil de uma estrutura de concreto armado

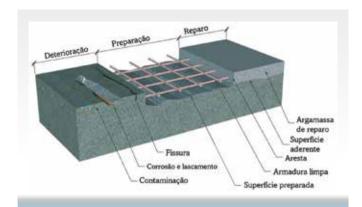


Figura 2
 Composição de um sistema de reparo localizado
 Fonte: Adaptado de Helene (1992) e Emmons e Vaysburd (1996)

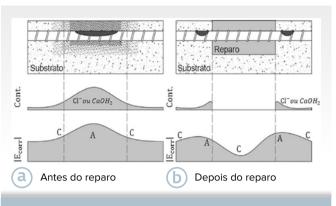


Figura 3
 Esquema da ocorrência típica do ânodo incipiente

 Fonte: Adaptado de Ali et al. (2018)

intervenções por reparo. Portanto, existe a necessidade de adotar uma estratégia de reparo adequada (Kamde et al., 2021), para evitar o uso indevido de recursos naturais e contribuir para o aumento da sustentabilidade do concreto armado.

2. FORMAÇÃO DE ÂNODOS INCIPIENTES

A realização de reparos localizados é uma das técnicas mais difundidas para recuperação de estruturas de concreto armado. O procedimento busca interromper o processo anódico na área reparada, restaurando a condição passiva das armaduras pela substituição do concreto contaminado por argamassa ou graute de reparo. As etapas para realização do reparo estão ilustradas na Figura 2.

Ainda assim, tem-se notado a ocorrência de corrosão na vizinhan-ça do reparo pouco tempo depois de sua execução, mesmo nos casos em que a intervenção tenha sido realizada em estrita conformidade com as prescrições técnicas e normativas, conforme ilustrado na Figura 3. Essa deterioração precoce em reparos localizados é usualmente denominada ânodo incipiente.

No âmbito nacional, foram desenvolvidos trabalhos pioneiros como o de Helene e Monteiro (1993), que corrobora a ocorrência de migração das células de corrosão para as adjacências do reparo quando usadas técnicas usuais de reparos localizados. Diante disso, os autores recomendaram a adoção de medidas adicionais para supressão da corrosão, tais como proteção de superfície por barreira, proteção catódica galvânica e redução da agressividade do ambiente. Também vale ressaltar que as bases metodológicas adotadas nesse trabalho foram replicadas em diversas pesquisas subsequentes, com relevante contribuição para o entendimento do fenômeno.

As causas do ânodo incipiente são, atualmente, atribuídas a três fatores distintos: incompatibilidade eletroquímica entre os materiais do substrato e do reparo; fragilidade da zona de transição; e contaminação pré-existente no substrato. A incompatibilidade eletroquímica consiste na diferença de potencial de eletrodo entre o trecho de aco imerso no substrato e o trecho imerso no reparo. A fragilidade da zona de transição, por sua vez, provém do fato de que podem surgir fissuras nessa região por conta de incompatibilidades dimensionais e/ou do próprio processo de preparação do substrato para a realização do reparo. Por fim, aponta-se a existência de contaminação ou frente de carbonatação remanescente no substrato.

No que se refere à localização, podem ser observados pontos de corrosão tanto na zona de transição quanto em regiões no interior do substrato. A ocorrência de deterioração na zona de transição indica que a fragilidade da interface reparo-substrato pode ser a causa para deflagrar o ânodo incipiente. Por outro lado, a deterioração avançada em direção ao substrato evidencia maior possibilidade de ocorrência do fenômeno em virtude da própria contaminação do substrato.

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento a respeito da deterioração causada pelo ânodo incipiente e investigar práticas para a realização de reparos duráveis, alguns estudos com reparos localizados têm sido realizados pelo Grupo de Pesquisa de Patologia e Recuperação das Construções (PRC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Para tanto, foram moldados corpos de prova com substratos contaminados por cloretos, aplicando-se diferentes traços de argamassa. Esses corpos de prova passaram pelo monitoramento de corrente de corrosão (i_{corr}), além de serem rompidos ao final de 500 dias para inspeção visual da deterioração das armaduras.

Na inspeção destrutiva das armaduras na amostra reparada, observou-se a deterioração severa no interior do substrato, em especial no lado direito da amostra, conforme apresentado na Figura 4-d. Por outro lado, também se observou concentração de corrosão na zona de transição (Figura 4-b, c, e, f),

típica do ânodo incipiente. O método experimental e análise completa das amostras serão publicados posteriormente pelo PRC-UFPR.

3. COMPATIBILIDADE DIMENSIONAL

A compatibilidade entre material de reparo (MR) e substrato é alcançada quando as propriedades físicas, químicas e eletroquímicas de ambos os materiais são similares. A compatibilidade dimensional é o principal critério a ser avaliado para a garantia da eficiência do reparo. As propriedades fundamentais associadas à variação volumétrica de MRs são: a retração por secagem, módulo de elasticidade (E) e coeficiente de expansão térmica (CTE).

Pode-se considerar a estrutura reparada como um compósito com três fases:

- 1. MR;
- 2. Zona de transição (ZT) e
- 3. Substrato de concreto.

O substrato de concreto, geral-

mente, é caracterizado como uma fase do compósito com certa estabilidade dimensional, ou seja, não irá apresentar mudanças volumétricas expressivas, visto que, as variações volumétricas provenientes da retração já ocorreram. Quanto aos MRs, há uma gama ampla de produtos no mercado, sendo geralmente grautes e argamassas, à base cimentícia, modificadas com polímeros, materiais cimentícios suplementares (MCS), fibras sintéticas, fillers, materiais poliméricos, resinas, grautes, entre outros.

Por fim, entre o MR e o substrato existe uma zona intermediária de ligação entre as fases, nomeada aqui como ZT. A ZT nas técnicas de reparo, apresenta-se similar àquela entre pasta e agregado, caracterizada como uma área porosa. As características da ZT definem o desempenho do compósito reparado, particularmente, quanto à aderência. A seguir, estão abordadas

algumas pro-

priedades essenciais a serem avaliadas no estudo da compatibilidade dimensional dos reparos.

3.1 Retração

A retração é um fenômeno associado à perda de água para o ambiente e para as reacões de hidratação do cimento, resultando em mudancas volumétricas do material. Esse fenômeno tem grande influência na eficiência de técnicas de reparo, uma vez que, o substrato de concreto já atingiu certa estabilidade dimensional. A Figura 5-a ilustra as três zonas de uma estrutura reparada: MR, ZT e substrato. A Figura 5-b exemplifica o reparo durante o fenômeno de retração. O MR retrai devido à perda de água, porém, em razão da aderência com o substrato, a movimentação é restringida. Essa movimentação restringida ocasiona a formação de tensões de cisalhamento na interface e.

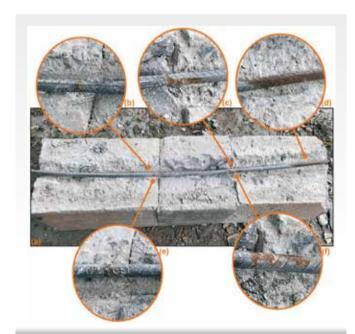


Figura 4

Inspeção destrutiva de corpo de prova com substrato contaminado por cloretos após reparo (a) visão geral do corpo de prova; (b), (c) e (d) ampliação da região de cima da armadura; (e)

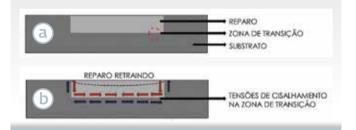


Figura 5 Tensões atuantes devido às variações volumétricas

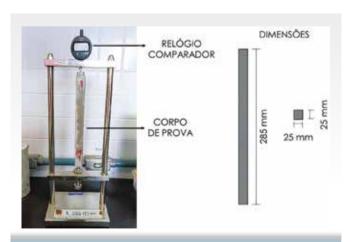


Figura 6
Aparato para leitura da variação linear dimensiona

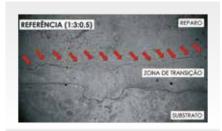


Figura 7 Ligação entre MR (MREF) e substrato

caso essas tensões superem a resistência de uma das fases, o processo fissuratório se inicia no material menos resistente.

Um ensaio utilizado para avaliar a estabilidade dimensional em argamassas é apresentado na Figura 6, de modo que a variação linear dimensional (VLD) é obtida usando prismas de 25x25x285 mm. Com a VLD analisa-se a estabilidade dimensional em distintos tipos de cura. Sobre este tema, o ACI 546.3R recomenda que MRs devem apresentar retração < 0,10%.

A utilização de MCS na composição de MR é uma das opções para a redução da retração. Além disso, essas adições atuam na melhoria de propriedades relacionadas à durabilidade, seja como resultado das reações pozolânicas e/ou pelo efeito fíler. Uma das adições de alta reatividade utilizada em materiais cimentícios é o metacaulim (MK), produto da calcina-

ção de argilas cauliníticas. As Figuras 7, 8 e 9 mostram a ZT entre três tipos de argamassas de reparo (traço em massa de 1:3:0,5): sem (MREF) e com substituição parcial do cimento Portland por MK nos teores de 5% (MKO5) e 10% (MK10) aos 28 dias após a aplicação no substrato.

É possível observar que, em todas as argamassas, a ZT é caracterizada como uma área porosa. Aliado a isso, a formação de fissuras na ZT é relacionada com o comportamento



Figura 8
Ligação entre MR (MK05)
e substrato

dimensional da argamassa durante a retração. A argamassa MREF apresentou uma ZT com processo fissuratório pronunciado. Por outro lado, as argamassas MKO5 e MK10 apresentaram uma redução na quantidade de fissuras. Esse comportamento se deve à redução da retração ocasionado pelo MK. O resultado completo da pesquisa supracitada será publicado posteriormente pelo PRC-UFPR.

3.2 Propriedades térmicas

A compatibilidade térmica é de extrema importância em situações onde há flutuações de temperaturas. A Figura 10 exemplifica dois tipos de estruturas de concreto que estão, geralmente, expostas a ciclos de aquecimento e resfriamento, secagem e saturação, e, em alguns casos, ao choque térmico (aquecimento seguido de resfriamento brusco).



Figura 10

Efeitos do aquecimento em estruturas reparadas

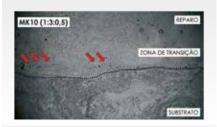


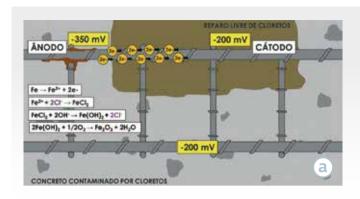
Figura 9 Ligação entre MR (MK10) e substrato

Dentre as propriedades térmicas. CET é dado pela variação dimensional (linear e/ou volumétrica) ocasionada pela mudança de 1°C de temperatura. O concreto é um material cimentício multifásico formado por materiais com distintos CET. Essa propriedade é influenciada pelo volume de agregados na mistura, % de vazios, % de umidade, presença de MCS, entre outros. Em técnicas de reparo que estão expostas às intempéries ambientais, como vertedouros de barragens com comportas fechadas e pavimentos (Figura 10), o aquecimento gerado pela radiação solar tende a aquecer a superfície. A propagação desta energia em forma de calor na estrutura irá depender do coeficiente de conducão térmica (CCT). Em condições das quais há uma incompatibilidade entre o CET do MR e o substrato de concreto (ver Figura 10), variações dimensionais distintas irão surgir e

> ocasionar uma concentracão de tensão na ZT.

4. EVITANDO PROBLEMAS COM ÂNODOS DE SACRIFÍCIO

A formação de ânodos incipientes (Figura 11-a) pode levar a falhas prematuras em até menos de 5 anos depois da intervenção por reparos localizados. Neste contexto, um caminho para evitar falhas em curto espaço de tempo é o uso da proteção catódica por par galvânico a partir



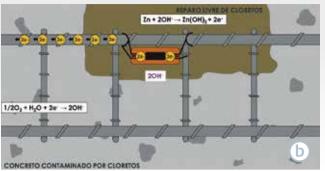


Figura 11

de pastilhas de zinco, como mostra a Figura 11-b.

O ânodo galvânico é mais eletronegativo (≈ -1100 mV) do que o vergalhão de aço carbono (≈ -350 mV, quando apresenta tendência de corrosão) (KAMDE et al., 2021). Os ânodos de zinco são conectados usando arames de amarração ao vergalhão e o concreto atua como condutor iônico. Desse modo, a diferença de potencial entre o ânodo galvânico e o aço carbono é maior do que a diferenca de potencial entre o trecho do aço na área de reparo localizado e o trecho na área do concreto antigo. Portanto, quando os ânodos galvânicos são colocados nas áreas de repa-

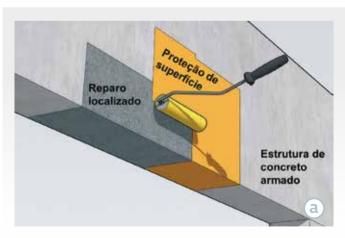
ro e ânodos incipientes apresentam tendência de ocorrerem, os ânodos galvânicos corroem no lugar da armadura de aço. Este efeito evita a falha prematura do reparo e prolonga a vida útil da estrutura reparada.

De acordo com Krishnan et al. (2021), o reparo localizado com protecão catódica pode aumentar a vida útil em cerca de 20 anos. Apesar disso, a proteção catódica usando ânodos galvânicos não está sendo considerada por muitos profissionais devido ao mito das implicações de custo excessivo. Krishnan et al. (2021) analisaram o custo de ciclo de vida de reparos em estruturas de concreto armado com e sem ânodos galvâni-

cos. No trabalho, foi demonstrada uma reducão de ≈ 90% no custo do ciclo de vida com a implementação da proteção catódica, de modo que os autores sugerem que os engenheiros devem ter confiança para usar ânodos galvânicos, obtendo reparos duráveis e prolongamento da vida útil de estruturas reparadas.

5. EVITANDO PROBLEMAS COM PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIE

Um caminho para obter estruturas de concreto armado reparadas e com vida útil residual estendida é proteger a superfície dos elementos após a execucão dos reparos localizados (Figura 12-a). Esta indicação é importante porque,



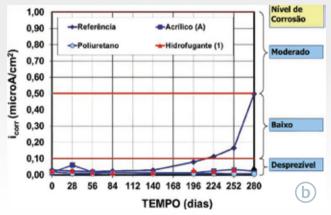


Figura 12

estando a estrutura com o processo de corrosão de armaduras instalado (mas agora reparado nos pontos críticos), o efeito da proteção de superfície é desacelerar a corrosão de armaduras pela restrição do ingresso de água e/ou oxigênio para o interior do concreto. Esta afirmação é correta porque a cinética das reacões de corrosão de armaduras é altamente dependente da quantidade de eletrólito nos poros do concreto. A Figura 12-b evidencia a eficácia de alguns sistemas de proteção de superfície quando aplicados sobre uma estrutura de concreto armado contaminada com 1% de cloretos.

Não se pode esquecer que a eficiência de uma proteção de superfície é diminuída ao longo do tempo de exposição ao meio ambiente. Também deve-se ter em mente que o tempo de vida útil da pintura é menor do que a esperada para a estrutura reparada. Desse modo, o caminho do sucesso para os produtos de proteção de superfície para concreto está no estabelecimento de um programa de manutenção, com previsão de renovação para garantir o nível de proteção requerido.

6. EVITANDO PROBLEMAS COM INIBIDORES DE CORROSÃO MIGRATÓRIOS

Pode-se dizer que o emprego de inibidores aumenta a resiliência à corrosão de armaduras dos sistemas de concreto armado expostos à carbonatação e aos íons cloreto. Neste contexto, os inibidores de corrosão migratórios podem ser aplicados na superfície do concreto armado na forma líquida e atingirem a superfície do aço migrando através do concreto por capilaridade e por difusão. Chegando na superfície das armaduras, os inibidores se depositam por atração polar, formando uma camada protetora monomolecular no aço carbono.

Os inibidores de corrosão migratórios mais usados são sais de amina, produtos à base de aminoálcool e monofluor fosfato de sódio.

Como o tema deste artigo é a obtenção de serviços de reparos localizados duráveis e sabendo da tendência à formação de ânodos incipientes, a aplicação de inibidores migratórios é apresentado como um caminho para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado reparadas. Neste caso, a aplicação deve ser feita nos elementos reparados de modo que o efeito da inibição atue principalmente no substrato de concreto reparado, que é o local de manifestação dos problemas relacionados à ocorrência dos ânodos incipientes.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante que os usuários entendam as edificações como algo que necessita de manutenções periódicas. Neste contexto, é aceito que o proprietário de um carro troque algumas peças e contrate serviços periodicamente. Este procedimento é típico de manutenção preventiva, prática pouco aplicada na construção civil.

É exatamente este conceito que precisa ser estendido para as edificações, o usuário deve se conscientizar que uma edificação não é um bem eterno e sua durabilidade será maior ou menor em função da manutenção realizada ao longo da sua vida útil.

O reparo localizado é uma ferramenta dentro deste panorama de reabilitação das estruturas de concreto armado. Porém, este artigo evidenciou situações de falhas prematuras do reparo localizado, como a deterioração localizada na zona de transição, mesmo quando sua execucão seque adequadamente as orientações da literatura técnica. Desse modo, se faz recomendável a adoção de medidas adicionais, como ânodos de sacrifício, proteção de superfície e aplicação de inibidores de corrosão. Com isso, busca-se tornar mais robusta a proteção promovida pelos reparos localizados e proporcionar intervenções mais duráveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao PPGEC-UFPR, ao CESEC-UFPR, à CAPES, à Agência Nacional de Águas (ANA), à Fundação Araucária e ao CNPq.

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), 546.3R Guide to Materials Selection for Concrete Repair. Farmington Hills, 2014.
- [2] ALI, M. S. et al. An experimental study of electrochemical incompatibility between repaired patch concrete and existing old concrete. Construction and Building Materials, v. 174, p. 159–172, 2018.
- [3] EMMONS, P. H.; VAYSBURD, A. M. System concept in design and construction of durable concrete repairs. Construction and Building Materials, v. 10, n. 1, p. 69–75, 1996.
- [4] HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto, 2 ed. São Paulo: PINI, 1992.
- [5] HELENE, P. R. L.; MONTEIRO, P. J. M. Reparos localizados podem ser considerados soluções eficientes para correção de problemas de corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado? Congresso Iberoamericano de Patologia de La Construction, v. 2, p. 80-89, 1993.
- [6] KAMDE, D. K. et al. Long-term performance of galvanic anodes for the protection of steel reinforced concrete structures. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 103049, 2021.
- [7] KIM, M. O. et al. Cracking and failure of patch repairs in RC members subjected to bar corrosion. Construction and Building Materials, v. 107, p. 255-263, 2016.
- [8] KRISHNAN, N. K. et al. Long-term performance and life-cycle-cost benefits of cathodic protection of concrete structures using galvanic anodes. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102467, 2021.

Recuperação **estrutural emergencial** de 52 estacas da **ponte rodoviária A Tribuna**

RICARDO BONI: DOUGLAS COUTO: PAULO HELENE – PHD ENGENHARIA

1. APRESENTAÇÃO, DESCRIÇÃO SUCINTA E BREVE HISTÓRICO DA PONTE A TRIBUNA

Ponte Jornal A Tribuna, conhecida popularmente como Ponte dos Barreiros, ou ainda, simplesmente, como Ponte A Tribuna, possui 623 metros de comprimento e se localiza no município de São Vicente/SP, sobre o Mar Pequeno (Fig. 1).

A ponte interliga o bairro de Samaritá ao bairro Esplanada dos Barreiros, localizados nas áreas continental e insular do município de São Vicente, respectivamente. Desempenha um papel relevante no desenvolvimento da região continental da cidade e é uma alternativa de ligação viária da área insular com o município vizinho de Praia Grande.

Ao longo de toda extensão da Ponte A Tribuna coexistem dois eixos de diferentes modais de transporte: um ferroviário e outro rodoviário (Fig. 2).

O eixo ferroviário foi previamente construído pela Companhia Estrada de Ferro Sorocabana, concluído em 1955 e desativado em 2003. O eixo rodoviário, construído pela Construtora Camargo Corrêa entre 1987 e 1995, foi concluído em 1995. O projeto estrutural da Ponte Rodoviária foi elaborado pelo escritório de Engenharia Zuccolo para uma carga móvel classe 36 da norma NB1/1960.

A OAE foi projetada em praticamente toda sua extensão em estrutura de concreto com resistência à compressão

 $f_{ck} \ge 18$ MPa. Apenas um dos vãos, localizado na região de maior profundidade do canal (8 m, aproximadamente), foi construído com vigas longarinas metálicas (h = 1,5 m), para aumentar a distância entre apoios e permitir o tráfego seguro de embarcações de pequeno e médio calado que circulam na região e transitam sob a ponte. A Ponte Rodoviária A Tribuna (vista longitudinal apre-

Power A Tribung

Say Viceste

Constant

▶ Figura 1 Localização da ponte A Tribuna Fonte: www.google.com.br/maps

sentada na Fig. 3) possui, no total, 59 tramos horizontais, sendo:

- a) 1 tramo de 40 m de vão, construído com longarinas metálicas;
- b) 30 tramos em concreto armado com aproximadamente 12,5 m de vão cada;
- c) 28 tramos em concreto armado com aproximadamente 7,5 m de vão, também chamados de quadrantes ou cavaletes.

Cada um dos tramos da OAE possui 5 longarinas que apoiam um tabuleiro com 11,2 metros de largura. A Ponte Rodoviária A Tribuna possui um total de 282 estacas, distribuídas em 2 eixos longitudinais, que se desenvolvem ao longo de toda sua extensão, denominados eixos B (166 estacas) e C (116 estacas), como observado na Fig. 4.

Apenas como registro, convém mencionar que a Ponte Rodoferroviária A Tribuna ainda possui mais um eixo longitudinal de estacas (denominado eixo A, com mais 166 estacas). Entretanto, este eixo se localiza sob a ferrovia atualmente desativada e, portanto,

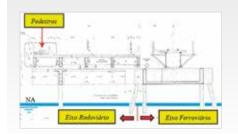




Figura 2

Corte transversal adaptado do Projeto Estrutural n. 12.01.005-C1/006 (à esquerda) e vista aérea da ponte A Tribuna (à direita)

Foto: atribuna.com.br/cidades/saovicente

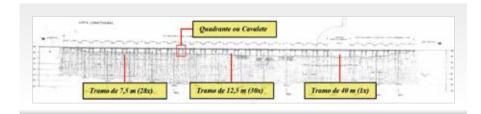


Figura 3
Vista longitudinal da OAE, reproduzida do Projeto Estrutura
n. 12.01.005-C1/006

considerando o foco deste trabalho, não merece destaque.

Ainda, no contexto deste artigo, convém destacar as estacas do eixo C. Estas são metálicas, de secão circular vazada com parede de 3/8" de espessura (aproximadamente 1 cm) e possuem diâmetro externo de 40 cm. Estima-se que foram cravadas a uma profundidade de 50 m abaixo do leito do canal, tendo como base o perfil geológico da sondagem utilizada no projeto original, que indica, a essa profundidade, uma areia fina e média muito compacta. Metade das estacas do eixo C (83 estacas) foram cravadas propositalmente com inclinação de 1/12 (ângulo de 4,8° com a vertical), como indicado à esquerda na Fig. 5.

Registra-se que o núcleo dessas estacas foram preenchidos (do topo até uma profundidade de 2 m abaixo do leito do canal) com concreto de resistência à compressão $f_{ck} \ge 15$ MPa. Essa região é armada com 5 barras longitudinais de aço CA-50 de bitola Ø 25 mm, com estribos Ø 12,5 mm a cada 50 cm (cobrimento de 4 cm = 3 cm de concreto + 1 cm de chapa metálica), como evidenciado à direita na Fig. 5.

Em janeiro de 2019, ou seja, 32 anos após o início de construção da OAE, uma inspeção técnica realizada pelo Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) identificou manifestações patológicas estruturais relevantes e a Ponte Rodoviária A Tribuna foi parcialmente interditada. Na oportunidade, permitiu-se apenas a passagem de veículos leves (carros, microônibus, ônibus e

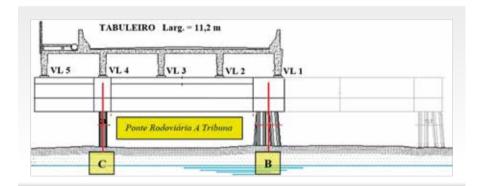
caminhões com no máximo dois eixos) a uma velocidade de no máximo 40 km/h.

Ainda, o Relatório Técnico n. 155.235-205/2019, emitido pelo IPT, recomendou recuperar imediatamente 50 estacas, todas localizadas no eixo C da OAE, pois havia o risco de colapso estrutural parcial. Em novembro de

2019, o Tribunal de Justiça de São Paulo (TJ-SP), por meio da Comarca de São Vicente, determinou a interdição total do tráfego de veículos, impactando o dia a dia de milhares de pessoas, pois nenhuma intervenção foi realizada na ponte até essa data.

É importante registrar que a OAE está localizada em um ambiente de agressividade muito forte e de elevado risco de deterioração da estrutura. Atualmente, de acordo com a NBR 6118: 2014, a classe de agressividade ambiental a ser considerada neste caso é a CAA IV (respingos de maré).

Diante desse cenário, em janeiro de 2020, visando resolver o problema, tiveram início os serviços de recuperação estrutural da OAE, que envolveram a inspeção com ênfase no sistema estrutural, elaboração de projeto básico, um projeto executivo e acompanhamento



▶ Figura 4 Corte transversal da ponte rodoviária A Tribuna – Projeto Estrutura n. 12.01.005-C1/006

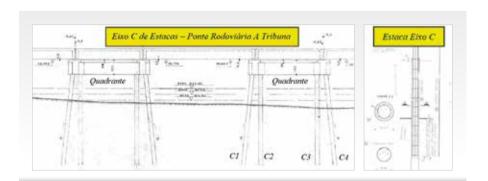


Figura 5
 Vista dos quadrantes da Ponte Rodoviária A Tribuna – Projeto Estrutura
 n. 12.01.005-C1/003 (à esquerda) e detalhe de estaca do eixo C –

técnico de obra (ATO). Todos esses serviços foram realizados em caráter emergencial pela PhD Engenharia. Adiante, descreve-se cada uma das etapas envolvidas.

2. INSPEÇÃO TÉCNICA

Visando reestabelecer os requisitos de segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade da OAE, durante o mês de janeiro de 2020 foi realizada uma inspeção extraordinária na Ponte Rodoviária A Tribuna com ênfase no sistema estrutural, incluindo seus elementos submersos (estacas). Estes serviços foram realizados de acordo com as premissas da NBR 9452: 2019, as exigências estabelecidas no termo de referência elaborado pela Prefeitura Municipal de São Vicente e incluíram anamnese, identificação de anomalias, quantitativo, mapeamento, registro, documentação e relatório fotográfico.

Os serviços de inspeção foram executados em um período de 20 dias (entre as datas 09/01/2020 e 29/01/2020) em toda a extensão da OAE e envolveram:

- (1) Inspeção visual dos elementos estruturais imersos (até a cota de fundo do canal) e emersos da OAE (estacas, blocos, travessas, longarinas, transversinas, aparelhos de apoio, tabuleiro, juntas de dilatação e encontros);
- (2) Detecção de barras de aço, aferição das dimensões, prumos e alinhamentos dos elementos estruturais e verificação da aderência com o estabelecido no projeto original;
- (3) Extração de testemunhos de concreto e ensaios laboratoriais para a determinação da resistência à compressão, módulo de elasticidade, ultrassom etc.

A inspeção visual dos elementos estruturais submersos foi realizada com a colaboração de uma equipe de mergulhadores profissionais, uma embarcação de apoio e equipamentos de gravação de imagens submersas e de comunicação (Fig. 6).

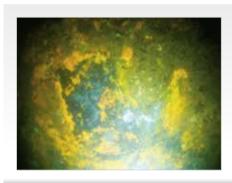
As imagens dos elementos estruturais submersos (estacas) eram transmitidas para a embarcação de apoio, analisadas e cadastradas imediatamente pelo engenheiro responsável, que orientava os mergulhadores durante os serviços por meio do sistema de comunicação.

Essa inspeção submersa também envolveu a elaboração de croquis, mapeamento, relatório fotográfico e a gravação de imagens de todo o perímetro submerso do fuste da estaca, da superfície d'água ao leito marinho. A Fig. 7 evidencia imagens do fuste de duas estacas distintas localizadas no eixo C da OAE, a uma profundidade de aproximadamente 6 m.





Figura 6Embarcação de apoio (à esquerda) e equipamento de comunicação e monitor (à direita) utilizados na inspeção submersa das estacas da OAE



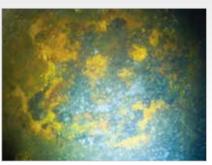


Figura 7
Detalhe do fuste imerso de duas estacas distintas localizadas no eixo C da OAE





Figura 8 Detalhe do fuste emerso de duas estacas distintas localizadas em trechos de respingo de maré, no eixo C da OAE

Nas inspeções visuais da região emersa da OAE, foram utilizados barcos motorizados menores, que permitiam rápido e fácil acesso aos locais de inspeção, além da proximidade necessária. Como resultado, observou-se que a região mais comprometida da estrutura eram as estacas, no trecho localizado na zona de variação de maré (ZVM) ou respingos de maré (Fig. 8).

De maneira geral, no trecho de respingos de maré, a camisa metálica das estacas (1 cm de espessura) já havia sido totalmente corroída, as barras de aço longitudinais (Ø 25 mm) apresentavam estado avançado de corrosão e os estribos (Ø 12,5 mm) já estavam, em muitos casos, seccionados. Observou-se também que as estacas apresentavam manchas, fissuras verticais com aberturas de até 5 mm e desplacamentos de concreto (Fig. 9).

Notou-se que o mecanismo preponderante de deterioração era a despassivação das armaduras devida à névoa marinha e presença de elevado teor de cloreto, sendo que as fissuras e desplacamentos de concreto observados eram decorrentes das forças de expansão exercidas pelos produtos de corrosão das barras de aco.

Observou-se também que algumas estacas apresentavam concreto friável na região de encontro com os blocos de coroamento (Fig. 10). Muito provavelmente, esta não conformidade está relacionada com procedimentos executivos inapropriados, que não previam o extravase de concreto, quando do preenchimento do núcleo das estaca e consequente exsudação e provável acúmulo de material contaminado no topo. Dado o avançado estado de deterioração desses elementos de fundação, optou-se por não extrair testemunhos da infraestrutura da ponte.

Como resultado geral das inspeções das estacas da OAE, concluiu-se que:

- (1) As estacas são os elementos estruturais mais deteriorados da OAE e que carecem de mais atenção;
- (2) Identificou-se, durante a inspeção extraordinária, a necessidade da recuperação imediata de 52 estacas (2 a mais do que foi inicialmente previsto pelo IPT), o que representa um





Figura 9

Detalhe da ausência de camisa metálica, fissura observada no núcleo de concreto e armadura do fuste corroída com estribo seccionado en duas estacas distintas localizadas no eixo C da OAF





Prigura 10

Detalhe da ausência de camisa metálica e presença de no púcleo da estaca na região de encentro com o bloco

percentual de aproximadamente 20% do total de estacas da OAE (esses elementos estavam distribuídos ao longo dos 623 m da OAE, ou seja,

em todos os quadrantes havia estacas a serem recuperadas);

- (3) A situação das estacas na região submersa, de maneira geral, é bem menos preocupante, mas a zona de variação de maré (ZVM) ou respingos de maré são as regiões onde se encontram as manifestações patológicas mais relevantes nas estacas (nessas regiões, em todos os casos, houve perda da camisa metálica);
- (4) Quase que a totalidade das estacas apresentam, na região emersa e ZVM, o núcleo de concreto com fissuras verticais de aberturas wk superiores a 1 mm - registra-se que

- essas fissuras chegam, em alguns casos, a 5 mm;
- (5) Há, em diversas estacas, casos de desplacamentos de concreto e armaduras expostas em avançado estágio de corrosão na ZVM e respingos de maré - inclusive foram observadas armaduras seccionadas (estribos) pela corrosão;
- (6) Em alguns casos, observou-se, no núcleo da estaca, a presença de material muito friável, na região de encontro com os blocos - nesses casos, há perda de seção significativa no fuste.

De acordo com Tabela E.1 "Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural" do Anexo E (informativo) "Referência de classificação da OAE" da NBR 9452: 2016, as estacas

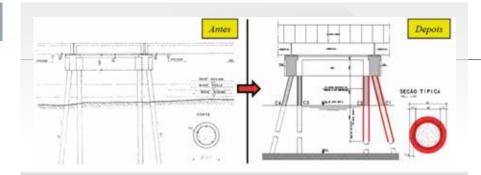


Figura 11

são um dos elementos principais (P) da OAE, cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da estrutura.

Sendo assim, por meio da utilização da Tabela E.2 "Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estruturais" da mesma norma e com base no que foi observado nas inspeções, atribuiu-se uma nota de classificação 1 (crítica) para a infraestrutura inspecionada da Ponte Rodoviária A Tribuna. Ou seja, existem danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE e há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural.

No que se refere à classificação segundo parâmetro de durabilidade, com base na inspeção especial e na Tabela E.4 "Classificação segundo parâmetro de durabilidade", atribuiu-se também uma nota de classificação 1 (crítica). Ou seja, a OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, com riscos estruturais e funcionais.

3. PROJETO EMERGENCIAL DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL

Em virtude da necessidade e urgência da liberação do tráfego sobre a Ponte Rodoviária A Tribuna, o plano de ataque adotado pela Prefeitura Municipal de São Vicente – PMSV (responsável pela manutenção da OAE) para reabilitação estrutural, incluindo a elaboração do projeto, foi dividido em duas etapas distintas para contratação dos serviços, são elas:

- (1) Fase 1: intervenção emergencial nos elementos estruturais da infra, meso e superestrutura da OAE que se encontravam demasiadamente deteriorados, de maneira que a execução desses serviços fossem suficientes para permitir a liberação do tráfego de veículos leves.
- (2) Fase 2: intervenção nos demais elementos estruturais não contemplados inicialmente na etapa emergencial, além da recuperação e melhorias em outros sistemas, tais

como: iluminação, drenagem, pavimentação, sinalização etc. (trata-se de uma etapa mais abrangente e com maior aporte de recursos).

Registra-se que as intervenções estruturais realizadas nas fases 1 e 2 contemplavam a recuperação e o reforço de elementos da infra, meso e superestrutura, pois o termo de referência elaborado pela PMSV previa como diretriz básica de projeto o aumento da capacidade de carga da OAE. Sendo assim, desde a elaboração do projeto básico da fase 1 (emergencial), considerou-se o desenvolvimento de um projeto para um aumento de carga considerando o trem tipo rodoviário brasileiro TB-450 da NBR 7188: 2013.

Como sugere o título deste artigo técnico, adiante seguem detalhadas apenas as considerações acerca do projeto de intervenção emergencial em 52 estacas identificadas pelo IPT e comprovadas pela PMSV durante a inspeção como as mais deterioradas da estrutura e que careciam de reabilitação imediata para a liberação parcial do tráfego de veículos, apesar do projeto executivo emergencial também contemplar intervenções em elementos da meso e superestrutura da OAE.

Tendo em vista que o termo de referência da PMSV exigia o aumento da capacidade de carga da OAE, inicialmente foi necessário efetuar uma verificação das estacas para um trem tipo TB-450, uma vez que não havia previsão para a cravação de novas estacas, em virtude do caráter emergencial dos serviços.

Considerando as informações contidas no projeto original, bem como o levantamento geométrico e observações gerais em campo efetuados durante a inspeção, após verificação, constatou-se que a seção de aço circular vazada das estacas existentes atendiam ao aumento da capacidade de carga considerada, desde que as recuperações e tratamentos das manifestações patológicas observadas nas estacas fossem realizadas.

Sendo assim, foi elaborado o projeto de recuperação para as 52 estacas demasiadamente deterioradas. O projeto de recuperação consistiu no encamisamento do fuste e consequente aumento da área da seção circular da estaca. Este encamisamento do fuste foi projetado para ser executado na região superior da estaca

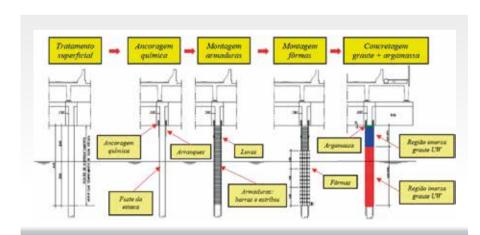


Figura 12

(local onde foram observadas as manifestações patológicas mais relevantes), desde o encontro com o bloco de fundação até uma profundidade de 2 m abaixo da maré média, como destacado em vermelho, à direita na Fig. 11.

O projeto estrutural emergencial de recuperação especificou que o encamisamento das regiões imersa e emersa dos fustes das estacas fosse realizado com graute para aplicação subaquática (graute UW), de resistência à compressão f_{ck} ≥ 40 MPa. Além disso, foram previstas armaduras longitudinais com diâmetros de até Ø 20 mm, com estribos Ø 8 mm a cada 5 cm, que corresponde a taxas de armadura variando entre 170 até 205 kg/m³ de concreto. Ou seja, trata-se de uma intervenção que envolve o encamisamento da estaca com concreto densamente armado.

Visando à garantia da vida útil e durabilidade, o cobrimento nominal de concreto das armaduras especificado em projeto é de 7 cm, ou seja, é um cobrimento superior à exigência da NBR 6118: 2014 para uma CAA IV.

Na extremidade superior das estacas (10 cm superiores), no encontro do fuste com o bloco de coroamento, em função da dificuldade de preenchimento com graute, especificou-se a utilização de argamassa estrutural industrializada, tixotrópica de resistência à compressão f_{ck} ≥ 40 MPa, não retrátil, com agente adesivo e inibidor de corrosão integrados. Ressalta-se que essa resistência também atende às exigências para garantia da durabilidade estabelecidas no item 7.4 "Qualidade do concreto de cobrimento" da NBR 6118: 2014 para a classe de agressividade considerada (CAA IV).

O projeto especifica a ancoragem química das barras longitudinais nos blocos de coroamento com resina epóxi tixotrópica, dotada de sistema de injeção e bico misturador a uma profundidade de 30 e 35 cm (para barras de Ø 16 mm e Ø 20 mm, respectivamente). Ainda, para auxiliar a montagem das armaduras, foram previstas emendas com luvas de compressão. Resumidamente, a estaca tubular proposta como melhor alternativa de reabilitação das estacas deterioradas tem uma capacidade nominal de confinar com tensão de até 4,4 MPa.





Figura 13
Detalhe da produção e lançamento do graute UW durante a execução do reforço estrutural das estaças





Figura 14

Detalhe da montagem da armação de reforço das estacas





Figura 15

Detalhe da montagem das fôrmas para reforco das estacas

A Fig. 12 apresenta as etapas da recuperação das estacas consideradas no projeto estrutural emergencial desde a preparação superficial até o preenchimento das fôrmas. Registra-se que foi especificado graute UW (under water), industrializado, com aditivo antisegregante nas regiões emersa e imersa da estaca, visando facilitar a execução dos serviços e evitar possíveis não conformidades relacionadas com a aplicação de diferentes produtos no mesmo elemen-

to estrutural. Também foi especificada a adição de inibidor de corrosão orgânico de base carboxilato de amina na proporção de 600 ml por m³ de graute e a cura úmida na região emersa. O inibidor de corrosão foi adicionado previamente à água de amassamento para depois ser incorporado à mistura. O inibidor utilizado forma, na superfície do aço, uma película monomolecular protetora que funciona como uma barreira e reduz significativamente as taxas de corrosão.





Detalhe da execução da cura úmida por meio da utilização da acura úmida por meio da utilização da acura potável

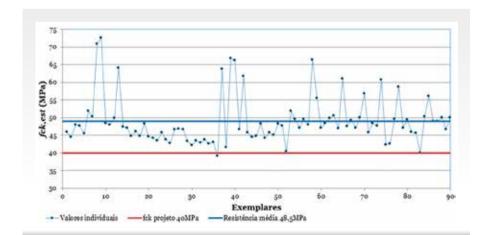
4. ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRAS (ATO)

Em abril de 2020, apenas 2 meses após o desenvolvimento e aprovação do projeto executivo, tiveram início os serviços de recuperação emergencial das 52 estacas da OAE. Desde o início, procedeu-se à supervisão e orientação in loco dos serviços de reabilitação das estacas por meio de contrato de acompanhamento técnico de obra (ATO).





Figura 17
Detalhe do aspecto visual e acabamento superficial do concreto emerso e imerso



▶ Figura 18 Carta dos valores individuais efetivos indicando a resistência à compressão aos 28 dias de idade

Esses serviços envolveram a limpeza superficial do fuste das estacas, ancoragem química e emendas com luvas de armaduras, montagem da armação, montagem das fôrmas, concretagem imersa e emersa com graute UW, aplicação de argamassa estrutural na região de encontro com o fundo do bloco, cura e controle tecnológico dos materiais.

No que se refere aos materiais utilizados (graute UW, argamassa estrutural, inibidor de corrosão e resina epóxi), constatou-se que esses estavam de acordo com as especificações de projeto, dentro do prazo de validade e armazenados corretamente.

Nas Fig. 13 a 16, estão apresentadas algumas das etapas executivas de reabilitação das estacas da Ponte Rodoviária A Tribuna, incluindo as etapas de preparação do substrato, montagem da armação, fôrmas, grauteamento e cura úmida da região emersa com água potável.

Como resultado, nota-se, na Fig. 17, o bom aspecto visual e o acabamento superficial do fuste de uma das 52 estacas reabilitadas durante os serviços emergenciais, região emersa e imersa.

Todas as etapas de serviços realizados nas estacas, tanto no trecho submerso quanto no trecho emerso, foram registradas por vídeos e fotos de maneira a compor o acervo técnico de obra. Foram elaboradas fichas de verificação de serviços de cada uma das etapas de reabilitação.

No que se refere à resistência à compressão, conforme estabelecido nas notas de projeto, é importante registrar que, em todos os casos (graute e argamassa) e para todos os elementos estruturais reabilitados, foram previstos ensaios em corpos de prova em várias idades, até 63 dias.

Ainda sobre a resistência à compressão do graute UW aplicado na reabilitação das estacas, a Fig. 18 apresenta graficamente a carta de valores individuais indicando as resistências à compressão aos 28 dias de idade, conforme resultados obtidos durante o controle tecnológico realizado por amostragem parcial.

Conforme subitem 6.2.3.2 "Controle estatístico do concreto por amostragem parcial" da NBR 12655: 2015 e considerando os critérios de formação dos lotes

da mesma norma, foi possível estimar a resistência à compressão do graute UW. Por meio da utilização da fórmula, constatou-se que, em todos os casos, a resistência obtida atendeu às exigências de projeto. Procedimento de controle tecnológico análogo foi realizado para a argamassa estrutural e os resultados também foram conformes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a execução de todos os serviços emergenciais de reabilitação considerados em projeto (Fase 1), bem

como a apresentação de relatórios de ensaios, fichas de verificação de serviço (FVS) e demais documentos técnicos comprobatórios da qualidade dos serviços e dos materiais utilizados, a OAE foi liberada parcialmente para o trânsito de veículos em agosto de 2020, nas sequintes condições:

- Veículos leves: podem trafegar pela ponte motos, carros de passeio, utilitários, SUV´s, camionetes e microônibus:
- Veículos pesados: liberação de tráfego, nos dois sentidos, de veículos

do tipo ônibus urbano de 17,4 tf (com 11 tf e 6,4 tf em cada eixo) e do tipo de caminhões do corpo de bombeiros de 15,64 tf de carga total (10,02 tf e 5,62 tf em cada eixo) respeitada a distância de 100 metros entre os veículos para cada mão de direção e a velocidade máxima de 40 km/h.

A liberação do tráfego nessas condições foi feita pelo Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo com base no Parecer Técnico do IPT, após rigorosa vistoria *in loco* e análise dos documentos apresentados.

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118:2014 v Projeto de estruturas de concreto Procedimento. Rio de Janeiro 2014. 238p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7188:2013 Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro 2013. 14p.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 9452:2019 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto Procedimento. Rio de Janeiro 2019. 48p.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12655:2015 Concreto de cimento Portland Preparo, controle, recebimento e aceitação Procedimento. Rio de Janeiro 2015. 23p.

DURABILIDADE DO CONCRETO

→ Editores

Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot

→ Editora francesa

Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées – França

→ Coordenadores da edição em português Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)

→ Editora brasileira

IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto.

A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ Informações: www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-22-0

Edição: 1ª edição Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 615

Acabamento: Capa dura Ano da publicação: 2014















Mudança de **vocação e revitalização** de **terminais portuários**

ANTONIO CARMONA FILHO - TIAGO G. CARMONA - THOMAS G. CARMONA - CAIO W. DE SOUZA, CARMONA ENGENHARIA

R E S U M O

A mudança de vocação ou revitalização de terminais portuários é fundamental para a modernização das operações e atendimento da demanda nacional. Para essas intervenções, tornam-se necessárias inspeções, emersas e submersas, investigações das características físicas dos materiais e cadastros, devido à dificuldade de se obter os projetos originais das estruturas ou dados da obra. Ainda é necessário realizar uma avaliação criteriosa da geometria das novas estruturas a serem construídas, objetivando não prejudicar a operação do terminal, bem como a realização de retroanálise verificando os estados

limites relativos à segurança e utilização para as novas ações resultantes das alterações. As alterações mais comuns são: a criação de novos dolfins de atracação ou amarração, instalação de defensas mais modernas e novos cabeços em estruturas existentes, obras de rebaixamento, aumento de largura dos píeres para adequação de carregadores e descarregadores que substituem antigos guindastes e melhorias de infraestrutura. Este artigo apresenta os diversos tipos de reforço, recuperação e proteção e as técnicas e materiais empregados para atender às necessidades dos terminais, inclusive complementando a vida útil residual necessária.

PALAVRAS-CHAVE: MUDANÇA DE VOCAÇÃO, TERMINAIS PORTUÁRIOS, REFORÇO, REPARO, PROTEÇÃO, ESTRUTURAS, VIDA ÚTIL.

O QUE É MUDANÇA DE VOCAÇÃO E QUANDO É NECESSÁRIA?

ão alterações das instalações portuárias devido a mudanças nas cargas e materiais manipulados, seja na sua forma de embarque, desembarque ou na capacidade do terminal.

Essas alterações podem ser fruto da necessidade de modernização na operação, novos planos de estiva, aumento das embarcações, mudanças no tratamento de efluentes e novas regulações ambientais e de segurança.



Figura 1
Cabrestante com ganchos de desengate rápido
Fonte: Carmona Solucões de Engenharia

A mudança de vocação vem normalmente acompanhada de alterações e manutenção de grande monta, principalmente de reforço, reparo, proteção e garantia da vida útil residual das estruturas, que vêm precedidas de inspeção completa que deve ser levada a cabo por empresas especializadas na área de patologia das estruturas.

Na região submersa das estruturas devem ser realizadas inspeções por profissionais treinados na identificação de danos estruturais relevantes, uma vez que são raríssimos os engenheiros civis habilitados em merqulho profissional.

Há um importante apelo ambiental em se adaptar os terminais existentes, ao invés de realizar a sua demolição e reconstrução que implicaria em um grande desperdício de recursos naturais e um enorme dispêndio para realizar o bota fora do entulho gerado na demolição sem causar danos ao meio ambiente.

2. QUAIS SÃO AS ALTERAÇÕES MAIS COMUNS EM OBRAS PORTUÁRIAS?

Na faixa de atracação em si, as alterações mais comuns são: a cria-

ção de novos dolfins de atracação ou amarração, instalação de defensas mais modernas e instalação de novos cabeços, com destaque para os cabrestantes com ganchos de desengate rápido (Figura 1).

Obviamente que, para a instalação de novos cabeços em estruturas existentes, é necessário realizar a retroanálise desses elementos considerando os novos esforços, bem como fazer um projeto adequado das fixações ao concreto original (Figura 2).

Nos projetos de mudança de vocação de terminais portuários, as alterações geométricas devem ser criteriosamente avaliadas, principalmente na linha de acostagem, para não prejudicar a operação do terminal.

Recomenda-se que não sejam produzidas reentrâncias na estrutura de acostagem, dando preferência à manutenção de um berço retilíneo (Figura 3).

Com o aumento da capacidade das embarcações e, consequentemente, sua maior dimensão, para garantir que a profundidade do canal seja suficiente para comportar o calado dessas embarcações, são realizadas obras de rebaixamento por meio de dragagem ou escavação do leito do canal.



Prigura 2

Retroanálise de estrutura de concreto armado para instalação de cabrestante com ganchos de desengate rápido

Fonto: Carmana Solvaçãos do Enganharia a Trallabora, respectivamento.

O rebaixamento do canal acarreta sérios problemas nas estruturas portuárias existentes, como podem ser a estabilidade dos taludes, a necessidade de contenção de solo sob os cais e perda de capacidade resistente das estacas, dada a eventual redução de seu comprimento enterrado, reduzindo a área de atrito lateral e contenção existente (Figura 4).

Tem-se ainda a instalação de carregadores e descarregadores de navios de grande porte, substituindo antigos guindastes e comumente requerendo um aumento de bitola dos trilhos, ou seja, aumento de largura dos píeres, normalmente mantendo a linha de acostagem em sua posição original e aumentando a largura do píer no sentido terra.

Diante do aumento das dimensões e solicitações, pode ser feita a cravação de novas estacas, normalmente pré-fabricadas de seção vazada, dotadas de ponteiras metálicas para permitir ultrapassar camadas de material mais resistente, como lentes de areia.

Além das alterações da faixa de atracação a modernização dos terminais normalmente implica grandes alterações na retroárea, como construção de novos armazéns, pátios de armazenamento, reforço, reparo e proteção de estruturas existentes, pontes de tubulação, transportadores de correias e demais equipamentos (Figura 5).

Em muitos casos, uma série de

melhorias de infraestrutura são necessárias, como instalação de tombadores de carretas, melhorias no acesso ao transporte rodoviário e ferroviário, moegas, silos etc. (Figura 6).

3. COMO FAZER O REFORÇO, REPARO E PROTEÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS?

O reparo e proteção das obras portuárias requer um minucioso planejamento e controle de qualidade, dadas todas as dificuldades envolvidas, principalmente nas regiões submersas e na zona de variação de maré, que requerem o uso de materiais e técnicas específicos para uso submerso.

Os reparos nas lajes e vigas e vigas dos terminais são realizados por meio de plataformas suspensas na própria estrutura, enquanto nas regiões submersas pode ser feito o bombeamento ou injeção de grautes minerais ou orgânicos, sendo que, em reparos localizados, podem ser empregadas argamassas tixotrópicas de base orgânica (Figura 7).

É muito importante planejar qual a vida útil residual desejada para a estrutura, de modo que as soluções de reforço, recuperação e proteção atendam às necessidades dos terminais.

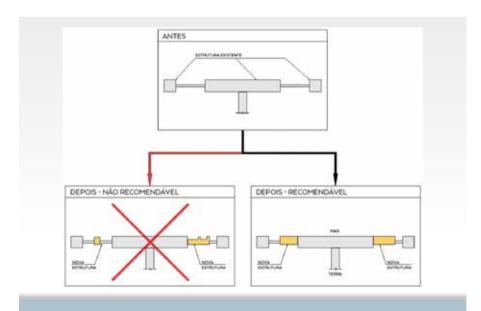


Figura 3

Recomendação de configuração geométrica do berço de atracação

Fonte: Carmona Soluções de Engenharia

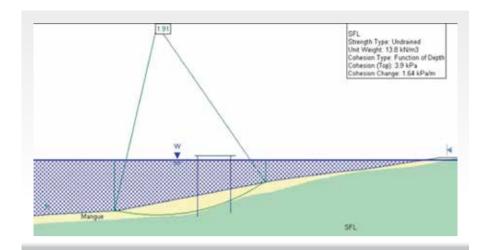


Figura 4 Estudo de estabilidade de talude após dragagem Fonte: Carmona Soluções de Engenharia (software: Slide2 – rocscience

Desde há muito estão acessíveis técnicas como a utilização de materiais cimentícios bombeados de alto desempenho e autoadensáveis, proteção catódica galvânica, emprego de inibidores de corrosão, além de pinturas de proteção compatíveis com substratos úmidos e que, principalmente por desconhecimento, não são largamente empregadas.

Cabe alertar que o uso de técnicas mais eficazes de proteção é altamente recomendado para as estruturas portuárias em ambientes agressivos, pois tem-se testemunhado que estruturas recentemente construídas não têm apresentado vida útil adequada (Figura 8).

Neste sentido, está atualmente em elaboração a ABNT NBR 19782 - Projeto de Obras Portuárias, no âmbito do CEE–231 da ABNT.

Na Tabela 1, é apresentada sugestão de acréscimo de vida útil mínima exigível para os sistemas de proteção mais comuns do mercado em discussão no CEE-231.

Recomenda-se que seja feita análise de custo de ciclo de vida, de modo a nortear a tomada de decisão quanto às possibi-



Figura 5

Píer ampliado com aumento de bitola dos trilhos e vários equipamentos instalados (pontes de tubulação, correias transportadoras, dentre outros

lidades. Esse tipo de análise faz uso de modelos de previsão de vida útil e considera os investimentos, custos de manutenção e os índices financeiros, dessa forma indicando a solução ótima a cada caso.

4. PROJETO DE ADEQUAÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS

Como para a grande maioria das estruturas existentes não estão disponíveis



Figura 6

Pier com estruturas de reforço e ampliação para instalação de defensas, torres pescantes e correias transportadoras, além de novos armazéns na retroárea

Fonte: Carmona Soluções de Engenharia



Figura 7

Obra de reparo e proteção em lajes e vigas de píer, com o emprego de plataformas suspensas

Fonte: Carmona Soluções de Engenhar



Figura 8

Severos danos por corrosão de armaduras em píer com 30 anos de idade

Fonte: Carmona Soluções de Engenhari

D Tabela 1

Proposição de acréscimo de vida útil mínima exigível para os sistemas de proteção para estruturas metálicas ou de concreto com armaduras passivas em ambiente marítimo (CAA IV)

Mecanismo		Acréscimo de vida útil para CAA IV / C5-M					
		Inibidores de corrosão de incorporação ao concreto	Ânodos de sacrifício incorporados ao concreto	Ânodos de sacrifício externos	Pinturas	Revestimentos	
Corrosão de	Região emersa	15 anos	15 anos	Não se aplica	10 anos	15 anos	
armaduras (passivas)	Região submersa	25 anos	25 anos	30 anos	Não se aplica	20 anos	
Corrosão	Região emersa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	5 anos	10 anos	
metálica	Região submersa	Não se aplica	Não se aplica	30 anos	Não se aplica	15 anos	
Perda de massa de concreto		Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	5 anos	15 anos	

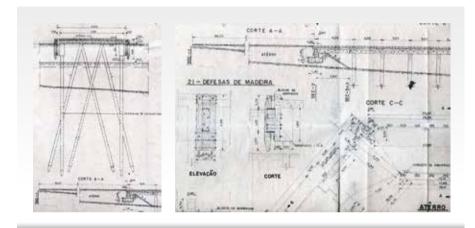


Figura 9

Raros projetos originais de píer da década de 1950 Fonte: CODESP (1956)

os projetos originais (Figura 9), os serviços de projeto se iniciam com o conhecimento das características físicas dos materiais utilizados na construção, por meio de métodos semidestrutivos e não destrutivos, cadastro geométrico, cadastro de armaduras e danos existentes, sondagens do terreno, à percussão ou mistas, batimetria e topografia (Figura 10).

Nesse sentido, o uso da realidade aumentada, com o georreferenciamento de danos aliado à metodologia BIM, é uma promessa importante para dar suporte aos trabalhos de cadastro de estruturas e projeto das alterações necessárias (Figura 11 e Figura 12).

A partir dos dados coletados e das necessidades do terminal, têm início os projetos de arranjo geral, mecânicos, estruturais, instalações e demais projetos complementares.

5. CONCLUSÕES

A experiência tem mostrado que muitas obras têm apresentado vida útil inadequada, revelando a necessidade



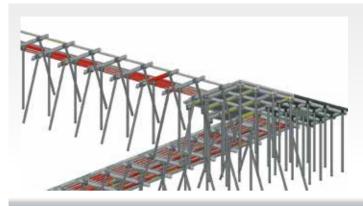
Figura 10

Execução de ensaios em píe para auxiliar na definição da terapia a ser empregada



D Figura 11

Modelo tridimensional de píer para projeto de mudança de vocação com o uso da metodologia BIM



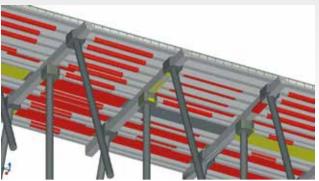


Figura 12

Danos estruturais georreferenciados com uso da metodologia BIM

Fonte: Carmona Soluções de Engenharia

de normalização específica que estabeleça os requisitos mínimos para projeto, inspeção, recuperação e proteção de terminais portuários.

Um ponto muito importante para garantia da qualidade dos serviços de recuperação e proteção é que o projeto seja elaborado por empresa especializada, com o devido acompanhamento técnico com liberação dos serviços por etapas.

Nos ambientes altamente agressivos, como os marítimos, recomenda-se que os reparos sejam realizados com incorporação de ânodos de sacrifício e monitoração das correntes liberadas para previsão de sua vida útil, além da proteção superficial geral da estrutura por meio de pintura.

Deve-se lembrar ainda a necessidade de proteção das estacas contra a corrosão, de modo a aumentar a durabilidade desses elementos, nos quais se tem observado intensa deterioração, mesmo em regiões submersas.



Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

COORDENADOR Bernardo Fonseca Tutikian SECRETÁRIO Roberto Christ

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

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

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-25-1

Edição: 1ª edição Formato: Eletrônico

Páginas: 78

Acabamento: Digital Ano da publicação: 2015

Patrocínio















Estado da arte e **BIM**: um **banco de dados** aplicável às **obras de reabilitação**

*MARIA LUISA R. ANTUNES – Eng., https://orcid.org/0000-0001-6975-3578, antunesmarialuisa@gmail.com; DIOGO OLIVEIRA – Eng., https://orcid.org/0000-0002-4771-8971, diogooliveira@ufv.br; JOSÉ C. RIBEIRO – Eng., https://orcid.org/0000-0003-4069-7001, jcarlos.ribeiro@ufv.br; JOSÉ M. CARVALHO – Eng., https://orcid.org/0000-0001-5785-3213, josemaria.carvalho@ufv.br; KLEOS M. L. CESAR JÚNIOR – Eng., https://orcid.org/0000-0003-4779-4226, kleos@ufv.br – UFV-MG; VITOR C. CURI – Eng. – vitor.curi@deer.mg.gov.br – DEER-MG

RESUMO

As obras de engenharia civil, especialmente de infraestrutura, são determinantes para o desenvolvimento econômico dos países em todo o mundo, uma vez que promovem a conexão de pessoas e produtos, por meio de vias conectadas por diferentes tipologias estruturais. No Brasil, o Ambiente Construído é caracterizado predominantemente por estruturas de concreto armado e protendido. Neste contexto, alguns dos desafios da gestão de manutenção desses ativos estão relacionados à dificuldade de resgatar proje-

tos autorais originais, *As-built*, além de dados patológicos a fim de fundamentar os processos decisórios de intervenção. Alinhada às iniciativas internacionais, a governança brasileira implementou a Modelagem da Informação da Construção (BIM) na execução de obras e serviços de engenharia, na esfera pública federal. O objetivo deste artigo é contextualizar o Estado da Arte, contemplado pelos laudos técnicos de engenharia, alinhado ao Decreto Federal 10.306, que inclui as obras de reforço e reabilitação estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente construído, gestão de manutenção, BIM, estado da arte, reabilitação estrutural.

1. INTRODUÇÃO

m o2/04/2020 o governo brasileiro publicou o Decreto Federal 10.306 estabelecendo a utilização do sistema BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia na esfera pública nacional, a partir de 01/01/2021[1]. O Decreto possui três marcos principais dispostos nas Fases I, II e III que determinam ações e metas para 2021, 2024 e 2028, respecti-

vamente, aplicáveis às obras públicas de médio e grande porte.

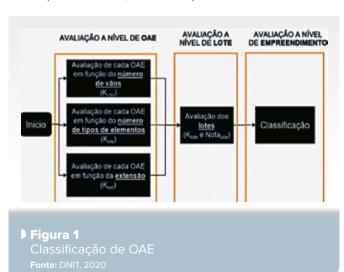
Inspirado nas ações top/down dos países que iniciaram, com sucesso, a disseminação do BIM, a governança brasileira elegeu entidades da administração pública federal visando a sua implementação de forma gradual. Foi vinculado o Ministério da Defesa (Exército, Marinha e Força Aérea) visando atividades executadas nas edificações

a ele jurisdicionadas e o Ministério da Infraestrutura. abordando as atividades coordenadas e executadas pela Secretaria Nacional de Aviação Civil (para investimentos em aeroportos regionais) e Departamento Nacional de Infraestrutura Transportes (DNIT), visando às obras de reforço e reabilitação estrutural de obras de arte especiais (OAE).

Com o objetivo de atender à nova legislação, o DNIT elegeu o projeto PRO-ARTE como projeto piloto, no processo de Adoção do BIM [2]. O projeto reúne um acervo de aproximadamente 8.000 pontes e viadutos, caracterizados pela fase operacional do ciclo de vida. Este universo construído é classificado: por nível de OAE segundo critérios de número de vãos (Kvão); por número de tipos de elementos (Kele) e extensão (Kext) da estrutura; por nível de lote, que leva em conta a nota técnica da estrutura. Por fim, a classificação final é avaliada em nível de empreendimento (Figura 1).

Uma vez que essas OAE encontram-se em plena fase operacional do ciclo de vida, o desenvolvimento de novos projetos autorais visando às obras de reabilitação e reforço estrutural (em atendimento ao Decreto) fica condicionado à Modelagem das Condições Existentes (Figura 2) cujo objetivo é representar, fidedignamente, a realidade existente.

A Universidade da Pennysilvania apresentou 25 usos do BIM, entre primários e secundários, mapeando-os



ao longo do ciclo de vida de um empreendimento típico da construção civil [3]. O ciclo tem sido referenciado na bibliografia brasileira por meio de Cadernos de Projetos BIM e Coletânea BIM (Câmara Brasileira da Indústria Construção), além de fundamentar BIM Mandates em outros países da América do Sul, como o Chile. Na Figura 2 apresenta-se o ciclo de vida e os usos do BIM customizados à demanda de obras de reabilitação do Projeto PROARTE.

Dados como topografia, vegetação, infraestrutura existentes no local, além da condição estrutural (levantamento de anomalias e avaliações estruturais) são demandados com o objetivo de registrar possíveis desgastes devido ao tempo de uso. Nesta direção, os laudos técnicos de engenharia produzidos pelas inspeções in loco são instrumentos fundamentais na formatação do Estado da Arte.

Alinhado com a isonomia, pré-requisito de processos licitatórios públicos, o sistema BIM contempla a entrega dos produtos licitados, em formato digital de arquivos openBIM entitulados pela buildingSmart (bsl) como Industry Foundation Classes (IFC) [5]. além dos formatos de softwares nativos. Nesta direcão, os profissionais envolvidos no projeto praticam a colaboração multidisciplinar e a troca de informações, de forma integrada e interoperável.

Neste cenário, as inspeções técnicas caracterizadas como servicos

de engenharia passam a ter como base de partida os arquivos IFC dos Modelos das OAE, além dos arquivos digitais que contém as nuvens de pontos da realidade capturada (do objeto de análise). Logo, o Estado da Arte que será apurado no processo pericial, deverá ser representado no arquivo IFC da ponte, por meio da inserção dos dados patológicos nos objetos do modelo, formatando-se, assim, o Modelo As-is (como está) da OAE.

2. DESENVOLVIMENTO

O objetivo geral do artigo é refletir o Estado da Arte de uma OAE, a partir de registros coletados durante uma inspeção técnica tradicional de engenharia, em um Modelo paramétrico, alinhado ao Decreto Federal 10.306.

Para atingir este objetivo, utilizou-se como objeto de estudo uma ponte do complexo viário General Carneiro, localizado na BR MG 262 sobre o Rio das Velhas (Figura 3). A OAE passou pelo processo de reabilitação estrutural em 2019, em resposta à avaliação estrutural da OAE que demandou que o tráfego fosse reduzido para 60% da carga de projeto.

Caracterizada pela tipologia estrutural em concreto armado, a OAE ainda revela parte das fundações remanescentes da época da sua construção (década de 1970), tal como apresentadas na Figura 3. A obra de reabilitação estrutural foi caracterizada, essencialmente, pela inclusão de elementos na mesoestrutura e in-

fraestrutura da ponte (vigas de travamento, pilares e elementos verticais de fundações).

O modelo da
OAE foi desenvolvido a partir
da aplicação
da técnica 3D
Laser Scanning
que utilizou o
equipamento
do tipo estáti-

co, em um único dia de coleta. As nuvens de pontos geradas, representadas por coordenadas x,y,z, foram importadas pelo software Revit (versão 2021) e foi cedido para este estudo pelo Laboratório BIM do Departamento de Edificações e Estradas de Minas Gerais (DEER MG) [4]. Além de parametrizar os objetos revelados pelas nuvens de pontos, a parametrização permite o georeferenciamento e nesta direção, torna--se possível simular a carta solar da latitude do objeto periciado, representando um importante recurso de análise de registros pós-captura.

Vale destacar que este recurso pode auxiliar nas análises de incidência de radiação direta e indireta nas estruturas, de sombreamentos causados pelo ambiente construído (edificações presentes no entorno urbano), além de referenciar com precisão os objetos periciados por meio dos pontos cardeais. A conexão da simulação solar e os registros coletados durante a inspeção técnica embasa interpretações (pós-coleta) mitigando a subjetividade do(s) profissional(ais) envolvido(s) no processo de trabalho. Como exemplo, ilustra-se a simulação solar aplicada no estudo de uma edificação (Figura 4) e o sombreamento causado pelas edificações vizinhas, no dia e horário da coleta do registro (19/01/21 às 15:00h). A fachada oeste do objeto periciado (destacado na cor azul) recebe radiacão direta, de acordo com a carta solar da latitude simulada (intervalo de



Figura 2
Ciclo de vida
Fonte: DNIT, 2020



Figura 3
Ponte rodoviária BR MG 262
Fonte: Autores, 2021

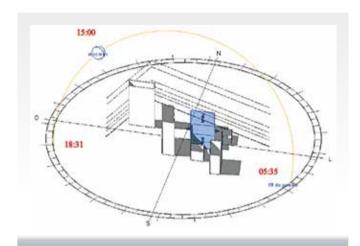


Figura 4 Simulação solar Fonte: Revit, 2021

o5:35h às 18:31h), podendo sugerir a ausência e/ou presença de anomalias na superfície inspecionada).

Outro processo de simulação virtual aderente ao Ambiente Construído é possibilitado pelas nuvens de pontos da realidade capturada, na elaboração do plano de ações das inspeções. As análises no cenário virtual antecipam possíveis dificuldades operacionais e auxiliam na selecão de técnicas complementares de captura, que variam de acordo com a subjetividade de cada projeto. Devido a essas particularidades, o processo licitatório é sustentado por um Plano de Execução BIM (PEB), que tem como objetivo geral explicitar as diretrizes que orientarão o desenvolvimento do uso BIM licitado, além de relacionar os profissionais e ferramentas envolvidos no projeto de reabilitação para atingir o(s) resultado(s) esperado(s).

A Modelagem de Condições Existentes é o uso BIM previsto no PEB que possibilita a conexão do Ambiente Construído ao siste-

ma BIM, preliminarmente (fase Planejamento). Entretanto, as novas soluções demandadas pelas obras de reabilitação (Projetos Autorais) previstas na fase Projeto dependem das análises do Estado da Arte da estrutura, produto do laudo de engenharia viabilizado por meio das inspeções técnicas.

Esta lacuna é solucionada inserindo-se os dados patológicos coletados e demais informações relevantes no modelo IFC da ponte. Inicialmente, o modelo representa o objeto periciado e ao final do processo pericial, os objetos modelados hospedarão os registros. O modelo final é exportado em IFC e recebido pela equipe de gestão e/ou coorde-

nação de projeto, como orientado no PEB.

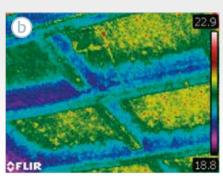
Na Figura 5, ilustra-se alguns exemplos de registros coletados durante a inspeção técnica da ponte: 5(a) Registro fotográfico, auxiliado por fissurômetro digital, da armadura exposta presente na viga de travamento; 5(b) Registro termográfico da face inferior do tabuleiro; 5(c) Registro fotográfico de anomalias presentes na viga longitudinal da superestrutura (armadura de cisalhamento exposta e fissura).

O(s) responsável(is) pela elaboração do laudo técnico insere(m) as anomalias identificadas durante a inspeção nos respectivos objetos periciados por meio de hyperlinks. Esta associação reflete o Estado da Arte da OAE e permite o resgate facilitado de informações para a equipe de gestão de manutenção e operações do ativo, em qualquer momento do ciclo de vida.

Nesta direção, o Modelo As-is funciona como um denso banco de dados, caracterizado por alto índice de confiabilidade, capaz de embasar a elaboração de soluções eficazes e futuras, como os end-u-ses (fase operação), uma vez que a OAE vivenciará novamente uma fase construtiva.

Na Figura 6 apresenta-se, como exemplo, a inserção do registro da anomalia presente na viga de travamento (ilustrado na figura anterior) no modelo da OAE cedido pelo







Armadura exposta

Fissura

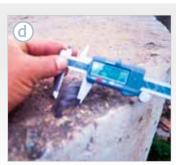
Figura 5

Registros coletados: (a) registro fotográfico; (b) registro termográfico; (c) registro fotográfico









Seção inspecionada

Viga de travamento

Hyperlink

Registro fotográfico

Figura 6

LaBIM DEER, utilizando-se o software de gestão BIM Solibri Model Checker (SMC), por meio do arquivo IFC.

O registro fotográfico é inserido selecionando-se na seção periciada da OAE (Figura 6(a)) o respectivo objeto periciado (Figura 6(b)). Na Figura 6(c) ilustra-se a criação do hyperlink na aba Information Takeoff do software que cria a vinculação do registro fotográfico coletado durante a inspeção técnica, ao objeto modelado.

Neste momento, o objeto se transforma em hospedeiro da informação, que é, automaticamente, apresentada quando os demais colaboradores manuseiam o modelo As-is (Figura 6(d)).

3. CONCLUSÕES

Alguns processos de trabalho ainda utilizam a modelagem paramétrica a partir de arquivos Computer Aided Design (CAD). Entretanto, o modelo gerado por este fluxo pode não refletir a real condição que a OAE foi encontrada. Alterações na fase construtiva podem ocorrer e não serem documentadas, além de vícios construtivos e desconformidades em geral (como falta de cobrimento de armaduras, como utilizado como exemplo neste estudo).

No fluxo BIM, o processo de trabalho inicia-se com a captura da realidade por meio da aplicação da técnica 3D Laser Scanning em função de sua agilidade de aplicação, segurança e precisão milimétrica. Apesar das nuvens de pontos não permitirem a identificação visual de anomalias, funcionam como um denso e fidedigno banco de dados, ao longo de toda vida útil da estrutura. Além das coordenadas 3D, a cada posicionamento do equipamento, registros fotográficos são gerados em alta resolução formatando um acervo relevante para equipe de gestão.

No Brasil, ainda que o BIM tenha sido disseminado desde 2018, a cadeia da indústria da construção civil ainda não está preparada para a mudança de paradigma. As obras de infraestrutura, em especial, carecem de famílias de objetos específicos e conjuntos de propriedades (property sets), diferentemente do sistema BIM aplicado às edificações, que encontra-se mais avançado nestes quesitos.

Por fim, da mesma forma que o segmento foi impactado por ocasião da transição da prancheta física para a prancheta eletrônica, a Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) passa por uma transformação digital e se depara não somente com as novas ferramentas de representação (geométrica e paramétrica), mas com novos processos de trabalho que formatam uma disruptura com os processos tradicionais praticados.

PREFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. Decreto n. 10.306, de 02 de abril de 2020. Utilização do Building Information Modelling. Diário Oficial da União, Brasília. Edição 65. 2020.
- [2] Departamento Nacional Infraestrutura e Transportes DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA EM TRANSPORTES -DNIT. Disponível em https://www.gov.br/dnit/pt-br. >Acesso em: 21 jan. 2022.
- [3] BIM Execution Plan. Disponível em https://bim.psu.edu/ > Acesso em 02 fev. 2022
- [4] DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS DER/MG. Disponível em http://www.der. mg.gov.br/obras/plataforma-bim-deer-mg >Acesso em: 25 jan. 2022.
- [5] BuildingSMART. Disponível em https://www.buildingsmart.org/about/openbim/> Acesso em: 20 jan. 2022.

Inovação tecnológica para concretagem de bases eólicas frente aos desafios térmicos

MARIO GUILGE – GER. DE PROD. E SERV. TÉC. – APODI CIMENTO; GUSTAVO PINHEIRO – DIR. DE TECN. E INCORP.; ANTONIO M. DE OLIVEIRA – DIR. COM. – DOISA ENGENHARIA E TECNOLOGIA; DANIEL ALEIXO – DIR. EXEC. – DM ALEIXO

R E S U M O

NOS últimos anos, o crescimento do uso de concretos de alto desempenho (CAD) e a conscientização sobre o desenvolvimento de fissuras e a formação de etringita tardia, que são induzidas pelo aumento da temperatura interna e dos gradientes térmicos, levaram a demandas crescentes e especificações mais rigorosas no que diz respeito ao controle térmico das estruturas de concreto massa. Historicamente, o uso de gelo tem sido capaz de atender a maioria das especificações de temperatura dos concretos, tornando-o mais viável quando seu custo é comparado aos custos do uso de nitrogênio líquido e de tubos de resfriamento, sendo

estes utilizados, principalmente, para necessidades específicas do projeto e especificações extremas de temperatura. Entretanto, com os recentes avanços na tecnologia de equipamentos e de construção, esse cenário está mudando e a utilização do nitrogênio líquido vem se apresentando como uma ferramenta viável para o controle geral da temperatura do concreto. A *Non-Crack Solution* é uma solução de tecnologias combinadas entre um cimento especial de baixo calor de hidratação e alta resistência mecânica e um sistema de resfriamento com nitrogênio líquido capaz de solucionar problemas existentes nas frentes de concretagem atualmente.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO MASSA, CONTROLE DE TEMPERATURA, ETRINGITA TARDIA.

1. INTRODUÇÃO

e acordo com o ACI 207.1R (2005), o comportamento térmico das estruturas de concreto massa é o fator que as diferenciam de outros tipos de estruturas convencionais, necessitando, assim, de medidas para controlar o aumento e a dissipação do calor gerado pela reação de hidratação do cimento, que é exotérmica.

Esse controle representa um desafio tanto no planejamento quanto na construção das estruturas maciças de concreto devido à variabilidade de diversos fatores, como a geometria e as dimensões das estruturas, o traço e as propriedades térmicas e mecânicas do concreto, os mecanismos de concretagem e de cura, as condições de contorno e as condições ambientais (EMBORG AND BERNANDER, 1994).

No Brasil, dentre as estruturas de concreto massa, as fundações de aerogeradores vêm se destacando atualmente devido à expansão do uso da fonte eólica, a qual representa 10,8% das fontes brasileiras de geração de energia e apresenta taxas de crescimento significativas, com capacidade instalada de energia eólica prevista

para atingir 30,2 GW até 2024 (ABEE-ÓLICA, 2021). Além disso, esse relatório mostra a relevância da região Nordeste no setor eólico, onde 80% dos parques existentes estão localizados.

Essas volumosas fundações apresentam grandes espessuras (geralmente maiores que 1 m), e essa característica contribui para o acúmulo e dificulta a dissipação do calor gerado no núcleo central da estrutura (ACI 207.2R, 2007; BOBKO et al., 2014). Em relação às superfícies, há maior proximidade com o ambiente externo e, consequentemente, maior facilidade de dissipação de calor, o que acelera o resfriamento superficial. Isso gera uma distribuição não uniforme das temperaturas internas e pode provocar o surgimento de manifestações patológicas, como a formação de etringita tardia e o desenvolvimento de fissuras de origem térmica (LAROSCHE, 2009; WU et al. 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

As fissuras vão ocorrer quando as tensões internas de tração, causadas pela presença de elevados gradientes térmicos e de restrições que impeçam a movimentação da estrutura, excederem a resistência à tração dos concretos (WU et al. 2011). A formação de etringita

tardia (DEF) está relacionada à elevação da temperatura interna e é um produto expansivo que também pode ocasionar o surgimento de fissuras e, assim, contribuir para a redução da vida útil da estrutura (LAROSCHE, 2009).

Na busca pela solução para evitar a ocorrência desses tipos de problema, comumente as concretagens são executadas substituindo a água do traço por gelo (≅ o °C), a fim de reduzir a temperatura de lançamento do concreto. Essa dinâmica, largamente difundida nas obras executadas no Brasil, afeta a produtividade, pode reduzir a qualidade do concreto, aumentar a geração de resíduos e, mesmo que se tomem todos os cuidados nas etapas de produção, lançamento, espalhamento e cura do concreto, ainda pode sujeitar a peça concretada à necessidade de reparos posteriores.

Diante desse cenário desafiador e sempre na busca de processos mais seguros e que respeitem o meio ambiente, a "Non-Crack Solution" é uma solução mais eficiente e moderna em controle de temperatura na produção, lançamento e aplicação de concreto massa.

Essa iniciativa traz para o mercado uma oportunidade inovadora de



Figura 1
 Fissura em bloco – retração térmica

atender aos critérios mais rigorosos de controle de temperatura, que vem se tornando um problema crescente, em função do incremento dos volumes dos blocos de fundação que dão sustentação aos aerogeradores em razão da altura das torres e da potência das turbinas que são cada vez maiores.

1.1 Análise da segurança contra a fissuração

A maior dificuldade de dissipação de calor do núcleo da estrutura de concreto massa (seu centro de gravidade) e a maior facilidade de dissipação nas superfícies provocam uma não uniformidade na distribuição das temperaturas ao longo do tempo. Quanto maiores forem esses gradientes térmicos (ΔT), maior será a probabilidade de ocorrer retração térmica e, consequentemente, maiores serão as tensões de tração (σ_t), que levam ao fissuramento da estrutura quando excedem a resistência à tração do concreto (f_t) (ACI 207.2R, 2007; COELHO *et al.*; BOBKO *et al.*, 2014).

Para reduzir o valor de ΔT, que é igual à temperatura máxima atingida pelo concreto menos a temperatura ambiente ao longo do tempo, é possível limitar a temperatura máxima do concreto por meio de mecanismos de pré ou pós refrigeração e/ou utilizar mecanismos de cura e isolamento que dificultem a perda de calor da superfície da estrutura para o ambiente (ACI 301,2010; BOBKO et al., 2014).

A temperatura máxima do concreto consiste no somatório da sua temperatura de lançamento com a elevação adiabática. Logo, deve-se atuar no sentido de reduzir esse pico máximo. A refrigera-

ção do concreto é um ponto importante nesse processo e obrigatória em regiões quentes, principalmente quando se deseja concretar uma estrutura de concreto massa, como uma base de aerogerador, em uma única etapa.

1.2 Manifestações patológicas

As principais manifestações patológicas que podem ocorrer em concretos massa, dentre os quais incluem-se as bases de torres eólicas, são: fissuras devido à retração térmica (Figura 1); fissuras devido à formação de Etringita Tardia (DEF) (Figura 2); fissuras devido à retração hidráulica; fissuras devido à retração plástica e reação Álcali – Agregado.

O sulfato de cálcio dihidratado (gesso), adicionado durante a moagem do clínquer (para controle do tempo de pega e melhora do desenvolvimento da resistência), reage com o aluminato tricálcico do cimento para formar a etringita (trissulfoaluminato tricálcico) nas primeiras horas após a mistura com água em concretos curados a temperatura ambiente. Essa etringita é chamada de etringita primária, e nesse estágio (inicial), ela é formada de forma homogênea e imediata, estando dispersa uniformemente em toda pasta de cimento. Entretanto, a etringita primária não é estável a elevadas temperaturas, e caso isso ocorra, ela não irá se formar no estado fresco, podendo se formar tardiamente, em contato com umidade, quando o concreto estiver no estado endurecido. Isso gera um aumento das tensões internas na estrutura, uma vez que a formação de etringita é um processo expansivo (LAROSCHE, 2009). Apesar de não haver normas brasileiras que especifiquem um limite máximo de temperatura para evitar a formação de etringita tardia, encontram-se alguns valores na literatura, como 65 ºC (MEHTA; MONTEIRO, 2014) e 70 ºC (ACI 301, 2010).

1.3 A importância da refrigeração

A fim de evitar as manifestações patológicas, é necessário aplicar técnicas de refrigeração do concreto. Como solução, há três tipos básicos de refrigeração do concreto: uso de água gelada, gelo



Figura 2
Fissuras devido à DEF

em escama e nitrogênio líquido.

O emprego de água gelada é muito utilizado em concretos, para pavimento rígido. Em geral, a água gelada tem capacidade para reduzir a temperatura do concreto entre 3 °C e 5 °C, no máximo.

O uso de gelo em escamas (mais recomendado) ou em cubos (menos recomendado) é um procedimento muito utilizado, mas, em geral, só se consegue reduzir a temperatura do concreto entre 11 °C e 12 °C.

O emprego do nitrogênio líquido é o meio mais eficaz e prático de se refrigerar um concreto. Porém, não é o meio mais barato, e desta forma torna-se, em muitas frentes, impraticável. Esse tipo de refrigeração apresenta os seguintes benefícios: redução do consumo de água; redução na velocidade de perda do "slump"; aumento do tempo de início de pega; temperatura do concreto tão baixa, quanto se desejar; redução da mão de obra, além de evitar todas as formas de fissuras.

2. A "NON-CRACK SOLUTION"

A "Non-Crack Solution" é a materialização de uma solução baseada em duas grandes tecnologias, um cimento especial de baixo calor de hidratação e um sistema de resfriamento inovador capaz de solucionar diversos entraves técnicos e operacionais existentes hoje nas frentes de concretagem de elementos volumosos.

2.1 Cimento CP III 40 RS BC Apodi

A Cimento Apodi investiu no desenvolvimento de um produto específico que ajudasse o segmento de energia eólica a solucionar duas das suas principais preocupações, a temperatura de lançamento dos concretos e o desenvolvimento de calor durante o período de cura da base.

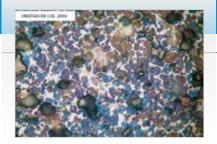


Figura 3C₃S Clínquer Apodi

Com isso, surge o CP III 40 RS BC, produto que leva em seu *mix design* um balanço de fases de clínquer, mineralogia ajustada e matéria prima selecionada, que permite reduzir a temperatura na concretagem, liberando menos calor ao longo do seu processo de hidratação, atingindo aos patamares de resistência à compressão especificados em projeto, nesse caso 30 MPa e 55 MPa.

A principal fase do clínquer, responsável pela geração de resistência é o C₃S, desta forma, quanto maior a concentração dessa fase, mais resistência teremos a curto prazo. Porém, não basta isso, pois se os cristais de C₃S forem de tamanho grande, essa reatividade pode ser lenta, devido à menor superfície específica, fazendo com que o cimento leve mais tempo para atingir a resistência de projeto. Ainda dentro desta linha, temos um fator de suma importância que é o polimorfismo deste C₃S (o tipo M1 mais reativo e resistente).

O conjunto de equipamentos (pré--calcinador, forno e resfriador) e a qualidade e controle das matérias primas utilizadas na produção do clínquer Apodi permitem atingir uma excelente relação de reatividade e temperatura. A Figura 3 mostra uma fotomicrografia do clínquer Apodi, em que é possível perceber um volume de C₃S muito maior do que o da Figura 4, que, por sua vez, representa um clínquer do mercado. Além da quantidade, os tamanhos reduzidos dos cristais e a sua regularidade podem ser claramente notados quando em comparação ao outro clínguer. O controle químico do calcário utilizado e das adições da farinha permite maiores concentrações de polimorfos M1.

Com as características do clínquer obtidas através dos recursos acima citados, foi possível alcançar um teor de substituição maior por escória básica de alto forno (matéria prima para producão de CP III). Esse elevado valor de substituição faz o cimento produzido liberar menos calor, já que o clínguer é o principal responsável pela reação exotérmica de hidratação. A Figura 5 demostra um comparativo de duas curvas de liberação de calor, sendo a verde do cimento CP III - 40 RS BC e a amarela de um CP IV - 32 RS, comumente utilizado nos projetos de base eólica. Neste comparativo, percebe-se que a diferença entre os pico de temperatura entre o CP IV e o CP III – 40 RS BC é de quase 15 °C. Em números, de acordo com a normatização, a energia liberada pelo CP III - 40 RS BC em 40 horas de reação é de 202 J/q de cimento, ao passo que o mesmo CP IV citado produz 242 I/g.

Para ratificar aquilo que foi projetado na indústria, foram feitas simulações de fluxo de temperatura em fundações para torres eólicas através de software específico para tal fim (ensaios realizados na Universidade Federal do Ceará – Laboratório de Materiais de Construção). A influência do uso desses dois cimentos na elevação térmica de uma base eólica foi verificada computacionalmente, analisando a mesma estrutura, sem alteração no consumo de cimento (418 kg/m³) e na temperatura de lançamento (15°C), e com alteração apenas no tipo de



Figura 4
C₃S Clínquer do mercado

cimento. Os resultados confirmaram o esperado, o desenvolvimento de calor foi inferior para a base simulada com o cimento CP III - 40 RS BC.

O pico de temperatura da base simulada com o CP III - 40 RS BC foi 11 °C inferior ao pico de temperatura da base simulada com o CP IV - 32 RS. Pode-se notar claramente a diferença na Figura 6a, onde o centro da base apresenta coloração de amarela a alaranjada, comparando-se com a Figura 6b, que apresenta cor bastante avermelhada, indicando temperaturas mais altas.

Diante desses estudos, pode-se dizer que, com o cimento CP III - 40 RS BC, é possível produzir um traço muito mais ajustado às necessidades técnicas e às especificações solicitadas. Além disso, por ser um produto de classe de resistência 40 MPa e produzir menor calor na hidratação, o consumo de cimento será mais baixo, o que, consequentemente, reduz

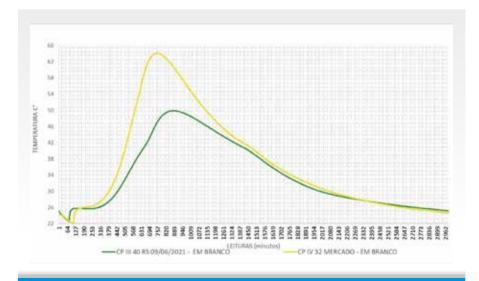


Figura 5
 Gráfico do fluxo de calor do CP III - 40 RS BC comparado a um CP IV –
 32 RS de mercado, comumente utilizado nas obras de base eólica

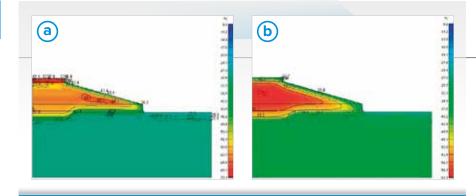


Figura 6

Simulação do fluxo de calor em uma base com concreto lançado a 15 °C e consumo de cimento igual a 418 kg m³: Imagem a (esquerda) – Cimento CP III – 40 RS BC Apodi; Imagem b (direita) CP IV – 32 RS de mercado, comumente utilizado nas obras de bases eólica (ensaios realizados na UFC)

o consumo de aditivo, fazendo o concreto desenvolvido com esse cimento ser mais econômico e eficaz que os demais. Ainda é possível dizer que, pelo menor calor liberado na hidratação, o custo do resfriamento será também menor que os demais concretos produzidos com outros cimentos.

2.2 O uso de nitrogênio para resfriamento de concreto

O sistema de dosificação de nitrogênio líquido na esteira de agregado, o qual fora utilizado para a solução, surgiu após um processo de pesquisa e desenvolvimento de mais de conco anos na indústria de concreto dos Estados Unidos. Atualmente, mais de 100 plantas de concreto na América do Norte, entre EUA, Canadá e México utilizam este sistema para atender às especificações de temperatura de lancamento do concreto. O sistema realiza o resfriamento dos agregados quando eles são carregados para dentro do caminhão por meio das esteiras transportadoras, permitindo que 70% a 80% do volume de materiais constituintes do concreto seja resfriado de maneira contínua ao processo de carregamento, viabilizando resfriamentos extremos, maior consistência e produtividade nas operações de concretagem.

2.2.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema consiste na aplicação de nitrogênio líquido através de automação, e sua dosagem acontece durante o carregamento dos materiais, sem alteração no processo da planta de concreto. Aplica-se o nitrogênio líquido diretamente

ao agregado e, com isso, a massa de materiais com baixa temperatura permeia a mistura como um todo. O agregado corresponde a mais de 70% da massa da mistura do concreto, portanto, reduzir a temperatura do agregado, resfria, de maneira mais eficaz, toda a mistura, sem alterar o conteúdo de água.

Basicamente consiste em um conjunto composto pelo tanque reservatório de nitrogênio líquido, as tubulações que transportam o material até um equipamento de dosagem localizado sobre a esteira de agregados, além de um painel de controle que se comunica com o painel da central dosadora e seu respectivo software. A Figura 7 exemplifica o esquema de funcionamento do sistema.

2.2.2 PRINCIPAIS BENEFÍCIOS

Ouando comparado ao uso de gelo ou nitrogênio líquido inserido diretamente no balão através de uma lança, observa-se uma redução de custos devido à redução de mão de obra e equipamentos no processo de resfriamento. O gelo é normalmente fornecido em sacos, sendo necessário mão de obra extra para ser carregado no caminhão betoneira, enquanto o nitrogênio líquido é aplicado diretamente na esteira de agregados, durante o processo de carregamento, não alterando o tempo de carregamento do caminhão. Há também uma reducão do tempo total de ciclo do caminhão. Diferentemente do processo com gelo ou nitrogênio com lança, que utiliza um tempo adicional para ser inserido no caminhão antes ou depois do carregamento do restante dos materiais.

Por se tratar de um sistema automatizado, verifica-se maior consistência e qualidade no processo. De forma comparativa, épossível afirmar que o sistema funciona como o de aditivos, integrado à automação da central. Não depende de quantificação manual, como ocorre com os sacos de gelo, proporcionando, assim, um melhor controle do processo.

A Figura 8 mostra os dados registrados durante uma concretagem do projeto de substituição da ponte I-74 no Rio Mississippi em Davenport, estado de Iowa, durante o verão de 2018. Esta concretagem teve um total de 657 metros cúbicos de concreto em um período de 10 horas e, com o uso do sistema, foi possível manter a temperatura do concreto constante, mesmo com a significativa subida da temperatura ambiente.

A consistência observada em inúmeras operações de concretagem é capaz de reduzir o número de caminhões rejeitados. É bastante comum o retorno de cargas por não atenderem às especificações de temperatura em obra. Com o sistema de nitrogênio líquido aplicado diretamente nos agregados, é possível obter maior compatibilidade entre cargas e melhor desempenho em relação à temperatura especificada.

Também são observados benefícios no âmbito ambiental e de segurança do trabalho. Embora ainda seja comum a utilização de gelo no setor, este apresenta risco para a mão de obra e tempo

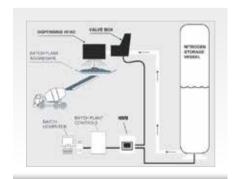
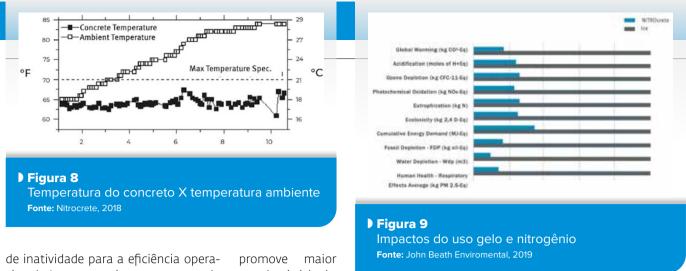


Figura 7
Funcionamento do sistema
Fonte: Nitrocrete, 2020



de inatividade para a eficiência operacional. Ao automatizar o processo de resfriamento do concreto, reduzem-se os riscos de acidentes e outros problemas associados ao esforço excessivo e à fadiga devido ao levantamento inadequado e repetitivo de sacos.

A agência de consultoria em sustentabilidade e conformidade ambiental nos Estados Unidos, John Beath Environmental (2019), realizou um comparativo que mostrou uma redução de 83% nas emissões de carbono, uma redução de 66% no consumo de energia e uma redução de 87% no material particulado, comparando o sistema ao gelo. O estudo mediu as categorias de impacto ambiental, como emissões de CO₂, consumo de energia e material particulado (Figura 9).

Além disso, o uso do nitrogênio

promove maior produtividade com a eliminação

do ponto de carga de gelo e do ajuste de slump, uma vez que a presença de gelo eleva o desvio padrão do concreto e, consequentemente, a água de corte para controlar o concreto.

3. CONCLUSÃO

As demandas por melhores controles de temperaturas de concreto massa para projetos de aerogeradores serão cada vez maiores, devido às exigências de tamanho das bases e resistência do concreto, que respectivamente serão maiores que as atuais. A conscientização sobre o desenvolvimento de fissuras e a formação de etringita tardia, que são induzidas pelo aumento da temperatura interna e dos gradientes térmicos, está promovendo demandas crescentes e especificações rigorosas que as tecnologias atuais de refrigeração do concreto e os tipos de cimento do mercado brasileiro não serão capazes de atender.

A solução apresentada neste artigo como "Non-Crack Solution" demonstra a aplicação do que há de mais inovador para a produção de fundações, com uma proposta que cumpre os requisitos técnicos e com adicionais de extremo valor para o nosso mercado, capaz de solucionar problemas existentes nas frentes de concretagem e ainda ser uma solução ambientalmente sustentável, de maior produtividade e de elevado grau técnico de eficiência.

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABEEÓLICA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Infovento 20. Brasil, 15 jun. 2021.
- [2] ACI AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 207.1R. Guide to Mass Concrete. p. 1-30.Farmington Hills, MI, 2006.
- [3] ACI AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 305.1. Specification for Hot Weather Concreting. p. 1-12. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006.
- [4] ACI AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 207.2R. Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete. p. 1-32. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007.
- [5] BOBKO, C. P.; SERACINO, P.; ZIA, P.; EDWARDS, A. Crack Free Mass Concrete Footings on Bridges in Coastal Environments. Technical Report. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering North Carolina State University, 2014.
- [6] CIRIA C660. Early-age thermal crack control in concrete. London, 2007. 113 p. (978-8-86107-660-2).
- [7] COELHO, N. A.; PEDROSO, L. J.; RÊGO, J. H. S.; NEPOMUCENO, A. A. Use of ANSYS for Thermal Analysis in Mass Concrete. Journal of Civil Engineering and Architecture, [s.l.], v. 8, n. 7, p. 860-868, 28 jul. 2014. David Publishing Company. http://dx.doi.org/10.17265/1934-7359/2014.07.007.
- [8] EMBORG, M.; BERNANDER, S. Assessment of Risk of Thermal Cracking in Hardening Concrete. Journal of Structural Engineering, [s.l.], v. 120, n. 10, p. 2893-2912, out. 1994. American Society of Civil Engineers (ASCE). http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1994)120:10(2893).
- [9] LAROSCHE, C.J. Types and causes of cracking in concrete structures. Failure, Distress and Repair of Concrete Structures, [s.l.], p. 57-83, 2009. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1533/9781845697037.1.57.
- [10] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- [11] WU, S.; HUANG, D.; LIN, F.; ZHAO, H.; WANG, P. Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 105, n. 1, p. 171-186, 2011. https://doi.org/10.1007/s10973-011-1512-y.
- [12] JOHN BEATH ENVIRONMENTAL. (2019) "Streamlined comparative life cycle assessment for NITROcreteTM process."
- [13] ACI COMMITTEE 207, Mass Concrete, ACI 207.1R, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.

Proposta de avaliação da expansão residual proveniente da reação álcali-agregado (RAA) e do ataque por sulfatos em testemunhos de concreto

DANIEL V. RIBEIRO – PROFESSOR, DR. – verasribeiro@hotmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3328-1489;
NILSON S. DE AMORIM JÚNIOR – Ms., ORCID https://orcid.org/0000-0002-0726-4645;
BRUNA S. SANTOS – Ms., ORCID https://orcid.org/0000-0002-1635-5979;
SILAS DE A. PINTO – Ms., ORCID https://orcid.org/0000-0003-0445-1872;
HENRIQUE A. SANTANA – Ms., ORCID https://orcid.org/0000-0003-1425-9438; UFBA – BA

RESUMO

OS ataques químicos ao concreto, com destaque para a reação álcali-agregado (RAA) e a ação de sulfatos externos, resultando na formação de
etringita secundária (SEF), trazem riscos às estruturas correntes, principalmente às grandes estruturas de concreto armado como barragens,
pontes ou blocos de fundação. Essas reações expansivas podem levar à
fissuração do concreto e, consequentemente, à perda de desempenho.
Os procedimentos e normas disponíveis para avaliação e prevenção
dos riscos de ataque por sulfatos e RAA consideram a classificação
das consequências dos danos, as condições ambientais de exposição
das estruturas de concreto, a dimensão das peças ou elementos estruturais, os materiais, como agregados e ligantes, mas sempre no período
pré-mistura, utilizando composições pré-determinadas e preparadas
em laboratório. Uma vez detectada uma manifestação patológica, seu
diagnóstico é feito por inspeção visual, seguido de confirmação desse

diagnóstico por ensaios de laboratório, com destaque para as técnicas petrográficas e estudos da microestrutura do concreto. Entretanto, não existem ensaios consolidados quanto à avaliação do estágio atual ou das possibilidades de evolução da manifestação patológica. Assim sendo, na presente pesquisa são feitas propostas metodológicas que abordam a avaliação da expansão residual em estruturas de concretos já existentes decorrentes da ação da RAA e da SEF residual em testemunhos extraídos de estruturas existentes, contribuindo para a previsão da evolução da manifestação patológica. Além da proposta de metodologia, é apresentado um estudo de caso, com ensaios em dois blocos de fundação. Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia proposta apresentou elevada reprodutibilidade e coerência com as demais características dos testemunhos, sendo uma alternativa tecnicamente viável de avaliar a expansão residual proveniente da RAA e da ação de sulfatos, devido à formação de SEF.

PALAVRAS-CHAVE: PROPOSTA DE METODOLOGIA, AÇÃO DE SULFATOS, REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO, BLOCOS DE FUNDAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

durabilidade das estruturas de concreto armado pode ser afetada por ataques físicos e químicos. Dentre os ataques químicos, destacam-se os processos expansivos causados pela Reação Álcali-Agregado (RAA) e pela ação de sulfatos externos e internos, como a formação de etringita secundária (SEF – Secondary Ettringite Formation) e etringita tardia (DEF – Delayed Ettringite Formation) [1, 2]. Este trabalho se atém à RAA e à formação de etringita secundária.

É fundamental que a análise de risco do potencial de ocorrência dessas reações expansivas seja feita preliminarmente às construções. No caso da RAA, como prescreve a ABNT NBR 15577-1 [3], as medidas adequadas para preveni-las estão ligadas, principalmente, às especificações dos materiais. No caso da prevenção do ataque externo por sulfatos, a diminuição da permeabilidade do concreto é um parâmetro chave para se alcançar concretos resistentes aos sulfatos. Essa redução na permeabilidade pode ser obtida por: i) Redução da relação a/c; ii) Compactação adequada do concreto e/ou; iii) Cura adequada [4]. Além disso, o uso de cimento resistente a sulfatos também tem um papel importante no controle desta reação expansiva, pelo fato destes cimentos conterem teor reduzido de aluminatos.

As normas disponíveis tratam de procedimentos que visam a identificação dos riscos de ataque por sulfatos e RAA e sua prevenção, havendo poucas publicações que façam previsões da evolução das manifestações patológicas por meio de ensaios que abordem a avaliação da expansão residual em estruturas de concreto já existentes, proposta deste trabalho.

Assim, metodologias que avaliem a expansão residual, proveniente da RAA e da formação de etringita residual em testemunhos extraídos de estruturas existentes se tornam importantes para auxiliar no diagnóstico das manifestações patológicas dessas estruturas e na tomada de decisão quanto à forma mais eficaz de intervenção.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Extração dos testemunhos

Na presente pesquisa, utilizaram-se

testemunhos de concreto extraídos de dois diferentes blocos de fundação de grandes dimensões, com resistência à compressão igual a 32 MPa, quando projetado e executado.

Foram extraídos oito testemunhos com diâmetro de 100 mm e comprimento mínimo de 300 mm, sendo que o comprimento ideal é de cerca de 285 mm, conforme procedimento descrito na norma brasileira ABNT NBR 7680-1 [5]. Foram utilizados quatro deles para cada um dos ensaios de avaliação da RAA e do ataque por sulfatos residuais, além de quatro testemunhos que foram avaliados quanto à resistência mecânica, velocidade de propagação de onda ultrassônica e módulos de elasticidade estático e dinâmico. Os testemunhos utilizados apresentaram aspecto visual íntegro, não demonstrando fissuras ou formação de gel expansivo.

2.2 Avaliação da reatividade álcali-agregado (RAA) residual em testemunhos de concreto

O método utilizado para a avaliação da reatividade álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto foi uma adaptação da norma ABNT NBR 15577-4 [6], utilizada para avaliação da expansão acelerada de barras de argamassa.

Cada um dos quatro testemunhos (\$\phi=100\text{ mm}, h=285\text{ mm})\$ foi cortado em 4 partes, a cada 90°, conforme Figura 1a, empregando-se uma máquina de corte com disco diamantado. Após o corte, foram inseridos pinos metálicos nas extremidades superior e inferior das amostras resultantes, com auxílio de furadeira e fixados com cola epóxi (Figura 1b).

Após 24 horas da inserção dos pinos, as amostras foram dispostas em recipiente com água destilada, o qual foi gradualmente aquecido desde a temperatura ambiente até atingir (80 ± 2)°C, permanecendo nessas condições durante 24 h.

Após esse período de estabilização, as barras foram removidas do recipiente de cura, sendo medidos os seus comprimentos iniciais, por meio de relógio comparador (extensômetro) com precisão de o,oo1mm, emsala climatizada a (23 ± 2)°C, de modo a registrar a leitura inicial (E_o).

Após a leitura inicial, as barras foram inseridas em solução aquosa de

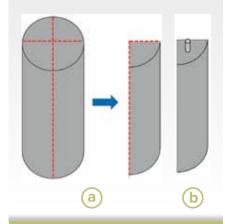
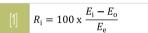


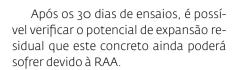
Figura 1

(A) Corte dos testemunhos para obtenção das amostras utilizadas na determinação da expansão proveniente da reação álcali-agregado (RAA) residual e (B) colocação do pino metálico das extremidades

NaOH 1N a (80 ± 2)°C (Figura 2a) e foram medidos os seus comprimentos diariamente, até os 30 dias, conforme observado na Figura 2b.

A expansão linear em cada idade (R_i) representa a diferença entre o seu comprimento na idade considerada (E_i) e o comprimento inicial (E_o), dividida pelo comprimento efetivo de medida (E_e), expressa em porcentagem, conforme Equação 1.





2.3 Avaliação da expansão residual (SEF) por ataque de sulfatos em testemunhos de concreto

O método utilizado para a avaliação da expansão residual devido ao ataque de sulfatos (SEF) em testemunhos de concretofoi uma adaptação da norma ABNT NBR 13583 [7], utilizada para avaliação da expansão acelerada de barras de argamassa, e a classificação do cimento em resistente ou não a sulfatos, de acordo com a norma ABNT NBR 16697 [8]. Como as barras são submetidas à cura em solução agressiva de sulfato de sódio, o tipo de ataque é considerado externo.

O método adaptado consistiu em comparar a expansão dimensional de amostras de testemunhos extraídos de concreto submetidos a uma solução aquosa saturada com cal (usada como referência) e a uma solução de sulfato de sódio. Os procedimentos de corte dos testemunhos (Figura 1a), colocação dos pinos nas extremidades (Figura 1b), colocação no tanque de cura durante 24 horas e medida dos comprimentos iniciais





Figura 2

(A) Amostras provenientes dos testemunhos em banho térmico a 80°C e (B) medida do comprimento das amostras (Lo) são exatamente os mesmos descritos no item 2.2 para os ensaios de RAA.

Após a leitura inicial, metade das amostras foram inseridas em tanque contendo solução aquosa de sulfato de sódio (Na_2SO_4) , com concentração de 100 gramas por litro de solução, a $(40 \pm 2)^{\circ}$ C, e a outra metade foi inserida em tanque contendo solução saturada com cal, também a $(40 \pm 2)^{\circ}$ C. Foram medidos os comprimentos das amostras (L_i) nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, contados a partir da inserção nos tanques de cura final.

A expansão individual (S_i) dos corpos de prova foi determinada pela diferença entre o valor medido na idade correspondente (L_i) e a leitura inicial da mesma barra (L_o) , em milímetros, dividida pelo seu comprimento efetivo (L_e) , e multiplicado por 100, conforme Equação 2.

[2]
$$S_i = 100 \text{ x } \frac{L_i - L_o}{L_e}$$

A expansão resultante (E_R) é expressa, em porcentagem, pelo aumento ou diminuição da expansão do corpo de prova, devido ao ataque da solução de sulfato de sódio (E_s) em relação à expansão do corpo de prova disposto em solução aquosa saturada com cal (E_g), sendo calculada conforme a Equação 3.

[3]
$$E_R(\%) = E_s - E_g$$

Após o término do ensaio (42 dias), é possível verificar o potencial de expansão residual que este concreto ainda poderá sofrer devido ao ataque por sulfatos, decorrentes de DEF ou, principalmente, SEF.

2.4 Caracterização físico-mecânica dos testemunhos de concreto

Os ensaios foram realizados com os testemunhos antes da imersão em soluções de hidróxido de sódio e sulfato de sódio. Esses testemunhos foram extraídos em estruturas existentes que sofreram degradação ao longo dos anos.

2.4.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (F_)

O ensaio para determinação da resistência à compressão axial dos testemunhos foi realizado com auxílio de uma prensa servo-hidráulica Contenco, modelo HD – 120 T, com capacidade de 120 tf e velocidade de carregamento igual a (0,45 ± 0,15) MPa/s, conforme recomendações da ABNT NBR 5739 [9].

Antes da execução do ensaio, os testemunhos tiveram seu comprimento medido, com posterior cor-

te e retificação dos testemunhos, a fim de se garantir uma superfície plana de modo a não comprometer os resultados de compressão, além de garantir as dimensões tradicionalmente utilizadas neste tipo de ensaio (ϕ =100 mm, h=200 mm).

A resistência à compressão axial (f_c) é dada pela razão entre a carga máxima (P) suportada pelo corpo de prova e a área da sua seção original (A), de acordo com a Equação 4.



2.4.2 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO (E_)

O módulo de elasticidade do concreto relaciona a tensão aplicada à deformação instantânea obtida, sendo um importante parâmetro para cálculos estruturais. Antes de se realizar este ensaio, foi necessário determinar a resistência à compressão do concreto a ser estudado (f_c), conforme procedimentos descritos no item 2.4.1.

A seguir, os testemunhos cilíndricos de concreto experimentaram carregamento cíclico, variando entre 0,5 MPa e 30% de sua tensão de resistência à ruptura (0,3.f_c) e, ao atingir estas tensões, o carregamento foi mantido constante por cerca de 1 minuto, conforme recomendação da ABNT NBR 8522 [10]. Após o terceiro ciclo, o carregamento foi aplicado até a ruptura do corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 3.

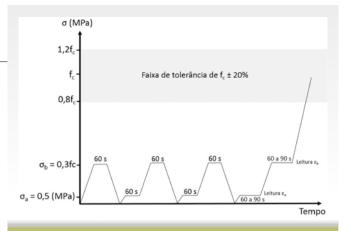


Figura 3
Rotina de carregamento cíclico das amostras, variando entre 0,5 MPa e 30% de sua tensão de resistência à ruptura (0,3.f_c), com patamar de carregamento por cerca de 1 minuto, conforme recomendação da ABNT NBR 8522 [10]

A resistência à compressão obtida no ensaio cíclico (σ_b) não deve diferir em 20% para mais ou para menos da resistência à compressão f_c . O módulo de elasticidade estático, E_{ci} , foi calculado conforme Equação 5.

$$[5] E_{ci} = \frac{\sigma_b - 0.5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \cdot 10^{-3}$$

Em que σ_b é a tensão maior, em MPa, $(\sigma_b = 0,3.f_c)$; 0,5 é a tensão básica, expressa em MPa; ε_b é a deformação específica média, $(\varepsilon = \Delta L/L)$, dos corpos de prova sob a tensão maior; ε_a é a deformação específica média dos corpos de prova sob a tensão básica (0,5 MPa).

2.4.3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA E DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Para a determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica e do módulo de elasticidade dinâmico, foi utilizado um equipamento emissor de ondas ultrassônicas (Pundit Lab, da marca Proceq, com transdutores de 54 kHz), efetuando-se o ensaio em todos os testemunhos disponíveis.

Após medida do comprimento dos testemunhos, aplicou-se uma camada de gel condutor nas extremidades das amostras e na superfície dos transdutores, posicionando-os centralizados nas faces opostas e efetuando a medida. A velocidade de propagação de onda ultrassônica (V), em m/s, é determinada segundo a Equação 6.

[6]
$$V = \frac{L}{t}$$

Em que L é o comprimento das amostras, isto é, a distância entre os pontos de acoplamento dos centros das faces dos transdutores, em metros; t é o tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção, em microssegundos (μ s).

A partir dos valores da velocidade de propagação de ondas, é possível determinar o módulo de elasticidade dinâmico (E_a) dos artefatos conforme Equação 7.

$$[7] \quad E_d = \rho . V^2 . K$$

Em que ρ é a densidade de massa no estado endurecido, em kg/m³; V é a velocidade que a onda ultrassônica leva para percorrer o corpo de prova no sentido longitudinal, em km/s; K é um coeficiente, determinado por meio do coeficiente de Poisson (ν), de acordo com a Equação 8.

[8]
$$K = \frac{(1+\nu).(1-2\nu)}{1-\nu}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação da reatividade álcali-agregado (RAA) residual em testemunhos de concreto

Após obtenção, conforme metodologia apresentada, as amostras tiveram sua expansão monitorada durante 31 dias. De acordo com os resultados apresentados na Figura 4, resultantes da média de leitura das quatro amostras, observa-se uma expansão final igual a (0,28 ± 0,07)% e (0,11 ± 0,06)% para os blocos de fundação o1 e 02, respectivamente.

Com base nas faixas de valores de expansão estabelecidos pela ABNT NBR 15577-1 [3], para ensaios executados de acordo com a ABNT NBR 15577-4 [6], foi possível classificar o grau de reatividade potencial dos agregados nessas estruturas, apesar de as dimensões e a composição dos testemunhos não serem exatamente as mesmas preconizadas pela ABNT NBR 15577-1 [3].O que se pode concluir com segurança é que os resultados evidenciam que os agregados presentes em ambas as estruturas ainda possuem potencial reativo. A situação pode ser mais grave no bloco de fundação o1, que

apresentou uma expansão igual a $(0.28 \pm 0.07)\%$ classificando seus agregados como potencialmente reativos (grau R1). Todavia, essa classificação quanto à gravidade só é válida caso haja presenca de álcalis e água suficientes para garantir a continuidade da reacão. O bloco de fundação oz apresentou uma ex-

pansão igual a $(0,13 \pm 0,06)\%$, classificando seus agregados como potencialmente inócuos (Ro).

De acordo com a norma ABNT NBR 15577-1 [3], agregados com reatividade R1 apresentam risco moderado a alto quando presentes em blocos de fundação (Tabela 1). Agregados classificados como inócuos (Ro) apresentam risco desprezível e nenhuma medida de prevenção é necessária. Observa-se que o bloco de fundação o1 apresenta maior risco à estrutura, a depender da presença de álcalis no meio, pois ainda tem potencial para uma elevada expansão residual, estando longe de uma estabilizacão. A depender de levantamentos complementares quanto à agressividade do solo e da água em contato com a estrutura, esta poderá necessitar de uma intervenção mais acentuada, como uma amarração externa, sob pressão. O bloco o 2 está próximo de uma estabilização e não deverá sofrer graves expansões nos próximos anos, mesmo com a presença de álcalis no sistema e, assim, uma intervenção mais simples, tais como uma injeção de nata de cimento, preenchendo as fissuras já existentes deve ser suficiente. Vale ressaltar que devido à metodologia proposta possuir um caráter de ineditismo, foi utilizado o procedimento padrão, utilizando a temperatura de 80°C.

3.2 Avaliação da expansão residual (SEF) por ataque de sulfatos em testemunhos de concreto

Após obtenção, conforme metodologia apresentada, as amostras tiveram sua

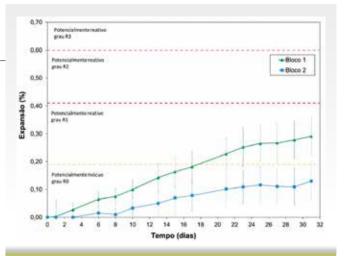


Figura 4
Expansão residual devida à RAA em amostras de testemunhos extraídos dos blocos de fundação 1 e 2, em função do tempo de ensaio acelerado

expansão monitorada durante 42 dias. Os resultados apresentados na Figura 5, resultantes da média de leitura das quatro amostras, apresenta a evolução da expansão média das barras provenientes dos testemunhos dos blocos de fundação on e o2, dispostas em solução de sulfato de sódio e em solução saturada com cal, além da consequente expansão resultante, em valores resumidos na Tabela 2.

Verificou-se, após 42 dias de ensaio, uma expansão resultante igual a cerca de (0,29% ± 0,02)% e (0,14% ± 0,04)% para os blocos de fundação 01 e 02, respectivamente. A ABNT NBR 16697 [11] e Marciano [12] estipulam um valor máximo aceitável de expansão igual a 0,03%. Observa-se que os resultados obtidos para os testemunhos dos dois blocos se encontram muito acima do valor máximo prescrito para se considerar um cimento resistente a sulfatos, principalmente para o bloco de fundação 01, cuja expansão resultante é quase 10 vezes superior a este valor.

3.3 Caracterização mecânica dos testemunhos de concreto

De forma adicional, foram determinados a resistência à compressão axial e o módulo de elasticidade estático em seis testemunhos (três para cada ensaio) extraídos em cada um dos blocos de fundação, conforme resultados apresentados na Tabela 3.

Conforme destacado no procedimento experimental, os dois blocos foram produzidos com concretos com

Tabela 1

Grau de risco da reatividade álcali-agregado (RAA) em função das dimensões e condições de exposição da estrutura, com base em resultados de ensaios acelerados, de acordo com ABNT NBR 15577-1 [3

Dimensões e condições de exposição dos	Classe de reatividade do agregado			
elementos estruturais de concreto		R1	R2	R3
Não maciço em ambiente seco (UR < 60%)	Desprezível	Desprezível	Mínimo	Moderado
Elemento maciço (menor dimensão > 1m) em ambiente seco	Desprezível	Mínimo	Moderado	Alto
Todas as estruturas geralmente externas expostas à umidade do ar, enterradas e imersas	Desprezível	Moderado	Alto	Muito alto
Todas as estruturas em contato com álcalis em condições de serviço (água do mar, solos contaminados, lençol freático contendo álcalis, etc.)	Desprezível	Alto	Muito alto	Muito alto

de testemunhos podem ser classificadas como concretos de qualidade "muito boa" quanto à compacidade, segundo a norma BS EN12504-4 [13], já que as velocidades ficaram entre 4,0 km/s e 4,5 km/s. No entanto, observa-se uma

▶ Tabela 2

Expansão média das amostras provenientes dos testemunhos dos blocos de fundação 01 e 02 imersas em solução de sulfato de sódio e em solução saturada com cal, além da consequente expansão resultante.

Solução de imersão	Bloco de fundação		
	01	02	
Solução de sulfato de sódio (i)	0,33%	0,19%	
Solução saturada com cal (ii)	0,04%	0,05%	
Expansão resultante (i – ii)	0,29%	0,14%	

redução de cerca de 6% na velocidade de propagação das ondas, resultando em uma redução de cerca de 21% no módulo de elasticidade dinâmico.

Segundo Li et al. [14], o módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio

bloco oz apresentou redução pouco significativa na resistência à compressão e, de acordo com o desvio padrão, está ainda em condições aceitáveis, ao contrário do concreto presente no bloco o1, que teve uma queda de cerca de 25% em sua resistência à compressão axial.

resistência de projeto (f_{ck}) igual a 32 MPa.

Observa-se que o concreto utilizado no

Os resultados de propriedades mecânicas apresentam grande coerência com os resultados de RAA e ataque por sulfatos apresentados anteriormente. Observa-se que os concretos que apresentam maior reatividade potencial são aqueles que apresentaram maior perda de desempenho ao longo do tempo.

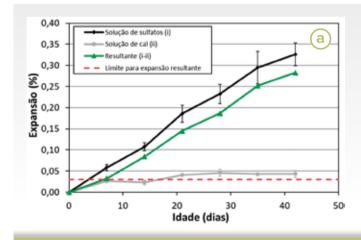
De forma complementar, foram realizados ensaios de avaliação da velocidade de propagação de pulso de onda ultrassônica nos testemunhos testados, conforme resultados apresentados na Tabela 4.

De acordo com os resultados do ensaio de ultrassom, todas as amostras

Tabela 3

Resistência à compressão axial (f_c) e Módulo de elasticidade estático (E_c) dos testemunhos de concreto extraídos dos blocos de fundação 01 e 02

Bloco de	Amostra	Resistência à compressão, f _c		Módulo de elasticidade estático, \mathbf{E}_{ci}	
fundação	- Fillestia	Valor individual (MPa)	Média (MPa)	Valor individual (MPa)	Média (MPa)
	1a	21,0	23,90 ± 3,37	12,18	
Bloco 1	1b	27,6		15,72	13,80 ± 1,79
	1c	23,1		13,50	
	2a	32,3	30,57 ± 1,92	14,50	
Bloco 2	2b	28,5		17,65	17,38 ± 2,75
	2c	30,9		19,98	



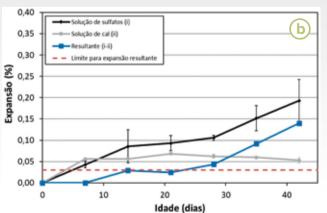


Figura 5

Expansão residual média em amostras de testemunhos extraídos dos blocos de fundação (A) 01 e (B) 02, dispostas em soluções de sulfato de sódio e saturada com cal e as consequentes expansões resultantes, ac longo do tempo, em função do tempo de ensaio acelerado

Dabela 4

Velocidade de propagação de pulso de onda ultrassônico e módulo de elasticidade dinâmico (E_a) dos testemunhos de concreto extraídos dos blocos de fundação 01 e 02

Bloco	Amostra	Velocidade (km/s)	E _d (GPa)	Velocidade média (km/s)	E _d médio (GPa)
	1a	4,067	38,22		
	1b	4,277	40,53	4,12 ± 0,08	
Bloco 1	1c	4,092	37,04		31,97 ± 6,94
	1d	4,060	41,39		
	1e	4,114	37,70		
	2a	4,395	44,24	4,37 ± 0,09	
	2b	4,438	44,36		
Bloco 2	2c	4,227	35,87		40,45 ± 3,77
	2d	4,454	39,72		
	2e	4,339	38,06		

do ensaio de determinação da propagação de ondas ultrassônicas analisa o grau de compacidade do material, a fim de se verificar a porosidade do concreto e presença de fissuras, podendo apensas ser correlacionado com o módulo de elasticidade estático.

Apesar da diferença absoluta entre os valores dos módulos de elasticidade estático e dinâmico, constata-se que a redução dos valores (21%) é semelhante, indicando que o bloco oz possui maior rigidez

e, possivelmente, menos fissuras em relação ao bloco o1, sendo um indício de que o bloco o1 foi mais afetado pelas fissuras ocasionadas por problemas com RAA e/ ou ataque por sulfatos (DEF ou SEF) [15].

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que:

Os testemunhos de concreto do bloco de fundação o apresentaram-se mais

- suscetíveis à reação álcalis-agregado e à expansão por sulfatos residuais, em relação aos testemunhos do bloco de fundação 2, indicando que o bloco or apresenta agregados mais reativos e características do concreto mais vulneráveis ao ataque de sulfatos externos, provenientes do solo ou água;
- O bloco de fundação oz apresentou maior resistência mecânica, rigidez estática e dinâmica em relação ao bloco o1, indicando perda de desempenho predominante decorrente do ataque por sulfatos externos, com formação de etringita secundária;
- A metodologia proposta permitiu comparar e analisar de forma satisfatória estruturas que possam estar sendo acometidas por RAA e ataque por sulfatos, indicando seu potencial de expansão residual. Aliadas a outros levantamentos como características de projeto do concreto e grau de agressividade do solo e água em contato com essas estruturas, ela pode contribuir para identificar a melhor forma de intervenção.

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TORRES, I.F.; ANDRADE, T. Risk analysis of the delayed ettringite formation in pile caps foundation in the metropolitan region of Recife PE Brasil. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 9, n. 3, p. 376-394, 2016.
- [2] ZHAO, G.; SHI, M.; FAN, H.; CUI, J.; XIE, F. The influence of multiple combined chemical attack on cast-in-situ concrete: Deformation, mechanical development and mechanisms. Construction and Building Materials, v. 251, s/n, paper 118988, 12 p., 2020.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15577-1: Agregados Reatividade álcali-agregado Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12655: Concreto de cimento Portland Preparo, controle, recebimento e aceitação Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7680-1: Concreto Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 27 p., 2015.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15577-4: Agregados Reatividade álcali-agregado Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 17 p., 2018.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13583: Cimento Portland Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro, 14 p., 2014.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16697: Cimento Portland Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 14 p., 2018b.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8522: Concreto endurecido Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16697: Cimento Portland Requisitos. Rio de Janeiro, 12 p., 2018c.
- [12] MARCIANO, Z.A.N. Desenvolvimento de um método acelerado para avaliação da resistência de argamassas de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. 1993. 202 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- [13] EUROPEAN STANDARD BRITISH STANDARD. BS EN 12504-4: Testing concrete. Determination of ultrasonic pulse velocity. Bruxelas, 18 p., 2004.
- [14] LI, M.; ANDERSON, N. L.; SNEED, L. H.; KANG, X. An Assessment of Concrete Over Asphalt Pavement Using Both the Ultrasonic Surface Wave and Impact Echo Techniques. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, v. 21, i. 4, p. 137-149, 2016.
- [15] WANG, Y.; JIRADILOK, P.; NAGAI, K.; ASAMOTO, S. A mesoscale discrete model for mechanical performance of concrete damaged by coupled ASR and DEF. Engineering Fracture Mechanics, v. 232, s/n, paper 107055, 16 p., 2020.

Avaliação das **propriedades mecânicas** e de autocicatrização de **bioconcreto** produzido com *bacillus subtilis*

MARIANA ZAKRZEVSKI – Eng. – mariana_zak@hotmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-3741-1861;
ANDRÉ L. SOKOLOVSKI – Grad. – ORCID https://orcid.org/0000-0002-3258-0084;
JULIA K. DE RÉ – Grad. – ORCID https://orcid.org/0000-0003-4828-7648);
GABRIEL F. NESTOR – Grad. – ORCID https://orcid.org/0000-0001-6182-3906);
SUELEN C. VANZETTO – Ms Prof. – ORCID https://orcid.org/0000-0003-0430-6130)
URI – RS

R E S U M O

é uma manifestação patológica muito comum em edificações. Haja vista, o bioconcreto vem sendo estudado para minimizar e corrigir tal empecilho, a fim de reduzir intervenções externas na estrutura. Essa alternativa utiliza do metabolismo de bactérias para a produção de carbonato de cálcio, substância responsável pela vedação de fissuras. O trabalho desenvolvido utilizou de Bacillus subtilis para a confecção do bioconcreto, onde foi analisada a eficiência da mesma quando encapsulada em partículas de argila

expandida. A moldagem dos corpos de prova sucedeu conforme os traços de referência, com argila expandida e argila com bactérias encapsuladas. O concreto contendo bactérias apresentou grandes melhorias na resistência à compressão quando comparado ao concreto confeccionado somente com argila expandida, praticamente igualando seus resultados ao concreto de referência. Também foi possível identificar uma possível presença de carbonato de cálcio em fissuras do concreto e no interior da argila expandida, manifestando o processo de autocicatrização.

PALAVRAS-CHAVE: BIOCONCRETO, CARBONATO DE CÁLCIO, BACILLUS SUBTILIS, AUTOCICATRIZAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

fissuração é a principal porta de entrada de água ao interior das estruturas de concreto. Esta ocorrência pode desencadear a corrosão nas armaduras, podendo levar as estruturas ao colapso (VENQUIARUTO, 2017).

A má qualidade dos materiais, problemas no projeto e execução, bem como a ação do tempo, podem vir a causar patologias nas edificações. As fissuras são consideradas a patologia mais comum, sendo o principal caminho para a entrada de agentes agressivos nas estruturas de concreto.

O concreto dispõe de um processo de cicatrização natural, que se dá pelo preenchimento dos vazios das fissuras através da hidratação das porções anidras de cimento Portland remanescentes no concreto (EUZÉBIO et al. 2017). Contudo, o processo natural

de cicatrização é limitado a pequenas fissuras, havendo a necessidade da busca por outras alternativas. O bioconcreto aplicado na estrutura viabiliza, de forma segura, sustentável e econômica, o processo de autorreparação da estrutura danificada. (BARROS et al. 2018).

Caracterização Cultivo das bactérias corpos de prova

Brita 1 Preparo do meio de cultivo de corpos de prova compressão

Cimento CPV-ARI Cultivo de Bacillus Subtilis Cura Recuperação de fissuras

Figura 1
Fluxograma do procedimento metodológico
Fonte: Autores (2021)

Bioconcretos são concretos que possuem um agente biológico na sua composição, sendo este capaz de induzir a formação de carbonato de cálcio nos vazios da estrutura. As bactérias inseridas são encapsuladas, a fim de que quando surgirem fissuras e, consequentemente,

> contato com a água, essas bactérias comecem a agir, vedando as aberturas geradas, (VIEIRA, 2017).

> Ansiando minimizar, ou até mesmo evitar, a necessidade de manutenções corretivas nas edificações, o objetivo da pesquisa é analisar a eficácia da incorporação de bactérias *Bacillus subtilis* na produção de bioconcretos, verificando o preenchimento de fissuras através da produção de carbonato de cálcio.

2. **DESENVOLVIMENTO**

O projeto em questão foi desenvolvido em etapas



Figura 2
 Meio de cultura com bactérias
 Bacillus subtilis
 Fonte: Autores (2021)

distribuídas ao longo de um ano. Preliminarmente efetuou-se a revisão bibliográfica, abrangendo pesquisas já realizadas sobre o assunto. A fração experimental da pesquisa foi executada em quatro etapas, sendo elas apresentadas na Figura 1.

2.1 Preparo dos materiais

O meio de cultura contendo bactérias da espécie Bacillus subtillis foi pre-



Processo de encapsulamento em argila expandida
Fonte: Autores (2021)

parado no laboratório de Engenharia de Alimentos, localizado no Campus I da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), em Erechim/RS.

A cepa de Bacillus subtillis (ATCC 6633), armazenada em freezer a -80°C, foi ativada previamente em 10 mililitros (mL) de meio Luria Bertani (LB) no decorrer de 24 horas a (36±1) °C dentro de estufa bacteriológica. Posteriormente, a suspensão bacteriana gerada foi transferida para um frasco de erlenmeyer contendo 90 mL de meio LB para a produção do inóculo, sendo este, incubado também a (36±1) ^oC por 24 horas na mesma estufa. Por fim, o inóculo foi transferido para outro frasco erlenmeyer, este contendo 900 mL de caldo LB e acomodado em estufa na mesma temperatura e período já citados, totalizando ao final, 1 litro (L) de meio de cultura. Este procedimento foi feito em duplicata, obtendo-se 2 litros do composto. O meio de cultura formado é apresentado na Figura 2.

O concreto moldado dispôs de alguns procedimentos distintos, quando comparado ao concreto convencional. É o caso da preparação das cápsulas contendo bactérias e meio de cultivo, executada com o auxílio da argila expandida. As partículas de argila expandida foram embebidas na solução de *Bacillus subtilis* e meio de cultivo, permanecendo em sistema aberto durante 72 horas, a fim de ocorrer a absorção da solução. O processo foi realizado de acordo com a Figura 3.

2.2 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova de bioconcreto foram moldados em formas metálicas cilíndricas com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura. Foram dosados três diferentes traços de concreto, sendo:

- a) traço 1 (referência): cimento, areia, brita e áqua;
- b) traço 2: cimento, areia, brita, argila expandida e áqua;
- c) traço 3: cimento, areia, brita, água e argila expandida com meio de cultura e bactérias.

A argila expandida que foi adicionada aos traços de concreto entrou como substituição de 15% da massa total de brita, detendo a função de encapsular o agente regenerador de fissuras.

Para formação das fissuras foi feita pré fissuração dos corpos de prova com 70% da carga de ruptura aos 7 dias. As análises de resistência à compressão e recuperação de fissuras foram feitas 28 dias após a moldagem dos corpos de prova. Foram confeccionados 12 corpos de prova para cada traço, passando pelo processo de cura em câmara úmida e em ciclos (72 horas em câmara úmida e 72 horas exposta ao ar). A distribuição dos corpos de prova em relação aos ensaios realizados está descrita na Tabela 1.

Na etapa da concretagem, primeiramente foi adicionada a brita na betoneira, seguida por parte da água, cimento, areia, o restante da água e por fim o aditivo. O mesmo processo foi realizado nos concretos com a adição da argila expandida e argila expandida com bactérias, colocados na mistura juntamente com o agregado graúdo. Os materiais utilizados e o processo de produção do concreto são exibidos nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

Vinte e quatro horas após a moldagem, os corpos de prova foram retirados das formas. Nesta etapa, os mesmos foram destinados à cura em câmara úmida, permanecendo por 7 dias até a pré-fissuração, onde foi aplicada uma força equivalente a 70% da sua resistência à compressão, gerando fissuras no concreto, que adiante deverão ser cicatrizadas pelas bactérias encapsuladas em argila expandida.

Tabela 1 Quantidade de corpos de prova dispostos para cada ensaio

Tipo de concreto	Idade para ensaio	Resistência à compressão	Análise visual das fissuras
Traço 1	28 dias	6	6
Traço 2	28 dias	6	6
Traço 3	28 dias	6	6
Total	_	18	18
Fonte: Autores	2021)		





 Figura 4
 a) Materiais utilizados na concretagem; b) Processo de produção do concreto
 Fonte: Autoros (2021)

2.3 Ensaios em estado endurecido

Foram realizados ensaios e análises nos corpos de prova de bioconcreto em estado endurecido, sendo eles: resistência à compressão e análise visual da recuperação de fissuras.

2.31 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2018) foram realizados 28 dias após a moldagem

Tabela 2 Resultados dos ensaios de resistência à compressão ao

Tipo de concreto	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
Referência	40,1	3,1	7,7
Argila expandida	30,7	7,1	23,3
Argila expandida com bactérias	37,8	3,3	8,8
Fonte: Autores (2021)		

dos corpos de prova, por intermédio de prensa hidráulica. As análises serviram de comparativo para a resistência entre os traços, bem como para identificar a influência que a argila expandida, meio de cultivo e bactérias tem sobre a mesma.

2.3.2 ANÁLISE VISUAL DA RECUPERAÇÃO DE FISSURAS

Observou-se também as fissuras previamente geradas nos corpos de prova, com o intuito de detectar a formação de cristais de carbonato de cálcio e, consequentemente, a sua cicatrização. Essa identificação foi feita com o auxílio de Lupa Estereoscópica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez concluídos os ensaios dos corpos de prova em estado endurecido, fez-se a análise dos resultados obtidos para cada tipo de traço e cura.

3.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos para os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova curados em câmara úmida e em ciclos, estão dispostos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

O concreto com argila expandida. em ambos os casos, obteve resultados inferiores aos demais tracos. Ouando submetidos à cura úmida, os corpos de prova somente com argila expandida apresentaram uma resistência 30,6% menor do que a do concreto de referência e 23,4% menor do que as amostras com argila e bactérias. Em relação a cura em ciclos, as divergências foram ainda maiores, indicando uma resistência 33,2% menor do que a do concreto de referência e 31,9% menor do que as amostras com argila e bactérias. A Figura 5 facilita o entendimento dos resultados

Para melhor avaliação dos resultados foi realizado o teste Tukey, o qual identificou que o concreto contendo argila expandida, quando submetido à cura úmida, é estatisticamente diferente dos concretos de referência e com argila e bactérias, quando submetidos à cura em ciclos.

Foi possível constatar que o uso das bactérias na confecção do concreto aumentou a resistência à compressão quando comparado ao concreto somente com argila expandida, atingindo valores próximos ao concreto de referência. Esse comportamento pode ter relação com uma possível precipitação de carbonato de cálcio, promovido pelas bactérias encapsuladas na argila expandida.

O mesmo é identificado em diversos outros estudos, sendo um deles o

Dabela 3

Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias (cura em ciclos)

Tipo de concreto	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
Referência	45,1	1,0	2,2
Argila expandida	33,9	4,2	12,4
Argila expandida com bactérias	44,7	3,0	6,8
Fonte: Autores	(2021)		

realizado por Nguyen (2019), que constatou que o uso de *Bacillus subtilis* diminui a porosidade do concreto, o que consequentemente aumenta sua resistência à compressão, diminui a absorção de água e a permeabilidade de cloretos.

O aumento da resistência à compressão quando realizada a cura em ciclos também foi mencionada por outros autores, como é o caso de Valin e Lima (2010), que identificaram um aumento na resistência à compressão quando empregados ciclos de 7 dias em cura úmida e expostas ao ar em relação a cura somente exposta ao ar, ou então em câmara úmida.

3.2 Identificação visual de cicatrização de fissuras

O processo de autocicatrização do concreto é um dos parâmetros mais importantes a ser avaliado, uma vez que será ele o responsável pelo selamento das fissuras sucedidas no concreto, fissuras estas provenientes do pré-carregamento realizado sete dias após a concretagem.

A identificação visual das fissuras foi feita com o auxílio de uma lupa estere-oscópica com aumento de 20 e 40 vezes e em pontos isolados com microscópio contendo aumento de 200 vezes. Não foi possível identificar claramente muitas fissuras, porém foi possível reconhecer pequenas falhas na matriz do concreto. Nas amostras do concreto de referência e com argila, não foi identifi-

cada visualmente a presenca de partículas que diferissem do concreto tradicional. No entanto, em relação ao concreto com argila e bactérias, pequenas partículas esbranquicadas foram identificadas nas falhas do concreto e no interior da argila expandida, indicando uma possível presenca de carbonato de cálcio: contudo, há a necessidade de mais estudos comprobatórios por meio de análise mineralógica, como a difração de raios

X, ou avaliações por meio de MEV, de maneira a se confirmar essa provável deposição de carbonatos. As Figuras 6 e 7 apresentam a identificação de fissuras no interior da argila expandida e a presença de produtos esbranquiçados em seu interior, o que sugere uma provável precipitação de carbonato de cálcio no interior delas.

Na Figura 8 é possível identificar nitidamente a diferença entre a argila que possui bactérias encapsuladas e a que não possui. Cristais de carbonato

60 55 50 a compressão (MPa) 45 40 35 30 Resistencia 25 20 15 10 Cura em ciclos 5 Referência Argila com bactérias Argila Tipo de concreto

Figura 5
 Comparação das resistências à compressão ao:
 28 dias (cura úmida e em ciclos)
 Fonte: Autores (2021)

de cálcio tendem a vedar irregularidades presentes no concreto, multiplicando-se com a presença de água.

4. CONCLUSÕES

Quando comparados os tipos de cura, pode-se concluir que os corpos de prova que foram submetidos à cura em ciclos alcançaram melhores resultados em relação aos expostos em cura úmida.



Figura 8

Comparação entre o interior de argila expandida com bactérias (imagem à esquerda) e argila expandida (imagem à direita), com 200x de aumento Fonte: Autores (2021)



Figura 6

Identificação de fissuras em argila expandida com bactérias (aumento de 20x e 40x respectivamente)



Figura 7

Amostra de concreto com argila expandida e bactérias Fonte: Autores (2021)

Quanto à resistência à compressão, houve pouca diferença nos resultados dos corpos de prova de referência e com argila e bactérias, indicando que a presença de bactérias aumenta a resistência mecânica do concreto. Em ambos os tipos de cura, a melhor resistência à compressão foi encontrada nos concretos de referência, seguidos pelo concreto com argila e bactérias, e, por último,

o concreto confeccionado somente com argila.

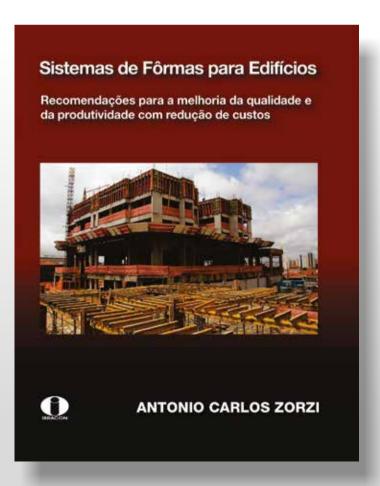
A cicatrização de fissuras foi identificada somente nos corpos de prova que possuíam bactérias encapsuladas na argila expandida e, principalmente, nos que foram submetidos à cura em ciclos. A região ao redor de fissuras que foram avistadas na argila também apresentou possível forma-

ção de carbonato de cálcio em pontos de falha.

Possivelmente, se submetidos a um maior período de cura, os corpos de prova contendo argila e bactérias teriam maior ocorrência de cicatrização e aumento na resistência à compressão, dado que, os cristais de carbonato de cálcio necessitam de um período maior para se desenvolver.

PREFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR. 5739:. Concreto Ensaio de Compressão de copos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. ABNT, 2018.BARROS, N et al. Bioconcreto. São Paulo: USF, 2018.
- [2] EUZÉBIO, N et al. Estudo exploratório de concreto com introdução de Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis, acetato de cálcio e ureia. Goiânia: UFG, 2017.
- [3] NGUYEN, Thanh Ha et al. Bacterial self-healing of concrete and durability assessment. Cement and Concrete Composites, v. 104, p. 103340, 2019.
- [4] VALIN Jr, MARCOS DE OLIVEIRA & LIMA, Sandra. Influência dos procedimentos de cura na resistência e na absorção do concreto. Concreto & Construção. 60. 51-54, 2010.
- [5] VENQUIARUTO, Simone Dornelles. Influência da microfissuração causada nas primeiras idades na durabilidade de concretos ao longo do tempo (Self-Healing). Porto Alegre: UFRGS, 2017.
- [6] VIEIRA, Juliana Aparecida. Biodeposição de CaCO3 em materiais cimentícios: contribuição ao estudo da biomineralização induzida por Bacillus subtilis. Porto Alegre: UFRGS, 2017.



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

Autor: Antonio Carlos Zorzi

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

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

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 195

Acabamento: Capa dura Ano da publicação: 2015



(Loja Virtual)

Pavimento de concreto colorido e permeável: aplicações em ciclovias — estudo de caso construtivo

JOSÉ T. BALBO – Prof., ORCID https://orcid.org/0000-0001-9235-1331;
JOSÉ R. S. MARTINS – Prof., ORCID https://orcid.org/0000-0002-3331-1222;
ANDREIA P. CARGNIN – DOUTORANDA, ORCID https://orcid.org/0000-0003-1568-2756;
ERIC R. DA SILVA – DOUTORANDO, ORCID https://orcid.org/0000-0003-3211-8372;
HELENA LO RIBEIRO – GRADUANDA, ORCID https://orcid.org/0000-0003-0447-2622;
CAROLINA M. ESPOSITO – GRADUANDA, ORCID https://orcid.org/0000-0002-2014-9174 – EPUSP

RESUMO

Apresenta-se o processo construtivo de ciclovia experimental com concreto permeável colorido. São detalhados, além dos aspectos de projeto, os preparativos referentes à escavação, guias laterais, conformação do subleito, aplicação de base com agregado reciclado de entulho de construção e de demolição, emprego de manta de PEAD, instalação de dreno para coleta de águas pluviais, aplicação dos concretos coloridos e seu processo executivo. Por fim, são apresentadas as dificuldades observadas em

obras e as lições extraídas do experimento construtivo, que serão de utilidade prática para projetistas e construtores dessas infraestruturas urbanas. As dificuldades e aprendizados exploram aspectos como perda de coloração superficial por aplicação de alisadora de concreto, retração de secagem, efeito de molhagem do concreto fresco por águas de chuva, dentre outros não menos importantes.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO PERMEÁVEL, CONCRETO COLORIDO, CICLOVIAS, PROCESSO CONSTRUTIVO.

1. AS SUPERFÍCIES DE CICLOVIAS

s ciclovias, como faixas exclusivas e completamente isoladas para o fluxo dos ciclistas, são ainda o tipo de via em menor extensão nos projetos urbanos no Brasil, sendo normalmente preteridas pelas ciclorrotas ou ciclofaixas. Esta situação não é uma escolha casual, mas relacionada à oferta para atendimento de demanda do transporte cicloviário, sendo que o elevado custo de ciclovias, que, com todos os seus equipamentos viários, pode chegar facilmente ao milhão de reais por quilômetro quando construídas em concreto. Arengo-Alvarez (2021), empregando modelagem com o Highway Development and Management Model (HDM-4) e com base em análises socioeconômicas, conclui que tais ciclovias exclusivas se justificam, na cidade de São Paulo, para volumes de ao menos 1.000 bicicletas diariamente.

As ciclofaixas, que utilizam para sua definição uma fatia da faixa de rolamento originalmente de veículos motori-

zados, são delimitadas por sinalização adequada, como a segregação por meio de tachões refletivos viários que identificam uma transposição entre faixas de rolamentos. A pintura da superfície da faixa da ciclofaixa ou ciclorrota é realizada naturalmente com emprego de tintura específica para superfícies impermeáveis, como são os casos das convencionais e imperativas misturas asfálticas densas em sistemas viários e dos pavimentos de concreto convencionais.

O Manual do GEIPOT (2001) traz diversos conceitos relevantes no trato de dimensionamento de ciclovias, requerendo no que tange à sua pavimentação:

- Regularidade de superfície, o que se traduz por conforto ao rolamento, mantidos valores de irregularidade longitudinais em níveis baixos e aceitáveis para o tipo de veículo circulante (bicicleta);
- Ser superfície impermeável, o que, infelizmente, é conceito a ser metamorfoseado, pois, em vias urbanas

- a impermeabilização causada em superfícies pavimentadas deve ser o principal objeto de mitigação para cidades sustentáveis (BALBO, 2020);
- Antiderrapante, o que texturas superficiais abertas certamente proporcionam em níveis superiores a superfícies lisas em vista da exposição de agregados, que possuem sua microtextura intrínseca e sua macrotextura de conjunto, embora pouco relevantes para concretos que ofereçam permeabilidade vertical intensa (15 a 35% de vazios);
- Possuir aspecto agradável, o que estabelece uma seara um tanto quanto subjetivista para se decidir por tonalidades e cores;
- Necessidade de diferenciação visual, por meio de cor, de faixas cicloviárias, até mesmo para incrementar a segurança operacional viária, o que envolve aspectos psicológicos, visuais e comportamentais dos condutores de veículos motorizados e de bicicletas; resta acrescentar nesse tópico, além

- da normativa, que o concreto colorido abre perspectivas estéticas nas vias urbanas normalmente não consideradas em projetos corriqueiros;
- Que, no caso de concretos de ligantes hidráulicos, é pertinente o emprego de óxidos de ferro como adição na mistura para garantir a coloração, no caso, avermelhada, conforme prática no Brasil (não obrigatoriamente em outros países).

A aplicação de material inadequado para colorir a superfície das ciclovias gera problemas de segurança aos usuários. "Em muitos casos, a utilização de tinta inadequada faz com que a ciclovia se torne escorregadia na chuva, causando acidentes e colocando os ciclistas em risco. É o que aconteceu com a primeira etapa da Ciclovia Rio Pinheiros (Vila Olímpia – Miquel Yunes): as quedas e reclamações eram constantes. Hoje em dia, com a tinta já bastante desgastada, o problema diminuiu muito" (Cruz, 2013). Entende-se claramente a partir da opinião de leigos que a pintura sobre a superfície deve preservar absoluta condição de aderência pneu/ pavimento para se evitar acidentes na modalidade. Isso também é aplicável a calçamentos para pedestres.

A coloração da superfície de ciclovias por meio de pinturas com tintas especiais é passível de certas desvantagens, algumas mais problemáticas: exigência de tinturas de custo elevado; manutenção anual da pintura superficial em função de deterioração por ação de águas (ácidas ou não) e radiação ultravioleta; formação de superfícies lisas e de menor aderência. Esses aspectos devem ser considerados na análise de curto e longo prazo desse investimento para melhor abalizar a solução adequada.

Dessa forma, o artigo presente retrata um projeto internacional em andamento com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o CONICYT (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Chile) em parceria com a Universidad de La Concepción, além do Programa USP MUNICÍPIOS, que tem por finalidade o desenvolvimento de tecnologias e sua disseminação para melhoria de sustentabilidade de cidades do Estado de São Paulo. Após discussão

na parte I sobre os estudos de dosagem de concretos permeáveis pigmentados (CONCRETO & Construções 105), em seu contexto são apresentadas as perspectivas acerca do processo executivo de tais pavimentos permeáveis, indicando suas dificuldades específicas e merecedoras de estudos mais aprofundados.

2. IMPLANTAÇÃO DE UMA CICLOVIA COLORIDA EM CONCRETO PERMEÁVEL (EXPERIMENTAL)

2.1 Local do experimento

A pista teste cicloviária em concretos permeáveis coloridos foi construída na Praça do Pôr do Sol, na Av. Prof. Lineu Prestes, no campus da Universidade de São Paulo (Cidade Universitária, Butantã). Na Figura 1, é apresentado o levantamento do local com a indicação do trecho de 100 m de extensão. Ao lado (em paralelo) da ciclovia-teste existe uma calçada permeável (concreto) construída em 2016.

2.2 Projeto de execução

As seguintes dimensões foram definidas, levando-se em consideração aspectos de circulação mínima de bicicletas:

- Largura da pista (ciclovia) de 2,2 m, 1,1 m por sentido de tráfego;
- Extensão total de 100 m;
- Trecho com inclusão de estudos hidráulicos com 30 m de extensão e hermeticamente fechado por quias

- de concreto em seus limites;
- Trechos em concreto colorido sequenciais ao primeiro, com 35 m de extensão cada um, sem guias de concreto, visando atender à situação mais comum de implantação de ciclovias em canteiros centrais de avenidas e em praças públicas (Figura 2).

Cabe agui uma consideração importante. Em ciclovias, normalmente, as faixas são pintadas com tintas de elevado desempenho para resistir às intempéries. Contudo, a experiência paulistana tem mostrado que, além de ser um material custoso (a tintura especial), deve passar por renovações de periodicidade anual ou bienal, dependendo do tráfego sobre a superfície. Portanto, o uso de piqmentos coloridos no concreto, embora também custosos (e dependentes da cor do pigmento), poderá representar uma estabilidade de tonalidade longeva, evitando-se os altos custos de manutenção de superfícies coloridas com tintas, que, por sinal, requerem nova demarcação de sinalização de pista após cada aplicação. Aproveita-se, assim, o experimento para se criar o conhecimento que possa abalizar a melhor maneira, futuramente, de se dar cores a essas superfícies peculiares. As estruturas de pavimentos (Figura 3 e 4) foram fixadas após análise mecanicista (BALBO, 2020) e considerando recomendações internacionais (ACI, 2010), contendo as camadas abaixo descritas, sendo suas peculiaridades indicadas na Tabela 1.

- 100 mm de concreto permeável;
- 100 mm de base granular composta por resíduos de construção e de





Figura 1

a) Plano cotado do local; b) Vista de satélite do local

Tabela 1 Peculiaridades dos segmentos de teste

Estudos hidráulicos, com captação de água. Emprego de manta de PEAD sobre o subleito para impedir infiltração no solo. Tubulação perfurada para coleta de água e ligação a vertedouro instalado no início do segmento. 2 35 Concreto colorido vermelho; infiltração total no solo. Concreto colorido verde; infiltração total no solo.	Segmento	Extensão (m)	Peculiaridades
2 35 vermelho; infiltração total no solo. Concreto colorido 3 35 verde; infiltração total	1	30	com captação de água. Emprego de manta de PEAD sobre o subleito para impedir infiltração no solo. Tubulação perfurada para coleta de água e ligação a vertedouro instalado no início do
3 35 verde; infiltração total	2	35	vermelho; infiltração
	3	35	verde; infiltração total

demolição (reciclados RCD), buscando incrementar a sustentabilidade ambiental do projeto, como referência para uso prático por prefeituras;

Subleito não compactado (para permitir melhor infiltração d`água) na cota de escavação da caixa (200 mm).

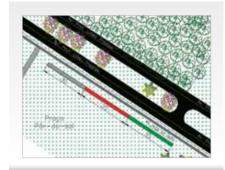
A opção de concreto permeável na cor azul foi descartada devido ao alto custo do pigmento à base de óxido de cobalto, tornando-se um caso de replicação mais específica, além dos objetivos de estudos e pesquisas sobre a infraestrutura cicloviária construída. Nas Figuras 2 a 4 ilustram-se o projeto de implantação da ciclovia e as seções transversais dos segmentos projetados.

3. EXECUÇÃO DA CICLOVIA EXPERIMENTAL COLORIDA

Como já esclarecido anteriormente, a ciclovia foi construída em três trechos: o primeiro para testes hidráulicos com seção confinada em concreto permeável sem coloração; os dois trechos sucessivos, com 35 m de extensão cada um, em vermelho e verde, respectivamente, para testes funcionais e estruturais nos pavimentos. Nos trechos 2 e 3, não foram instaladas guias de concreto nem lona plástica, permitindo-se que a água precipitada sobre a superfície infiltre no terreno natural pelas bordas laterais e subleito; essa é a condição que mais retrata o comum em sistemas viários para

bicicletas. O processo construtivo teve início em setembro de 2020, compreendendo as sequintes etapas:

- Demarcação com piquetes dos offsets do segmento completo para operação de pá-escavadeira (Figura 5);
- Remoção de grama e blocos de concretos intertravados na superfície existente (Figura 6);
- III. Escavação do extrato inferior com manutenção do fundo da escavação (camada final do subleito ou topo do subleito) -200 mm abaixo da posição da superfície natural (o trecho todo possui caimento de 2% do final para o início Figura 7);
- IV. Instalação de guias de concreto laterais e de fechamento nas extremidades do Trecho 1 (com 30 m) e mantendo-se o distanciamento entre as faces internas das guias laterais de 2,2 m, a largura útil da ciclovia (Figura 8);
- V. Instalação de formas laterais de madeira nos 70 m restantes, remo-



▶ Figura 2 Situação de implantação da ciclovia em concreto permeável

víveis após construção (Figura 9);

- VI. Nivelamento manual do fundo da caixa no Trecho 1;
- VII. Escavação da canaleta central longitudinal em toda extensão do Trecho 1 para posterior posicionamento do tubo de 50 m (diâmetro) perfurado, para captação de águas pluviais sob a base granular de RCD (Figura 10);

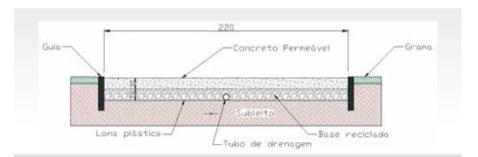


Figura 3 Seção transversal do primeiro segmento com teste hidrológico-hidráulico Unidade de medida: cm

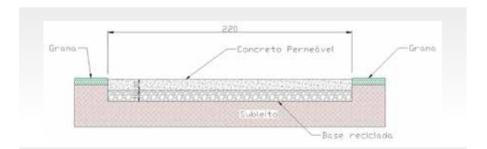
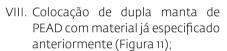


Figura 4 Seção transversal do segundo e terceiro trechos Unidade de medida: cm



Figura 5 Demarcação de offsets



- IX. Posicionamento do tubo de 50 mm na camada longitudinal envolto inferiormente pela manta de PEAD (Figura 12);
- Lançamento de agregado reciclado (RCD), proveniente de Valinhos (SP), da usina de reciclagem da empresa SBR (SBR Reciclagem - Recursos renováveis e meio ambiente); este agregado consistia em padrão pedra 1 (na realidade uma mistura de pedras, tijolos, telhas,



Figura 6 Remoção de grama e blocos

concretos etc.) com diâmetro entre 12 e 19 mm. Estudos prévios laboratoriais indicaram porosidade (índice de vazios) de 70% para o material (Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP), valor esse bem razoável posto que espera-se, para bases permeáveis nesse tipo de pavimentação, a meta de 40% de porosidade (Figura13);

Execução da caixa coletora na extremidade da secão de controle para coleta de água, conectada com o tubo de 50 mm instalado



Figura 7 Escavação

para captação de águas sob o pavimento (Figura 14);

XII. Lançamento do concreto permeável sem pigmentos na seção 1 e sucessivamente nas seções 2 e 3 (vermelho e verde), por meio de bica de caminhões betoneira, desempenamento superficial e acabamento com equipamento alisador circular ("bambolê"), conforme apresentado nas Figuras 15 a 22.

No tocante à aplicação dos concretos permeáveis, a execução dos revestimentos em concretos permeáveis se



Figura 8 Instalação de guias (trecho 1)



Figura 9 Instalação de formas laterais (trechos 2 e 3)



Figura 10 Escavação da canaleta central para posicionamento posterior do tubo de coleta



Figura 11
Colocação de manta de PEAD
(trecho 1)



Figura 12
Posicionamento de tubo coletor



Figura 13
 Lançamento do agregado
 reciclado como base permeável



Figura 14Instalação de caixa de coleta



Figura 15
Espalhamento do concreto



Figura 16Regularização da superfície



Figura 17
Compactação com rolo manual



Figura 18
Acabamento com alisadora de concreto circular



Figura 19
Execução do trecho com concreto vermelho



Figura 20 Acabamento do trecho 2 com alisadora

deu conforme descrito na sequência. Os concretos foram transportados entre a usina e o local de aplicação por caminhões betoneira, em volumes de 3,5 a 4,5 m³; o tempo de transporte era de aproximadamente 15 minutos. Lançado o concreto com a bica de uma betoneira, baixa, procedia-se o espalhamento com auxílio de enxadas. Após o espalhamento e regularização da superfície de concreto permeável, seu sutil adensamento (BALBO, 2020) foi obtido com auxílio de régua metálica, sucedida pela passagem de um rolo manual



Figura 22 Superfície finalizada

de 2,5 m de geratriz, cujo peso por metro linear é de 68 kg, conforme sugerido pela Colorado Ready Mixed Concrete Association (CRMA, s.d.) A superfície foi, então, finalizada com a passagem de um alisador circular giratório para concretos, equipamento utilizado para acabamento e regularização de pisos industriais, com o intuito de eliminar possíveis ondulações decorrentes da passagem do rolo para compactação da mistura. Esse equipamento foi passado uma única e exclusiva vez, pois a sua aplicação excessiva poderá resultar no fechamento dos poros mais superficialmente, comprometendo a capacidade drenante desejada para o revestimento. Em seguida as superfícies foram cobertas com lencóis de polietileno pelo período de 15 dias. Na Figura 23, é apresentada imagem do resultado obtido para os trechos coloridos após 15 dias de sua execução.

4. LICÕES APRENDIDAS

4.1 Aplicação do concreto colorido em pista

Não foram observadas alterações importantes em termos de trabalhabilidade, espalhamento e acabamento das superfícies coloridas. O emprego de réguas metálicas, rolos manuais e alisadora circular não causaram a remoção de pigmentos da superfície dos agregados, nem mesmo seu arranchamento da massa. Tal método construtivos com os procedimentos adotados. que já foram utilizados em experimento anterior em 2016 em calçada paralela à atual ciclovia-teste, já haviam se mostrado satisfatórios e não prejudiciais ao resultado.

Contudo, depois de uma semana do experimento, removida a manta de cura, observou-se claramente que a operação de alisadoras circulares (chamadas vulgarmente de bambolê), removeu a pasta de cimento envoltória na superfície em diversas áreas, removendo, consequentemente, a tonalidade concedida pelos pigmentos. Recomenda-se, portanto, não se empregar tal tipo de acabamento final em concretos integralmente coloridos com pigmentos.



Figura 21 Início do espalhamento do concreto verde

4.2 Perda de trabalhabilidade secagem

Observou-se a necessidade de adição de litros adicionais de água de amassamento durante fases da concretagem nas betoneiras com concretos coloridos. Esse fato está possivelmente associado às recomendações da ASTM quanto aos cuidados e execução do material em pista, devendo ser razão de observações e determinações mais precisas futuramente. Diante dos processos



Figura 23 Resultados da ciclovia-teste com concretos permeáveis coloridos

observados, recomenda-se que a execução completa do concreto permeável colorido não ultrapasse 1 h 30 min após sua preparação em usina.

4.3 Períodos de chuva durante a construção e suas consequências

No dia de execução dos concretos, ocorreram eventos climáticos pluviais durante a execução do trecho 1 (sem pigmentos). O concreto permeável é composto praticamente de pasta de ci-



Figura 24
Superfície em local com desagregação



Figura 25
Detalhe de desagregação com simples manipulação

mento e agregados, o que se torna um problema enorme a possibilidade de fluxo de água sobre a superfície fresca, o que levaria a pasta a ser destacada dos agregados e conduzida para o fundo da camada de revestimento e mesmo de base, inutilizando por completo o pavimento. No momento em que a precipitação iniciou, imediatamente o espalhamento foi suspenso e a superfície coberta com lona plástica por completo.

Contudo, isso não foi completamente eficiente, pois houve locais com visível desagregação superficial (Figura 24 a 27) e mesmo completa (em profundidade) do concreto permeável, que tiveram de ser mapeados para execução de recortes e de remendos parciais, o que leva à conclusão da inviabilidade de execução do material em dias chuvosos. A desagregação apresentada, de grande impacto, revela áreas onde o concreto foi parcialmente "lavado".

4.4 Fissuras de retração no concreto permeável

Em função dos experimentos anteriores em 2015 e 2016 no campus da USP em São Paulo, com calçadas em concreto permeável, ficou cristalina a necessidade de execução de juntas de contração para indução da retração hidráulica (de secagem) nesses elementos. Isso foi previsto e realizado em espaçamentos de aproximadamente dez metros (em função das ocorrências verificadas anteriormente), sendo que, contudo, embora executadas imediatamente após a conformação do concreto (em profundidades de 5 cm. com disco de corte manual), houve caso não efetivos de controle. Na Figura 28, é apresentada imagem de uma fissura de retração ocorrida fora da junta de controle e verificada já três dias após a conclusão das obras. Esse tópico deverá ser analisado com mais propriedade nas novas construções experimentais para áreas de estacionamento de veículos leve no primeiro semestre de 2022, pois merece aprofundamento para maior compreensão desse fenômeno nesses concretos muito porosos.

4.5 Variação de tonalidade

O resultado da cor no concreto em

pista é consequência das variações nos processos de produção (incluindo mistura) dos concretos coloridos. Embora tenha se mantido com rigor a pesagem dos materiais constituintes por metro cúbico de concreto, entre dois caminhões betoneira que foram empregados para a construção do trecho 2 (vermelho), ocorreu sutil variação na tonalidade final. A única alteração ocorrida nas misturas entre o primeiro e segundo caminhões foi uma quantidade ligeiramente maior de água de amassamento associada à molhagem dos agregados (no estoque a



Figura 26
Aspecto de superfície desagregada



Figura 27
Aspecto de superfície íntegra



Figura 28
Aspecto da fissura de retração descontrolada

céu aberto na usina) devido à chuva anterior à sua aplicação. Esse acréscimo foi o provável responsável pela leve variação na tonalidade superficial do concreto, o que deve ser objeto de atenção durante as obras que requerem dezenas de metros cúbicos de concreto colorido que são lançados em dias diferentes, com diferentes operadores de usina, betoneira e motoristas, condições atmosféricas e equipes de execução, em especial, para lotes de concretagem contíguos.

4.6 Taxa de infiltração medida em campo

A parte I do presente estudo publicada em edição anterior a esta (Balbo et al., 2022) apresentou dados de taxa de infiltração medida em campo para os concretos estudados. Eles mostraram que a adição de pigmento afeta parcialmente a taxa de infiltração medida em campo. Todavia, os autores pontuam que tal impacto esteve mais diretamente relacionado ao ajuste do aditivo superplastificante para melhor dispersão do cimento e pigmento do que ao aumento do volume de pasta decorrente da adição.

Tais dados foram comparados aos dados de taxa de infiltração medida em campo nos estudos de Curvo (2017) e Batezini (2019) – desenvolvidos no LM-P-EPUSP - e que nortearam a dosagem dos concretos empregados na ciclovia experimental. Testes de hipótese F para a variância das amostras foram realizados para determinar se as variâncias seriam equivalentes ou diferentes, conforme descritos na Tabela 2.

A partir disso, procedeu-se à realização de testes de hipótese t-Student para duas amostras (para fins de comparação entre as taxas de infiltração), presumindo-se variâncias equivalentes, cujos resultados são resumidos na Tabela 3.

Os testes de hipótese confirmaram, para um nível de significância de 95% que os valores médios de taxa de infiltração medidos em campo dos concretos sem pigmento e verde são estatisticamente iguais ao valor médio obtido na calçada permeável construída em 2016 e cuja mistura balizou a dosagem dos concretos com pigmento. Contudo, a confrontação das médias com o concreto com pigmento vermelho revelou que as médias são de fato diferentes devido aos efeitos outrora discutidos.

5. CONCLUSÕES

O presente projeto de pesquisa ensejou avaliar a aplicabilidade e os aspectos que norteiam a execução de

Tabela 2
Teste F: duas amostras para variâncias

Parâmetros test F	Ref 21	2016	2016	Verm 21	Verde 21	2016
Média	2,545	2.437	2,437	0,887	2,227	2,437
Variância	0,623	0.254	0,254	0,121	0,408	0,254
Observações	10	11	11	10	10	11
gl	9	10	10	9	9	10
F	2,4	2,458		2,092		10
P (F < = f) uni- -caudal	0,088	0,088777		0,140875		1203
F crítico uni-caudal	3,020		3,1	37	3,020	
Resultado	Aceita Ho: var	iâncias iguais	Aceita Ho: vai	riâncias iguais	Aceita Ho: variâncias iguais	

▶ Tabela 3
 Teste t-Student para médias de duas amostras presumindo variâncias equivalentes – taxa de infiltração média (cm/s)

Parâmetros teste t-Student	2016	Ref 21	2016	Verm 21	2016	Verde 21
Média	2,437	2,545	2,437	0,887	2,437	2,227
Variância	0,254	0,623	0,254	0,121	0,254	0,508
Observações	11	10	11	10	11	10
Variância agrupada	0,4	29	0,	191	0,3	27
gl	19		19		19	
Stat t	-0,377		8,120		0,8	42
P (T <= t) uni-caudal	0,355		6,72E-08		0,205	
t crítico uni-caudal	1,729		1,729		1,729	
P(T <= t) bi-caudal	0,710		1,37E-07		0,410	
t crítico bi-caudal	2,0	93	2,093		2,093	
Resultado	Aceita H0: m	édias iguais	Rejeita H0: mé	dias diferentes	Aceita H0: médias iguais	

ciclovias com o emprego de concretos permeáveis coloridos desde a sua dosagem em laboratório, que consistiu na Parte I publicada em edição anterior a esta publicação, até a sua posterior execução, levando às seguintes conclusões no que tange os aspectos construtivos:

- O emprego de equipamentos do tipo bambolê para acabamento superficial não deve ser utilizado, especialmente quando da execução de concretos pigmentados, dado seu impacto na alteração de tonalidade da superfície em decorrência da remoção, ainda que parcial, da pasta de cimento que envolve os agregados graúdos;
- A execução de pavimentos de concreto permeáveis não deve ser realizada durante a ocorrência de eventos pluviométricos; ou, em caso de os trabalhos já terem sido iniciados, esta deve ser interrompida e a parte executada completamente coberta de modo a evitar que a precipitação carreie a pasta de cimento fresca, acarretando intensa desagregação posteriormente;
- Ainda no que tange as alterações de tonalidade, é essencial que a relação a/c seja mantida constante durante todo o processo executivo, pois

quaisquer alterações nesse sentido devido a excesso de umidade nos materiais fatalmente acarretarão esmaecimento da cor.

Destarte, o presente estudo corroborou o potencial de execução de concretos coloridos para fins de aplicação em infraestrutura cicloviária, de modo que se possa potencializar os benefícios proporcionados por tais estruturas no que tange seu efeito compensatório no pico de jusante dos sistemas de drenagem, atuação como bacia de bioretenção e combate aos efeitos das ilhas de calor urbano.

▶ Ficha Técnica

Fomento	Tipo de participação	Detalhes
FAPESP	Auxílio à Pesquisa em parceria com o CONICYT (Chile) e Universidad de La Concepción	Processo 2019/13269-4
CNPq	Bolsa de Produtividade em Pesquisa Nível 1	Processo 304391/2019-0
Prefeitura do Campus da Capital – USP	Execução da obra básica de infraestrutura	Escavação, assentamento de guias, execução de drenagem, assentamento de lona de PEAD, tubulação e colocação da base de agregado reciclado; paisagismo e sinalização de pista cicloviária
Projeto USP Cidades Sustentáveis – SANTANDER	Mensalidade de bolsistas de iniciação científica e de pós-graduação	USP Municípios Vice-Reitoria da USP — Parcerias para o desenvolvimento paulista —https://municipios.usp.br
Parcerias	Tipo de participação	Detalhes
Polimix	Dosagem e fornecimento de concretos usinados	Dosagens em suas instalações em Santana do Parnaíba, SP
Lanxess	Fornecimento de pigmentos coloridos vermelhos e verdes	Óxidos de ferro e de cromo
Engenharia de Pisos – EP	Execução e acabamento do concreto e formas de madeira trechos 2 e 3	Equipe de execução
SBR Reciclagem	Fornecimento de agregados reciclados de construção e de demolição para base das ciclovias	Material cinza-avermelhado de 12 a 19 mm

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 522R: Report on Pervious Concrete. Farmington Hills: 2010. 40 p.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. ASTM C1701/C1701M Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. West Conshohocken, PA, USA, 2009.
- [3] ARENGO-ÁLVAREZ, L.F. Análise de Benefícios Econômicos do Emprego do Transporte Não Motorizado (Ciclovias) por meio do Modelo HDM-4 Estudo de Caso para o Município de São Paulo. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, (Orientador: José Tadeu Balbo), São Paulo, 2021.
- [4] BALBO, J. T. Pavimentos de Concreto Permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. Oficina de Textos, São Paulo. 2020.
- [5] BALBO, J. T.; MARTINS, J. R. S.; CARGNIN, A. P.; RIBEIRO, H. L.; ESPOSITO, C. M.; SILVA, E. R. Concreto colorido e permeável para ciclovias: estudo de dosagem laboratorial. CONCRETO & CONSTRUÇÃO, v. 1., p. 34-41, 2022.
- [6] BATEZINI, R. Estudo das características hidráulicas e mecânicas de calçadas em concreto permeável em pista experimental. Doutorado (Tese). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- [7] COLORADO READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION CRMA. Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design Version 1.2. Colorado Ready Mixed Concrete Association, Centennial, CO. Disponível em: https://www.sefindia.org/forum/files/pervious_concrete_guide_2009_08_18_176.pdf (Acesso: 04.09.2021).
- [8] CURVO, F. O. Estudo da drenabilidade de calçadas experimentais em concreto permeável no Campus Armando Salles de Oliveira da USP. Mestrado (Dissertação). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- [9] CRUZ, W. Como são pavimentadas (ou pintadas) as ciclovias na Holanda e no Brasil. Disponível em: https://vadebike.org/2013/08/ pintura-ciclovias-holanda-e-brasil/>. (Acesso: 04.09.2021).
- [10] GEIPOT Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Manual de Planejamento Cicloviário. Ministério dos Transportes, Brasília, D.F., 2001.

Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA

VITOR A. S. LIRA – Eng. – SGE; ROBERTO H. G. TEIXEIRA – Eng. – TCE-MA

R E S U M O

Quando Se trata de lajes em concreto armado, cada modelo estrutural possui características diferentes, tais como: forma de execução, geometria, materiais empregados, consumo de materiais, custos, tempo de execução, etc. Assim, é válido questionar se o modelo estrutural de laje nervurada utilizado na construção do estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão (TCE-MA) possui alguma vantagem em relação ao modelo estrutural de laje maciça.

Assim, este trabalho teve por objetivo comparar a laje nervurada do estacionamento do TCE-MA com uma laje maciça equivalente dimensionada, de modo que se pudesse concluir qual delas apresentava a melhor viabilidade econômica. Ao final da pesquisa, concluiu-se que o modelo de laje nervurada construído no Tribunal de Contas do Estado do Maranhão é mais econômico que o modelo de laje maciça equivalente calculada, por conta do menor consumo de materiais, que acarreta menor custo final e economia na estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: LAJE, MACIÇA, NERVURADA.

1. INTRODUCÃO

ajes são elementos estruturais que têm a função de receber diretamente as cargas de um pavimento e transferi-las para vigas ou pilares. Geometricamente, esses elementos apresentam as duas primeiras dimensões muito maiores que a terceira, que é denominada de espessura, sendo este um dos parâmetros mais importantes a serem considerados nos cálculos estruturais. Tratando-se de lajes em concreto armado, cada modelo estrutural possui características diferentes, tais como: forma de execução, geometria, materiais empregados, custos e tempo de execução.

Atualmente dois modelos estruturais de lajes muito utilizados nas construções são as lajes maciças e as nervuradas. As lajes maciças são placas delgadas de concreto armado com espessura mínima de 8 cm (segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas — ABNT, quando seu uso inclui sobrecarga de pessoas), cujas extremidades normalmente são apoiadas por vigas. Já, as lajes nervuradas possuem zona de tração constituída de nervuras, geralmente sendo utiliza-

dos materiais inertes entre as mesmas objetivando uma melhor otimização do elemento.

Sendo assim, questiona-se: o modelo estrutural de laje nervurada utilizado na construção do estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão (TCE-MA) possui quais vantagens em relação ao modelo estrutural de laje maciça? Portanto, este estudo tem por objetivo comparar a laje nervurada do estacionamento do TCE-MA com uma laje maciça, dimensionada para suportar as mesmas cargas e vencer os mesmos vãos, de modo que se conclua qual deva apresentar a melhor viabilidade econômica.

No ramo da engenharia civil, cada modelo estrutural adotado nas construções possui vantagens, desvantagens, características e propriedades distintas, logo, a comparação entre os dois tipos de lajes abordados neste estudo prático é relevante e válida para pontuar as diferenças entre cada modelo e nortear o engenheiro a escolher qual a melhor solução estrutural a ser executada em sua construção.



) Figura '

Estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão

2. DESENVOLVIMENTO

A pesquisa é um estudo de caso, de caráter quantitativo e qualitativo, que foi realizada em escritório e em campo, locais onde foram coletadas todas as informações acerca da construção da estrutura de laje nervurada do estacionamento do TCE-MA (Figura 1), tais como: projetos estruturais, memoriais descritivos, relatórios da construção e composições de custos.

Logo após esta etapa, foi dimensionada para o mesmo estacionamento uma estrutura de laje maciça utilizando-se os mesmos parâmetros de cálculos retirados dos memoriais da estrutura existente. O modelo de cálculo adotado para o dimensionamento da laje maciça é descrito no capítulo 7 do livro "Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118/2014" — 4º edição, do professor Roberto Chust de Carvalho.

Assim, de posse dos dados da estrutura já existente (laje nervurada) e dos dados da estrutura dimensionada (laje maciça), foi feita a comparação e análise entre os dois modelos de estruturas, de modo a destacar qual possui a melhor viabilidade econômica. Esta comparação ocorreu através do levantamento quantitativo de concreto, aço, fôrmas e cimbramento utilizado no projeto de cada modelo estrutural.

Além disso, para as duas estruturas foram adotados os preços unitários de serviços que constam na licitação da laje nervurada (ocorrida em 2015), para que, desta forma, a base comparativa de custo das estruturas não seja diferente. Assim, com base nos quantitativos e nos preços unitários dos serviços, comparou-se os custos financeiros totais de execução entre os dois modelos de estruturas, de forma a apontar qual modelo apresentou melhor viabilidade econômica para o caso do estacionamento do TCE-MA.

2.1 Laje nervurada do estacionamento do TCE-MA

O estacionamento do prédio anexo do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão está situado na Avenida Professor Carlos Cunha, S/n, no bairro Calhau, em São Luís do Maranhão. Foi projetado para suprir a necessidade do órgão público por

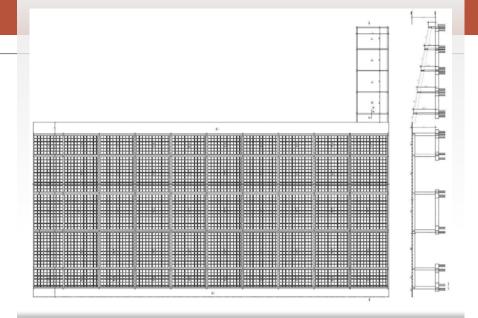


Figura 2
Planta da estrutura
Fonte: Adaptado de TCE-MA (2015)

vagas de estacionamento, contando com 240 vagas para carros de pequeno porte, distribuídas em dois pavimentos, um térreo e um elevado.

A estrutura de suporte do pavimento elevado foi executada com fundações tipo estaca raiz, pilares de concreto armado, vigas de concreto armado e lajes nervuradas armadas nas duas direções, além de duas lajes maciças em balanço nas extremidades laterais, tendo como acesso uma rampa executada em laje maciça. A Figura 2 mostra a etapa construtiva de colocação das fôrmas, que foi feita após as vigas atingirem a resistência necessária para receber as cargas que atuariam nas etapas posteriores da execução.

Sendo que as lajes possuem vãos diversos, variando de 4,00 metros a 8,04 metros de comprimento, observa-se também que as lajes centrais da estrutura se repetem. Assim, após a colocação das fôrmas, a armadura foi posicionada na estrutura conforme o detalhamento do projeto e, após a verificação da execução do posicionamento das armaduras, a laje foi concretada em duas etapas com concreto usinado conforme as normas técnicas vigentes. De acordo com o projeto estrutural e consultas com o corpo técnico que executou a obra, foram extraídos todos os dados relevantes acerca da construção do estacionamento, sendo eles:

- a) $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- b) Retirada do escoramento aos 28 dias;

- c) Vigas de 20 x 70 cm;
- d) Aço CA50 para armadura longitudinal;
- e) Cobrimento de 3 cm;
- f) Classe III de agressividade ambiental;
- g) Brita 1;
- h) Lajes projetadas para uso de estacionamento (veículos de até 3 kN/m²);
- i) Contrapiso de cimento e areia de 5 cm com peso específico de 21 kN/m³;
- j) Fôrma ATEX 650 com abas iguais.

Na Tabela 1, consta o resumo dos materiais utilizados na construção da laje nervurada:

A taxa de aço da estrutura da laje nervurada (ρ'_n) pode ser calculada de acordo com a equação 1.



2.2 Laje maciça equivalente

O método de dimensionamento de lajes maciças foi feito com base na teoria das placas delgadas (método elástico), conforme regulamenta a norma vigente (ABNT NBR 6118 (2014)). Segundo Carvalho (2015), são feitas considerações práticas para simplificação dos cálculos da laje, admitindo que as placas sejam constituídas de material homogêneo, elástico, isótropo, linear fisicamente e com pequenos deslocamentos.

Também se considera que a ação das

Tabela 1 Resumo dos materiais utilizados na laje nervurada

Material	Quantidade
Concreto	240,80 m ³
Aço	16.595,00 kg
Fôrma de polipropileno	2.384,40 m ²
Fôrma de chapa resinada	55,32 m ²
Cimbramento	0,37 ± 0,03
2.384,40 m ²	0,44 ± 0,09
Fonte: Autor (2018)	

placas nas vigas faz-se somente por meio de forças verticais, que as ações das placas nas vigas são uniformemente distribuídas, que não há transmissão de carga diretamente para os pilares, que as vigas de contorno não são deslocáveis na direcão vertical e que a rotação das placas no contorno é livre ou totalmente impedida.

Vale ressaltar que, apesar de a laje ser concretada juntamente com as vigas (dando ao conjunto um comportamento monolítico de viga-laje), o dimensionamento é feito como se a laje fosse um elemento isolado por questão de simplificação dos cálculos, logo, também, foi considerado a compatibilização dos mopois já se tratam de lajes maciças.

nos limites da norma.

Depois de realizados todos os cálculos, elaborou-se o detalhamento da estrutura. A Figura 3 mostra a dimensão da laje macica.

Após o detalhamento, organizou-se em um quadro a quantidade de materiais levantados para a execução da laje maciça, conforme mostra a Tabela 2.

mentos negativos entre uma laje e outra. Os cálculos foram feitos apenas para a região onde originalmente existem as lajes nervuradas, a rampa de acesso e as duas lajes em balanco não foram recalculadas.

As lajes foram agrupadas de acordo com suas dimensões, convencionando--se nos cálculos que o eixo X seria a direcão da menor dimensão da laje e o eixo Y referente à direcão da maior dimensão da laje. Logo, seguiu-se o roteiro de cálculo de forma que, ao final do dimensionamento, obteve-se lajes de 14 cm de altura, armadas nas duas direcões com barras de diâmetros e espacamentos diversos. Vale ressaltar que o cálculo das lajes maciças foi realizado de modo que as flechas imediatas e as flechas ao longo do tempo de permanência da estrutura se enquadram ciça (ρ'_{-}) pode ser calculada de acordo com a equação 2. ρ'_{m} = massa total de aço/Volume total de concreto

A taxa de aço da estrutura da laje ma-

 $\rho'_{m} = 29254 \, \text{Kg} / 333,8 \, \text{m}^{3}$ $\rho'_{m} = 87,6 \text{ Kg/m}^{3}$

3. RESULTADOS

Após quantificar os materiais utilizados na construção da laje nervurada do TCE-MA, procedeu-se ao dimensionamento e detalhamento de uma estrutura em laje maciça equivalente, cujos materiais necessários para execução também foram quantificados. Pode-se então comparar a quantidade de materiais utilizados em cada modelo de laje conforme a Tabela 3.

Assim, observa-se um aumento de 38,62% no consumo de concreto e um aumento de 76,30% no consumo de aço da laje maciça em relação à laje nervurada. Nota-se, também, que a laje macica apresentou um aumento de 27,14% da taxa de aço em comparação com a taxa de aço da laje nervurada.

A laje nervurada é executada com fôrmas de polipropileno e chapa resinada, enquanto que a laje maciça é construída exclusivamente com fôrmas de chapa resinada. Assim, constatou-se um aumento de 1% no consumo da área de fôrmas da laje nervurada em relação à laje maciça - esta pequena diferença se dá por conta da altura da laje nervurada (0,26 m), que é maior que a altura da laje maciça dimensionada (0,14 m). Além disso, o quantitativo de cimbramento é igual para os dois modelos de laje, pois a área de cobertura das lajes é equivalente.

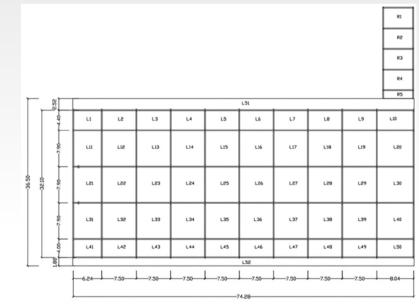


Figura 3

Laje maciça projetada, medidas em metros Fonte: Autor (2018)

Tabela 2 Resumo dos materiais utilizados na laje maciça

Material	Quantidade
Concreto	333,80 m ³
Aço	29.254,00 kg
Fôrma de polipropileno	0 m ²
Fôrma de chapa resinada	2.414,20 m ²
Cimbramento	2.384,40 m ²
Fonte: Autor (2018)	

▶ Tabela 3 Resumo dos materiais utilizados na laje maciça e nervurada

Material	Laje nervurada	Laje maciça
Concreto	240,8 m ³	333,80 m ³
Aço	16.595 kg	29.254,00 kg
Fôrma de polipropileno	2.384,4 m ²	0 m^2
Fôrma de chapa resinada	55,32 m ²	2.414,20 m ²
Cimbramento	2.384,4 m ²	2.384,40 m ²
Fonte: Autor (2018)		

Adotando como referência os valores de preços dos serviços licitados no ano de 2015 pelo TCE-MA, foi possível calcular o custo total da execução de cada modelo de laje apresentado. Destaca-se que os preços adotados pelo TCE-MA incluem mão de obra com encargos sociais de 87,49% (desonerado) e BDI (Benefícios e despesas indiretas) de 24,12%, portanto refletem o preço real dos serviços de execução das estruturas no ano em questão.

Quanto ao cimbramento da laje macica, ressalta-se que o valor da composição de preco unitária adotada pelo TCE-MA considera o valor de R\$ 40,72 para cada m² da laje nervurada apresentada. Como forma de estimar o valor de uma composição de custo equivalente para a laje maciça dimensionada neste trabalho (que possui um peso próprio total maior) será multiplicado o preco unitário de R\$ 40,72/m² pelo fator de 1,3862 correspondente à diferença de peso entre as estruturas dos dois modelos de lajes, sendo esta diferença de peso diretamente proporcional ao volume de concreto armado entre cada modelo de laje. Portanto, para a laje maciça será

considerado um preço unitário de cimbramento igual a R\$ 56,44 /m².

Possuindo o quantitativo de materiais de cada modelo de laje e dos preços de execução dos serviços, é possível calcular o preço total dos dois tipos de estruturas multiplicando os quantitativos de serviço pelo preço unitário dos mesmos, conforme mostram as Tabelas 4 e 5.

A estrutura de lajes maciças apresentou um aumento de 24,5% no preço final quando comparada com a estrutura de lajes nervuradas. Esta diferença no preço final significa uma economia total de R\$ 114.281,35. Ressalta-se que este preço está de acordo com as composições de custo adotadas na licitação da obra feita no ano de 2015. Sendo assim, para obter o preço atual de execução das estruturas, basta multiplicar o quantitativo de serviços por preços de composições de custos atualizadas. A Figura 4 mostra a diferença de preço entre os modelos de lajes comparados.

Constatou-se que, para o estudo de caso da laje do estacionamento do TCE--MA, o modelo estrutural de lajes nervuradas é mais econômico do que o modelo estrutural de lajes maciças. Isto se deve ao fato de que as lajes nervuradas são estruturas mais otimizadas, por conta das nervuras que tornam o peso próprio da estrutura relativamente menor, que, por consequência, influenciam nos carregamentos e esforços internos, demandando principalmente uma menor quantidade de concreto e aço para que a estrutura possa atingir a resistência necessária, ocasionando, assim, um menor preço final de execução da estrutura.

Tabela 4 Custo total da laje nervurada

Quantitativo	Preço unitário	
240,80 m ³	R\$ 496,47 / m ³	R\$ 119.549,98
16.595,00 kg	R\$ 7,06 / kg	R\$ 117.160,70
55,32 m ²	R\$ 30,60 / m ²	R\$ 1.692,79
2.384,40 m ²	R\$ 54,91 / m ²	R\$ 130.927,40
2.384,40 m ²	R\$ 40,72 / m ²	R\$ 97.092,77
	TOTAL	R\$ 466.423,64
	240,80 m ³ 16.595,00 kg 55,32 m ² 2.384,40 m ²	Quantitativo unitário 240,80 m³ R\$ 496,47 / m³ 16.595,00 kg R\$ 7,06 / kg 55,32 m² R\$ 30,60 / m² 2.384,40 m² R\$ 54,91 / m² 2.384,40 m² R\$ 40,72 / m²

Tabela 5 Custo total da laje maciça

Serviço	Quantitativo	Preço unitário	Total
Concretagem utilizando concreto usinado bombeado com f _{ck} = 25 MPa, com colocação, espalhamento e adensamento mecânico.	333,80 m ³	R\$ 496,47 / m ³	R\$ 165.721,69
Aço Armadura CA 50 – fornecimento e execução.	29.254,00 kg	R\$ 7,06 / kg	R\$ 206.533,24
Fôrma em chapa resinada, esp. 12 mm – fabricação, montagem e desforma.	2.414,20 m ²	R\$ 30,60 / m ²	R\$ 73.874,52
Montagem e desforma de fôrma de polipropileno para lajes nervuradas.	0,00 m ²	R\$ 54,91 / m ²	R\$ 0,00
Cimbramento metálico, incluso montagem e desmontagem.	2.384,40 m ²	R\$ 56,44 / m ²	R\$ 134.575,54
		TOTAL	R\$ 580.704,99
Fonte: Autor (2018)			

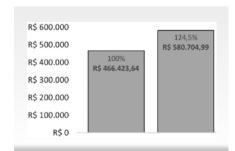


Figura 4
 Comparação do preço entre os dois modelos de lajes

 Fonte: Autor (2018)

4. CONCLUSÕES

O modelo estrutural de lajes nervuradas é indicado quando há a necessidade de vencer grandes vãos, sendo também interessante sua utilização em caso de elevadas cargas atuantes, como, por exemplo, cargas de veículos, como foi exemplificado neste estudo. Porém, em casos de pequenos vãos (4 a 6 metros) com cargas relativamente pequenas (utilização residencial) este modelo estrutural pode não ser o mais econômico a ser utilizado. Em casos de regiões de lajes em balanço também não é recomendado se utilizar o modelo de lajes nervuradas, por conta da inversão de momentos fletores, já que a parte inferior da laje (na região das nervuras) não possui tanta resistência à compressão quanto as lajes maciças.

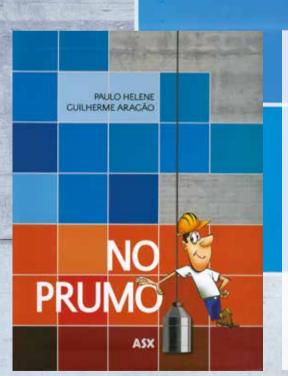
Também é válido observar que o menor volume de concreto demandado pelo modelo de lajes nervuradas, em comparação com o modelo de lajes maciças, acarreta menor peso suportado pelas vigas, pilares e fundações, resultando, assim, em menores dimensões em todos os elementos estruturais, que, por consequência, resulta em menores gastos com materiais e, portanto, menor custo de construcão da estrutura.

Assim, o questionamento sobre a viabilidade econômica entre os dois modelos de lajes apresentados pode ser satisfatoriamente respondido através deste estudo, pois evidenciou-se que, para o caso estacionamento do TCE-MA, o modelo de lajes nervuradas executado é mais econômico do que o modelo de lajes maciças (caso este fosse implantado no local), principalmente por conta do menor consumo de concreto e aço, que refletem no preço final da estrutura.

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] ATEX. Fôrmas de laje nervurada bidirecional. Disponível em: http://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada/bidirecional/.

 Acesso em: 10 de abril de 2018.
- [3] BRASIL. Tribunal de Contas do Estado do Maranhão. Composição Unitária de Custos. São Luís, 2015.
- [4] BRASIL. Tribunal de Contas do Estado do Maranhão. Projetos Estruturais da Laje de Estacionamento. São Luís, 2015.
- [4] CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2015.



NO PRUMO

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

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

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

Com textos de Paulo Helene, professor aposentado da Escola Politécnica da USP e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

FORMATO: 21 X 29 cm
PÁGINAS: 170
ANO: 2017
VENDAS: Loja virtual (www.ibracon.org.br)

PRODUÇÃO





PATROCÍNIO







REALIZAÇÃO

Aplicação da metodologia BIM e princípios da Construção Enxuta para o planejamento de uma obra comercial

CAROLINE DE A. SILVA – Eng., ORCID https://orcid.org/0000-0003-1217-9856 – carol123.22@hotmail.com; BACUS DE O. NAHIME – Dr., ORCID https://orcid.org/0000-0002-7292-7919-5224; IGOR S. DOS SANTOS – Mes., ORCID https://orcid.org/0000-0001-7619-273X, IFG – GO

ALBERTO B. NETTO – Dr., ORCID https://orcid.org/0000-0003-0615-1865; ANNA JULIA H. RIBEIRO – GRAD., ORCID https://orcid.org/0000-0001-8083-9305, UNIRV – Go

JORGE L. AKASAKI - Dr., ORCID https://orcid.org/0000-0003-1986-1196, UNESP - SP

RESUMO

Este artigo propõe a implementação da metodologia BIM em sinergia com os princípios da Construção Enxuta, através do levantamento de dados e no acompanhamento das atividades no canteiro de obra, sugerindo propostas de aplicação do sistema em uma obra comercial. Visa-se minimizar os efeitos causados pela falta de planejamento, a implantação da metodologia da Construção Enxuta nas atividades executadas e na modelagem em BIM, que permite a realização de um planejamento adequado

para a obra, contando com cronograma, orçamento, visualizações 3D, entre outros. Com as análises e os procedimentos utilizados, observou-se a execução do serviço de fundação em 23 dias, conforme proposto inicialmente. Nas descargas das peças pré-fabricadas, verificou-se a redução de tempo em 45 minutos/peça, o que possibilitou maior agilidade no início da execução dos serviços de montagem das peças; verificando a real necessidade de se realizar o planejamento de obras, incluindo ferramentas de gestão.

PALAVRAS-CHAVE: MODELAGEM DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO, FERRAMENTAS DE GESTÃO, GERENCIAMENTO DE OBRAS, CONSTRUÇÃO CIVIL.

1. INTRODUÇÃO

setor da construção civil sempre busca por inovações. Entre elas, destacam-se as questões relacionadas à segurança, às tecnologias construtivas e ao desenvolvimento de materiais. Aliadas às questões supracitadas, vêm as tecnologias na produção de projetos e no planejamento das obras. Desta forma, destaca-se a importância da modernização do setor da construção civil a partir da adoção de metodologias e conceitos de gestão, visto que o planejamento fornece ao gestor um alto nível de conhecimento sobre o empreendimento, permitindo a detecção de situações desfavoráveis, agilidade nas decisões, otimização na alocação de recursos e definição de metas com custos e prazos mais precisos (ANGELIM et al., 2020).

A Construção Enxuta baseia--se em metodologias que visam ao

planejamento e ao gerenciamento transparente dos processos, calcadas em princípios como a redução da variabilidade, a redução do tempo de ciclo e o estabelecimento de melhoria contínua ao processo. Neste contexto, um conceito de suma importância é o Building Information Modeling (BIM), que surge como uma metodologia para analisar e facilitar o acesso às inovações e mudar a perspectiva de 2D para 3D, diminuindo de forma eficaz as incompatibilidades das diversas disciplinas de projetos. Por ser um sistema totalmente integrado, é possível me-Ihorar e agilizar todo processamento de informações entre os profissionais (COSTA et al., 2021).

A metodologia BIM pode ser adotada sem as práticas da Construção Enxuta, e vice-versa, mas a implantação conjunta traz enormes benefícios nas práticas de planejamento e gerenciamento de obras. O uso de ferramentas tecnológicas proporciona diminuição de perdas (material, mão de obra), cumprimento de metas e prazos, entre outros benefícios (SU et al., 2021). Assim, este trabalho propõe a implementação da metodologia BIM em conjunto com as aplicações da Construção Enxuta, sugerindo propostas de aplicabilidade do sistema em uma obra comercial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida através de um estudo de caso e buscou elaborar propostas de aplicação dos princípios da Construção Enxuta com a obra já em execução e comparar seu gerenciamento caso os projetos, cronogramas e orçamentos fossem realizados com funcionalidades do BIM. A seguir será descrita a construção objeto do estudo e elencados os serviços analisados.

2.1 Estudo de caso

O objeto do estudo de caso é uma obra comercial com um pavimento térreo e um vertical, localizada no município de Santa Helena de Goiás, com área total de 1.179,32 m². Seus dois pavimentos são denominados pavimento térreo, conforme a Figura 1 (a), e pavimento superior, observado na Figura 1 (b). As fundações foram executadas no tipo tubulão e projetadas em concreto armado moldadas in loco. Já, a superestrutura e as alvenarias de vedação foram projetadas em concreto pré-fabricado.

A empresa vencedora para a execução do objeto será denominada contratada ou Empresa X. Foi a que ofertou a proposta mais vantajosa quanto ao preço e, por isso, foi contratada para realizar o objeto desse estudo, contemplando os seguintes itens: serviços preliminares, infraestrutura, superestrutura, alvenaria e cobertura da edificação. Os projetos arquitetônicos e complementares foram fornecidos pela contratante. Enquanto as instalações elétricas, hidráulicas e de combate a incêndio não foram executas pela Empresa X.

2.2 Métodos

Para o levantamento dos dados, foi realizado o acompanhamento das atividades no canteiro de obra desde a data de início até a conclusão dos serviços verificados, com data anterior a pandemia. De acordo com o cronograma definido entre as partes envolvidas, a execução da obra teria início no dia 27 de fevereiro de 2018, sendo o prazo de execução de 90 dias. No entanto, devido à ocorrência dos imprevistos na logística de entreqa dos materiais e os impactos que o edifício iria causar na vizinhança (tanto nas obras ao entorno, quanto no trânsito), os serviços iniciaram-se no dia 24 de junho do mesmo ano, resultando no atraso de quase cinco meses. O acompanhamento das atividades em campo foi realizado a partir da elaboração de diários de obra. Foram elaboradas fichas de registro para supervisão dos serviços em andamento, registrando-se os prazos de execução, os operários envolvidos e demais ocorrências relevantes para o adequado controle das atividades. Tal execução inicialmente não contava com cronograma físico-financeiro detalhado das atividades, apenas um orçamento preliminar dos serviços e uma previsão de prazo de aproximadamente 90 dias úteis para finalização da obra e do contrato.

No início das atividades, os processos que seriam realizados foram analisados a fim de propor melhorias na execução da obra; em geral, realizou-se um estudo a fim de determinar como os princípios da Construção Enxuta poderiam ser implantados de tal forma a melhorar o desempenho do cronograma físico-financeiro, bem como inserir a metodologia BIM como ferramenta de gestão.

A fim de verificar como as soluções propostas impactariam nos custos e prazos da obra se implantadas desde o início dos serviços, realizou-se a comparação entre os dados levantados em campo e os dados gerados a partir do emprego das simulações computacionais.

Para a modelagem das informações dos projetos, optou-se pela utilização do *Revit* (Figura 2). Um comparativo entre o elemento real e o modelado são apresentados na Figura 3.

O *Naviswork*, também em versão educacional, foi adotado para desenvolver mecanismos necessários para coordenação e execução do planejamento da obra.

A partir da análise dos projetos e do levantamento de dados, foi elaborada a proposta da modelagem em BIM, utilizando o software *Revit* para modelagem 3D, elaboração dos projetos e levantamento dos quantitativos, seguido pelo orçamento no Excel e planejamento da obra no MS Project e Navisworks. Com isso, ao longo da elaboração dos projetos, buscou-se utilizar recursos da Construção Enxuta, bem como a implantação dos princípios dentro do canteiro de obra, a fim de minimizar

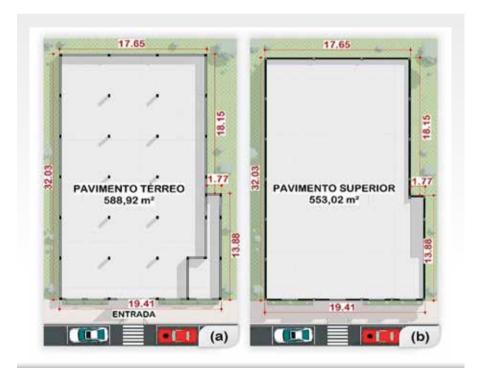


Figura 1
 Planta baixa do pavimento térreo (a) e pavimento superior (b)
 Fonte: Autoria própria (2021)

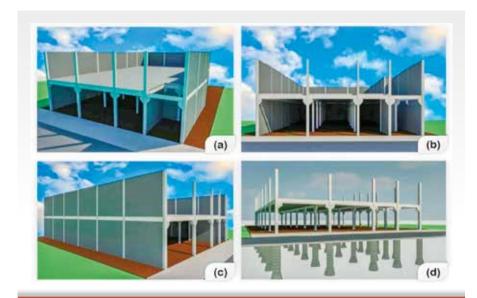


Figura 2

Perspectiva frontal com lateral esquerda (a), perspectiva frontal (b), perspectiva lateral direita com a frente (c), perspectiva frontal com lateral esquerda, identificando os elementos estruturais (d)

Fonte: Autoria própria (2021)

os efeitos causados pela falta de planejamento encontrado no estudo de caso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Levantamento dos dados

O orçamento fornecido inicialmente pela contratada para os serviços analisados na pesquisa, que foram efetivamente executados, segue descrito na Tabela 1. Através desses dados, é possível obter um comparativo entre o proposto e o que foi desenvolvido através do levantamento de dados e modelagem BIM.

Outros serviços seriam desenvolvidos, tais como sistema de cobertura, contrapiso e escada, porém, com o não cumprimento das atividades no prazo determinado pelo contratante, a contratada teve seu contrato suspenso, executando apenas as atividades mencionadas nesse estudo. Assim, foram modeladas e utilizadas

para realização do cronograma e do orçamento apenas as atividades que foram acompanhadas no canteiro de obra durante a vigência do contrato da Empresa X.

3.2 Planejamento

Com o levantamento de materiais e serviços e os quantitativos do orçamento finalizados, determinou-se os prazos de cada atividade. Assim, através dos predecessores, realizou-se a elaboração do cronograma físico-financeiro, desenvolvida através do software MS Project e, posteriormente, inserido no Navisworks, conforme exposto na Figura 4, onde é possível visualizar os prazos de cada atividade e os serviços subsequentes.

3.3 Aplicação dos princípios da Construção Enxuta

Visando a implantar melhorias na execução dos serviços, foi proposta aos operários a utilização dos princípios da Construção Enxuta durante o gerenciamento da obra, a fim de minimizar os efeitos causados pela falta de planejamento.

Como base no princípio da Construção Enxuta de estabelecimento de melhoria contínua ao processo, foram realizadas anotações diárias dos processos da obra, com destaque

Tabela 1 Orçamento executivo da Empresa X

	A-1-1-1	3.5.1 (DA)
Item	Atividade	Valor (R\$)
1	Limpeza do terreno, locação e terraplanagem	22.100,00
2	Fundação e estrutura em concreto armado no local	114.500,00
3	Laje de concreto pré-moldado	122.515,00
4	Construção em painéis alveolares de concreto	183.580,00
	TOTAL (R\$)	442.695,00
Fonte: Auto	oria própria, adaptado da Empresa X (20	21)





Figura 3

Execução dos elementos estruturais e dos painéis de vedação (a) e modelagem 3D dos elementos estruturais e dos painéis de vedação (b) Fonte: Autoria própria (2021)

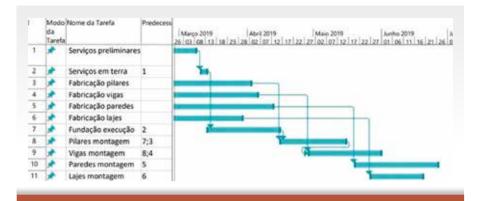


Figura 4Gráfico de GanttFonte: Autoria própria (2021)

para as atividades que demoravam além do esperado e, assim, após serem analisadas, foram propostas melhorias em cada serviço na atividade prática. As adoções foram tomadas de forma gradual e de acordo com a possibilidade de comunicação e compreensão dos trabalhadores e empresas envolvidas.

Na execução do serviço de fundação, verificou-se resultados positivos em função do tempo da atividade, uma vez que esta foi desenvolvida dentro do cronograma proposto pela empresa.

Inicialmente, verificou-se o atraso da chegada do caminhão fornecedor de concreto; diante disso, foram realizadas reuniões com a empresa responsável para alinhamento de horários para fornecimento do concreto seguindo a demanda da obra, bem como a utilização de mais de um caminhão para concretagem a fim de otimizar o tempo. Com as análises do diário de obra digital, foi observada a perda de tempo do caminhão para realizar manobras dentro da obra, o que demorava cerca de 6 minutos. Com um estudo do layout do canteiro realizado na atividade prática e das possibilidades de tráfego do caminhão, diminuiu-se para 3 minutos o tempo para manobrar e estacionar e, assim, iniciar a concretagem. Com a ficha de verificação de serviço, possibilitou o controle dos tubulões já concretados e do planejamento de concretagens diariamente, conforme disponibilidade da empresa fornecedora e da obra.

Com a identificação do atraso da fabricação e entrega das peças pré-moldadas, foram realizadas reuniões com todas as empresas envolvidas no fornecimento das peças pré-moldadas (vigas, pilares, painéis de vedação e lajes) para que fornecessem funcionários que executassem mais de uma tarefa, com o intuito de abranger diversos serviços com a mesma mão de obra, excluindo a necessidade de procura de mão de obra adicional (ANDRADE et al., 2021).

Com a falta de identificação correta das peças pré-moldadas, foi verificada perda de tempo para encontrar as peças compatíveis com o projeto para utilização, bem como a necessidade de retrabalho por conta da montagem e içamento de peças erradas no local. Dessa forma, foi proposta a identificação de todas as peças conforme nomeação do proje-

to, fazendo com que se otimizasse o tempo de descarga no local adequado e montagem, sem que houvesse necessidade de retrabalho. Conforme observado em campo e realizando medições, o que antes levava mais de 1 hora e 30 minutos passou a ser realizado em cerca de 45 minutos.

3.4 Comparativo entre os orçamentos contratados e modelados com BIM

Realizando cronograma físico-financeiro, bem como o orçamento da obra, foi realizado um comparativo de orçamento e prazo da empresa contratada com o orçamento (Figura 5) e prazo obtido através do BIM usando cotações no mercado regional e a tabela de composições fornecidas pela Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA, 2022). A composição e caminho crítico da Empresa X forneceram o prazo de obra de 8 meses, enquanto a modelagem em BIM retornou o tempo de 3 meses.

Segundo os dados obtidos através da orçamentação, pôde-se perceber discrepância entre o valor total fornecido pela Empresa X e o total fornecido através da utilização do BIM, sendo essa diferença no valor de R\$ 230.480,64 a menos do quantitativo e dos preços, representando 52,06% do valor contratado, observado através da comparação entre o orçado pela Empresa X e o planejado pelas ferramentas técnicas e de gestão

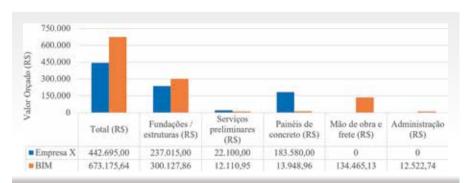


Figura 5
Comparativo do orçamento da Empresa X com a modelagem BIM
Fonte: Autoria própria (2021)

BIM. Tal fato se deu, em parte, pela falta do detalhamento dos valores de frete e de mão de obra pela Empresa X no orçamento final dos serviços executados, bem como levantamento dos valores de administração e valores em relação aos materiais a serem fornecidos, além da falta de BDI no valor final do orçamento.

Conforme a Figura 5, os valores das fundações e elementos estruturais apresentados pela Empresa X possuem variação de R\$ 63.112,86 a menos e os valores dos serviços preliminares se diferenciam em R\$ 9.989,05 a menos no valor ofertado pela Empresa X quando comparado ao orcado em BIM. Tal fato pode ser explicado pela falta de detalhes do orcamento da contratada e a discrepância de parâmetros de servicos e mão de obra a serem utilizados para apresentação dos valores. Os valores dos painéis de concreto excederam em R\$ 30.368,96 do valor obtido através das cotações realizadas e levantamentos em BIM. o que pode ser explicado pela possibilidade da diferença de valor de material, tais como concreto e aço, e diferença entre cotação de fornecedores distintos.

Com a diferença entre os valores da Empresa X e o orçamento em BIM é possível perceber a importância do planejamento e levantamento adequado do quantitativo para se obter um orçamento final compatível com a realidade da obra (ANDRADE et al., 2021), considerando mão de obra, material, frete, gastos administrativos e outros serviços que se fazem necessários.

3.5 Comparação dos prazos de execução contratados e modelados com BIM

De acordo com o prazo inicialmente proposto pela Empresa X, foi realizado o planejamento das atividades através do BIM com 3 meses de duração, considerando as variáveis que pudessem agregar na melhor execução das atividades, conforme princípios da Construção Enxuta, como exposto na Tabela 2. Porém, em razão das intercorrências encontradas para

Tabela 2
Verificação de prazo de execucão das atividades

Atividade	Prazo realizado pela Empresa X (dias)	Prazo BIM (dias)
Serviços preliminares	40	10
Fundações	23	23
Pilares	42	20
Vigas	45	25
Paredes	65	38
Fonte: Autoria própria (2021)	

a execução da obra, a Empresa X executou os serviços em 8 meses, devido ao atraso do início das atividades em virtude de problemas com a contratada, tais como: falta de estudo prévio do local, a falta de mão de obra especializada, atraso no transporte das peças pré-fabricadas; bem como em virtudes de problemas com a contratante, tais como: erros de dimensão das peças fabricadas por conta de erros de compatibilização de projeto e mudanças repentinas de projeto.

Verificou-se a eficácia da utilização da metodologia BIM para o desenvolvimento de cronograma físico--financeiro, podendo evitar estouro de orçamento e de prazo, afetando diretamente no desenvolvimento dos serviços a serem prestados (NASCI-MENTO et al., 2017). Sendo assim, destacou-se ainda mais a necessidade de um planejamento e mostrou-se que, embora alguma empresa ofereça o menor custo, não quer dizer que isso acarretará serviços executados de forma adequada. Neste caso, apesar do valor do orçamento menos elevado da empresa, observou-se prazos mais longos e incapacidade de finalizar a obra devido à má qualidade de gestão.

Com a possibilidade de implantação dos princípios da Construção Enxuta durante a obra, foi realizada a execução das fundações dentro do prazo previsto através do cronograma desenvolvido no MS Project e Navisworks, mas algumas atividades foram realizadas fora desse prazo desenvolvido em decorrência dos pro-

blemas encontrados. A oportunidade de verificação dos prazos executados e dos prazos previstos foi identificada devido ao uso do diário de obra digital e das fichas de serviços realizadas durante o acompanhamento.

A fase de serviços preliminares foi realizada com 30 dias a mais do que o previsto pelo BIM, o que é explicado pela falta de preparação das ligações provisórias de energia e de água, falta de estudo prévio do local para conhecimento pleno e consequentemente execução da locação da obra, e erros pela contratante como a falta de projetos compatíveis com as medidas do terreno.

A execução das fundações foi realizada dentro do prazo, já a montagem de pilares e vigas não seguiram o prazo determinado em BIM, com as montagens de pilares excedendo em 22 dias e de vigas em 20 dias, em decorrência dos erros de fabricação das peças por conta das incompatibilidades de projeto, o que dificultava o sequenciamento do trabalho e, consequentemente, a pausa das atividades, bem como a falta de planejamento de fabricação para entrega das peças, o que acarretou atraso no fornecimento e transporte para a obra. Como as vigas e pilares eram fabricadas pelo mesmo fornecedor, atraso e problemas ocorreram em ambas as atividades da mesma forma.

Na montagem das paredes, houve o atraso de 27 dias. O que impossibilitou a execução do trabalho em tempo hábil e planejado foi a diferença de tamanho entre as peças e o vão para montagem, o que exigiu o corte das paredes para encaixe, gerando maior gasto com ferramentas e readequação da mão de obra disponível. Além disso, o atraso do fornecimento e a entrega da obra também foram fatores predominantes para o atraso da execução dos serviços.

4. CONCLUSÕES

Com a utilização do BIM, pôde-se perceber a diferença no orçamento total da obra no valor de R\$230.480,64, concluindo que o levantamento adequado de quantitativo e a

consideração correta dos preços refletem em um orçamento com maior realidade e satisfação do cliente. Dessa forma, pôde-se verificar quantitativamente e qualitativamente a eficácia na utilização das metodologias e conceitos de gestão. Por fim, observou-se que, com as medidas adaptadas durante a execução da obra, não foram

suficientes para o sucesso do projeto, levando assim à ruptura do contrato da Empresa X, além de deixar um prejuízo significativo na ordem de 52,06% do valor contratado. Assim, percebe-se a importância da aplicação de ferramentas certas no momento adequado do projeto, ou seja, desde o planejamento preliminar e critérios

de contratação até a execução e gerenciamento de obras.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio dos pesquisadores Pâmela Millena Kunan, Lorena Araujo Silva e Danilo Guimarães Almeida com o auxilio do desenvolvimento dos projetos em BIM.

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANGELIM, V. L., ALVES, T. D. C. L., LIMA, M. M. X. D., BARROS NETO, J. D. P. Planejamento de médio prazo: panorama de sua aplicação na construção civil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 87-104, jan./mar. 2020.
- [2] COSTA, H. A., SOUZA, M. P., BALDESSIN, G. Q., ALBANO, G., FABRÍCIO, M. M. MODELAGEM BIM PARA REGISTRO DIGITAL DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO MODERNO. Revista Projetar Projeto e Percepção do Ambiente, v. 6, n. 1, p. 49-68, 25 jan. 2021.
- [3] SU, T., LI, H., AN, Y. A BIM and machine learning integration framework for automated property valuation, Journal of Building Engineering, Volume 44, 2021, 102636, ISSN 2352-7102.
- [4] ANDRADE, F. M. R., BIOTTO, C. N., SERRA, S. M. B. Modelagem BIM para orçamentação com uso do SINAPI. Gestão & Tecnologia de Projetos, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 93-111, 2021.
- [5] DE MATTOS NASCIMENTO, D. L., SOTELINO, E. D., CAIADO, R. G. G., IVSON, P., FARIA, P. S. Sinergia entre Princípios do Lean Thinking e Funcionalidades de BIM na Interdisciplinaridade de Gestão em Plantas Industriais. Journal Of Lean Systems, Rio de Janeiro, v. 2, n. 4, p.80-105, mar. 2017.
- [6] Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (Goinfra). Disponível em: http://www.goinfra.go.gov.br/>. Acesso em: 28 fev. 2022.



Em 23 de junho de 1972, o IBRACON foi fundado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT.

Assim, 2022 é ano de comemoração dos 50 anos de atividades do IBRACON em defesa e valorização da engenharia civil. **Marque em sua agenda: 23 de junho**, a partir das **14h**, transmissão on-line do **evento comemorativo do Jubileu de Ouro diretamente do IPT**.

PROGRAMAÇÃO

14h00 Abertura

Mestre de Cerimônia: Cláudio Sbrighi Neto

14h30 Histórico do IBRACON

Presidente do IBRACON: Paulo Helene

14h45 IBRACON no IPT

Representante do IPT

15h00 Apresentação Cultural

Orquestra Laetare

Maestrina: Muriel Waldman

15h30 Estatísticas do Instituto

Assessora da Diretoria e representando os sócios fundadores: Patrícia Bauer

15h50 Projeções dos próximos 50 anos

Diretor do IBRACON e representando os sócios mantenedores e coletivos: Hugo Armelin

16h20 Entrega ao IPT e aos demais Parceiros,

Diretoria e Conselho Diretor de Brinde Comemorativo do Jubileu de Ouro

PRESTIGIE!

Assista a transmissão nas redes sociais do IBRACON.

Dimensionamento com o uso de compósito TRM/TRC para reforço à flexão de elementos de concreto armado segundo a norma americana ACI 549.4R (2020)

MATHEUS H. M. DE MORAES – Eng., ORCID https://orcid.org/0000-0002-7285-1344 – matheus.h.h@hotmail.com; GLÁUCIA MARIA DALFRÉ – Prof., ORCID https://orcid.org/0000-0003-3623-5103 HENRIQUE M. FRANCKLIN – Prof., ORCID https://orcid.org/0000-0003-3623-5103, UFSCAR; BAHMAN GHIASSI – Prof., ORCID https://orcid.org/0000-0003-4212-8961, UNIVERSITY OF BIRMINGHAM, REINO UNIDO

RESUMO

OS MATERIAIS compósitos vêm ganhando destaque em obras de reparo e reforço estrutural pela sua fácil aplicabilidade, possibilidade de execução em locais de grande umidade, resistência ao fogo, resistência a ambientes de alta taxa de agressividade, e devido às suas propriedades mecânicas, tais como: a elevada resistência, alta rigidez e baixo peso próprio. Motivados

pela inexistência de normas brasileira para dimensionamento de estruturas reforçadas com a técnica do sistema de reforço com o uso de compósito TRM/TRC (*Textile Reinforced Mortar/Concrete*, em língua inglesa), este trabalho apresenta o modelo de dimensionamento da ACI 549.4R (2020) para o reforço à flexão com o uso de malha/ grelha de FRP (*Fiber Reinforced Polymers*, em língua inglesa) embebidas em matriz cimentícia.

PALAVRAS-CHAVE: POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRAS, REFORÇO ESTRUTURAL, VIGAS DE CONCRETO ARMADO, TRM/TRC, MALHA/GRELHA DE FRP EM MATRIZ CIMENTÍCIA.

1. INTRODUÇÃO

struturas de concreto armado, com o passar dos anos, estão sujeitas ao processo natural de envelhecimento e podem sofrer com deterioração, degradação ocasionadas pela exposição a ambientes agressivos ou falta de manutenção preventiva. Além disso, pode ser necessário aumentar a capacidade resistente dos elementos existentes frente à alteração do uso da estrutura. Nesses casos, por exemplo, é necessário estudar técnicas de reforço de estruturas de concreto armado.

Diversas pesquisas visam ao desenvolvimento de novos materiais e metodologias para o reparo ou reforço de estruturas de concreto armado. Dentre as técnicas existentes, as baseadas no uso de FRP (Fiber Reinforced Polymers, em língua inglesa) têm ganhado destaque, pois, quando comparado ao concreto e aço, esse material apresenta elevada resistência e rigidez, baixa espessura e peso próprio. Além disso, o FRP é alta-

mente resistente à corrosão e à fadiga e possui adaptabilidade às diferentes formas. Os principais tipos de fibras contínuas utilizadas nos FRPs são vidro, aramida, basalto e carbono.

Dentre as formas de aplicação de reforço com compósitos, destacase a técnica EBR (Externally Bounded Reinforcement, em língua inglesa) e a NSM (Near Surface Mounted, em língua inglesa). No entanto, apesar do grande ganho de resistência e ductilidade obtida com o uso dessas técnicas, os sistemas de reforço que exigem a aplicação de resina epóxi, seja aderida à superfície (EBR) ou embebidas em entalhes (NSM), ficam susceptíveis à degradação frente à incidência de raios UVA/UVB, umidade, temperaturas elevadas e atos de vandalismo.

Segundo Kabir, Shrestha e Samali (2016), a exposição desses materiais compósitos ao ambiente externo é o principal agente agressivo na ligação do substrato do concreto e o FRP. Esta ligação se enfraquece com a absorção de umidade, causando alterações na estrutura do compósito e levando à redução das propriedades mecânicas do conjunto, tal como módulo de elasticidade, a resistência à tração e a deformação última devido à plastificação, amolecimento e inchamento da matriz.

Como alternativa, propôs-se a substituição do ligante orgânico por um inorgânico como, por exemplo, argamassas ou concretos. Assim, o compósito feito de matriz à base de argamassa ou concreto reforçado com malha/ grelha de FRPs, o qual foi denominado de TRM (Textile-Reinforced Mortar, em língua inglesa) ou TRC (Textile-Reinforced Concrete, em língua inglesa), possui o objetivo de mitigar a ação do meio ambiente sobre o compósito. Para além disso, esta é uma alternativa de reforço com custo inferior aos dos materiais comumente utilizados nas técnicas EBR e NSM, que foram impactadas devido ao grande aumento do custo da resina epóxi durante a pandemia da Covid-19.

2. COMPÓSITOS TRM/TRC

Os materiais compósitos são compostos por duas ou mais fases, por componentes de diferentes propriedades físicas e químicas diferentes. Neste caso, utiliza-se malha/grelha de FRP (fibra) embebida em uma matriz cimentícia (argamassa ou concreto), obtendo-se o material compósito apresentado na Figura 1.

2.1 Fibras

A fibra é o principal componente dos compósitos utilizados nas técnicas de reforco com compósito TRM ou TRC. Sua alta resistência e rigidez faz com que ela seja a principal responsável por resistir às tensões de tração. As fibras podem ser orientadas em uma direção, formando um compósito unidirecional, ou em múltiplas direcões, formando um compósito bidirecional ou multidirecional. Essas orientações das fibras estão relacionadas às propriedades mecânicas dos compósitos de FRP. Geralmente, as fibras mais utilizadas na construção civil são as fibras de carbono, vidro, basalto e aramida. Para a confecção do TRM/TRC. as fibras contínuas apresentam-se na forma de malha/grelha quadrangular ou retangular, tal como o apresentado na Figura 2.

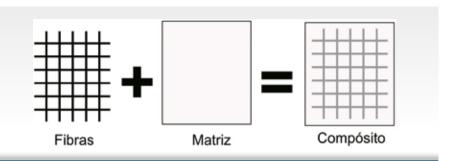


Figura 1

Material compósito

2.2 Matriz

A matriz que exerce a função de ligante para o compósito na técnica com uso de compósito TRM/TRC é a argamassa ou o concreto. Tais materiais são utilizados para promover a ligação ao substrato de concreto, além de embeber a malha/grelha de FRP. e auxiliar na distribuição de tensões. Ao submeter o compósito a um carregamento externo, a matriz entra em ação e exerce a função de transmitir e distribuir os esforços para as fibras. Além disso, a matriz protege as fibras contra a ação do meio ambiente e agentes agressivos, criando barreira que evita ataques físicos e químicos.

2.3 Compósitos

As fibras são embebidas pela matriz cimentícia formando o compósito de FRP, assim como mostra a Figura 3. No caso de uso de argamassa, obtém-se o compósito TRM, o qual geralmente apresenta espessura média de 1,5 cm e pode conter várias camadas de malha/grelha de fibras. Nos casos em que a matriz utilizada é o concreto, o material recebe a designação de TRC. O reforço com compósitos TRM/TRC usualmente é aplicado e curado *in situ*.

Devido à inexistência de normas brasileiras para dimensionamento da técnica com o uso de compósito TRC/ TRM, este trabalho apresenta o modelo de dimensionamento da norma



Figura 2

Malhas/grelhas de fibras: (a) Fibra de carbono, (b) Fibra de vidro e (c) Fibra de basalto Fonte: Koutas et al. (2019)



Figura 3
Exemplo de moldagem do compósito

americana ACI 549.4R (2020), a qual define o procedimento para aplicação do reforço à flexão com o uso de compósitos TRM ou TRC.

3. RECOMENDAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO À FLEXÃO SEGUNDO A ACI 549.4R (2020)

Segundo a norma ACI 549.4R (2020), o diagrama tensão versus deformação idealizado dos TRMs/TRCs apresenta comportamento típico à tra-

cão tal como o apresentado na Figura 4. Pela análise da Figura percebe-se o comportamento bilinear de um corpo de prova tracionado, onde o primeiro trecho apresenta comportamento elástico-linear até a fissuração da matriz cimentícia, a qual ocorre com a tensão e deformação, respectivamente, com módulo de elasticidade da matriz cimentícia não fissurada *. Posteriormente, após a redução da rigidez e transferência de forca para as fibras. existe um novo trecho com comportamento elástico-linear até a ruptura do corpo de prova, a qual ocorre com a tensão e deformação, respectivamente, e com módulo de elasticidade da matriz cimentícia fissurada, , o qual é determinado para os níveis de tensão e (Equação 1).

$$[\mathfrak{f}] \quad E_f = \frac{\Delta_f}{\Delta_{\varepsilon}} = \frac{\left(0.90 \cdot f_{fu} - 0.60 \cdot f_{fu}\right)}{\left(\varepsilon_{f_{0.90} \cdot f_{fu}} - \varepsilon_{f_{0.60} \cdot f_{fu}}\right)}$$

A deformação última (ε_{fu}) é obtida pela interseção em y da linha utilizada para a determinação de E_f , a qual é obtida com o uso das Equações 2 e 3.

[2]
$$y_{interse \tilde{\varsigma} \tilde{a} o} = \left(0.60 \cdot f_{fu} - E_f \cdot \varepsilon_{f_{0.60} f_{fu}}\right)$$

$$[3] \varepsilon_{fu} = \frac{\left(f_{fu} - y_{interseção}\right)}{E_f}$$

Segundo a norma ACI 549.4R (2020), o

dimensionamento

do reforço à flexão

com uso de com-

pósito TRM/TRC aderido ao subs-

trato de concreto é baseado nas se-

quintes premissas:

(a) seções planas

antes do car-

regamento

permanecem

planas após o

carregamento;

regamento

entre o refor-

ço externo e

de concreto.

caracterizan-

substrato

(b) não há escor-

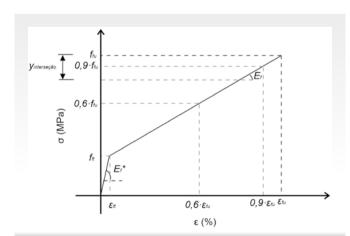


Figura 4

Diagrama tensão *versus* deformação idealizado dos TRMs/TRCs

Fonte: Adaptado de ACI 549.4R (2020)

- do uma aderência perfeita entre materiais; a deformação máxima permitida no
- (c) a deformação máxima permitida no concreto comprimido é de 3 %; e
- (d) o TRC/TRM apresenta comportamento bilinear e somente o segundo trecho (fissurado) é utilizado no dimensionamento.

A resistência à flexão de uma seção reforçada depende do modo de ruína previsto, que podem se apresentar na forma de:

- a) Esmagamento do concreto comprimido antes do escoamento da armadura existente;
- b) Escoamento da armadura com posterior esmagamento do concreto comprimido:
- c) Delaminação por cisalhamento do cobrimento;
- d) Destacamento do material de reforço;
- e) Falha de aderência em regiões de transição; e
- f) Deslizamento da malha/grelha de fibra embebida pela matriz cimentícia.

3.1 Estado Limite Último da seção reforçada

A norma ACI 549.4R (2020) determina que seja utilizado o menor dos valores obtidos na avaliação da deformação última ($\varepsilon_{\rm fu}$), a qual é experimentalmente obtida da deformação efetiva ($\varepsilon_{\rm fe}$) devida à tração no TRM/TRC atingida de caso de ruptura ou da deformação de cálculo à tração ($\varepsilon_{\rm fd}$), tal como apresentado na Equação 4, onde tais valores são limitados em 12‰.

$$[4] \quad \varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fd} = \varepsilon_{fu} = 0.012$$

Aplicando-se a Lei de Hooke, obtém-se a tensão efetiva de tração no TRM/TRC (f_{fe}), a qual é calculada de acordo com a Equação 5 e onde E_f é Módulo de elasticidade de do TRM/TRC.

[5]
$$f_{fe} = E_f \cdot \varepsilon_{fe}$$
, onde $\varepsilon_{fe} \le \varepsilon_{fd}$

3.2 Estado Limite Último para a viga reforçada

O procedimento de cálculo adotado pela norma ACI 549.4R (2020) é similar ao da ACI 440.2R (2017), tratando-se de um método iterativo que

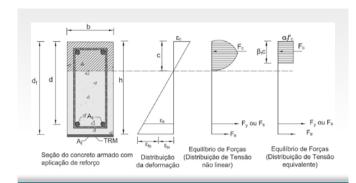


Figura 5 Equilíbrio de forças de uma seção retangular de uma viga reforçada Fonte: Adaptado ACI 549.4R (2020)

envolve a estimativa inicial de um valor para profundidade da linha neutra (c), que permite o cálculo da deformação de cada material presente na seção transversal, nomeadamente concreto, aço e material de reforço, considerando-se a compatibilidade entre os materiais e o equilíbrio de forças na seção avaliada, tal como apresentado na Figura 5. A norma ACI 549.4R (2020) ainda define que, caso as forças resultantes não estejam em equilíbrio, a posição do eixo neutro deve ser revista e o processo iterativo deve ser repetido.

Nesta Figura, d, é a altura útil do sistema de reforço à flexão, d é a altura útil da viga, b é a largura da viga, h é a altura total da viga; A, é área da seção transversal da malha/grelha de fibra utilizada no reforço com uso do TRM/ TRC (por unidade de comprimento), A, é a área da seção transversal da armadura longitudinal existente, c é a posição inicial da linha neutra, ε_c e ε, e são as deformações do concreto e da armadura longitudinal, respectivamente, ε_{hi} é a deformação do concreto no momento da aplicação do reforço, $\varepsilon_{_{fe}}$ é deformação efetiva no TRM/TRC alcançado na ruína, F_c é a força resultante de compressão no concreto, F, é a força resultante da armadura longitudinal tracionada, F_{fe} é a força resultante no TRM/TRC tracionado, β, é razão da profundidade do bloco retangular comprimido equivalente para a profundidade da linha neutra, α , é fator de determinação da intensidade equivalente retangular da distribuição da tensão de compressão no concreto e f'_c é a resistência característica do concreto.

O cálculo do sistema de reforço é iniciado com a determinação da deformação no substrato de concreto que receberá o mate-

rial de reforço no momento da aplicação ($\epsilon_{\rm bi}$), com o uso das Equações 6 a 11, onde M_DL é o momento fletor devido à atuação do peso próprio, $\rm E_c$ é o módulo de elasticidade do concreto e $\rm E_s$ é o módulo de elasticidade do aço.

[6]
$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$[7] \quad B = \frac{b}{n \cdot A_s}$$

$$[8] \quad I_g = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$[9] \quad k \cdot d = \frac{\left(\sqrt{2 \cdot d \cdot B + 1} - 1\right)}{B}$$

[10]
$$I_{cr} = \frac{b \cdot k^3 \cdot d^3}{3} + n \cdot A_s (d - k \cdot d)^2$$

[11]
$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL} \cdot (d_f - k \cdot d)}{I_{cr} \cdot E_c}$$

O dimensionamento da técnica de reforço à flexão com o uso de compósitos TRC/TRM segue mesma metodologia apresentada na norma ACI 440.2R (2017). Para dar início ao dimensionamento, arbitra-se uma posição inicial para a posição da linha neutra (c). O valor para a profundidade de linha neutra recomendado pela norma para a primeira iteração é igual a 0,2 · d. Isso permite calcular a deformação efetiva do sistema de reforço ($\varepsilon_{\rm fe}$) com o uso da Equação 12, onde $\varepsilon_{\rm cu}$ é a deformação última do concreto.

[12]
$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \le \varepsilon_{fd}$$

Uma vez que as intensidades de tensão e deformação no TRM/TRC foram obtidas, as deformações na armadura longitudinal e no concreto são determinadas com o uso da Equações 13 e 14, respectivamente. Assim com a tensão no aço (f_s) que é obtido por meio da Equação 15.

[13]
$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \cdot \left(\frac{d-c}{h-c}\right)$$

[14]
$$\varepsilon_c = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \cdot (\frac{c}{h-c})$$

[15]
$$f_s = E_s \cdot \varepsilon_s \le f_y$$

Com as tensões e deformações na armadura longitudinal e no material de reforço (TRM/TRC) determinados, verifica-se a condição de equilíbrio da seção, as quais são calculadas com o uso das Equações 16 a 19, onde ϵ_c é a deformação máxima do concreto, ϵ_c^{\prime} é a deformação do concreto não confinado, E_c é o modulo de elasticidade do concreto e A_s é a área da seção transversal da armadura longitudinal existente.

[16]
$$\varepsilon'_{c} = \frac{1.7 \cdot f_{c}'}{E_{c}}$$

[17]
$$\beta_1 = \frac{4 \cdot \varepsilon_c - \varepsilon_c}{6 \cdot \varepsilon_c' - 2 \cdot \varepsilon_c}$$

[18]
$$\alpha_1 = \frac{3 \cdot \varepsilon_c' \cdot \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_c'^2}$$

[19]
$$c = \frac{A_s \cdot f_s + A_f \cdot f_{fe}}{\alpha_1 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot b}$$

Finaliza-se o procedimento de cálculo para ELU caso a posição calculada da linha neutra seja igual a arbitrada. Caso a profundidade de linha neutra arbitrada seja diferente da obtida, o equilíbrio entre os blocos comprimidos e tracionados não foi atingido. Assim, arbitra-se nova profundidade e reinicia-se o dimensionamento.

O Momento nominal resistente (M_o) do elemento reforçado pode ser

encontrado com o uso da Equação 22, a qual consiste na somatória das parcelas do momento nominal resistido pela armadura (M_{ns}) e o momento nominal resistido pelo material de reforço (M_{nf}), apresentados pelas Equações 20 e 21, respectivamente.

[20]
$$M_{ns} = A_s \cdot f_s \left(d - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right)$$

[21]
$$M_{nf} = A_f \cdot f_{fe} \cdot \left(d_f - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right)$$

$$[22] \quad M_n = M_{ns} + M_{nf}$$

O momento último (M_u) é obtido com o produto do momento nominal resistente (M_n) e o fator de redução (ϕ) , assim como apresentado na Equação 24. O fator de redução (ϕ) é obtido com uso da Equação 23 e depende da deformação do aço obtida no dimensionamento (ϵ_s) e da deformação de início de escoamento do aço utilizado (ϵ_{s_v}) .

[23]
$$\phi = \begin{cases} 0.90 & para & \varepsilon_s \ge 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25 \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & para & \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < 0.005 \\ 0.65 & para & \varepsilon_s \le \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

$$[24] M_u = \phi \cdot M_n$$

3.3 Estado Limite Serviço para a viga reforçada

Após o dimensionamento em ELU, é preciso realizar as verificações em ELS. A norma ACI 549.4R (2020) recomenda a verificação das tensões no aço e no reforço, de modo a evitar deformações inelásticas no aço e possíveis rupturas devido à fadiga e carregamento cíclicos no reforço. As tensões no aço em serviço ($f_{s,s}$) e no TRM/TRC ($f_{f,s}$) podem ser calculadas com o uso das formulações apresentadas nas Equações 25 e 28, as quais são encontradas na norma ACI 440.2R (2017).

A tensão no aço sob as cargas de serviço ($f_{s,s}$) é determinada com o uso da Equação 25, a qual é baseada na análise da seção fissurada de concreto armado reforçada. Recomenda-se que a tensão de serviço encontrada para o aço deve ser limitada em 80% de sua tensão característica de escoamento (f_y), tal como apresentado na Equação 26.

[25]
$$f_{s,s} = \frac{\begin{bmatrix} M_s + \varepsilon_{bi} \cdot A_f \\ \cdot E_f \cdot \left(d_f - \frac{c}{3} \right) \end{bmatrix} \cdot (d - c) \cdot E_s}{A_s \cdot E_s \cdot \left(d - \frac{c}{3} \right) \cdot (d - c) + A_f \cdot E_f \left(h - \frac{c}{3} \right) (h - c)}$$

$[26] \quad f_{s,s} \le 0.80 \cdot f_y$

Já a tensão no aço sob carregamento cíclico ($f_{f,s}$) deve ser limitado a 65% de sua tensão característica de escoamento do aço existente (f_{γ}), tal como apresentado na Equação 27.

$$[27] \quad f_{sf} \le 0.65 \cdot f_y$$

Já a tensão no material de reforço sob carregamento cíclico ($f_{\rm f,s}$) deve obedecer aos limites impostos para cada tipo de material de acordo com o indicado na Tabela 1 (ACI 549.4R, 2020), a qual é obtida com uso da Equação 28.

[28]
$$f_{f,s} = f_{s,s} \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot \frac{d_f - c}{d - c} - \varepsilon_{bi} \cdot E_f$$

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de materiais compósitos com FRP (Fiber Reinforced Polymer, em língua inglesa) tem sido objeto de discussão em obras de reforço estrutural. Dentre as diversas técnicas existentes de reparo e reforço de estruturas de concreto armado aplicando-se FRPs, apresenta-se o modelo de dimensionamento com a técnica com uso de compósito TRM ou TRC à flexão, o qual ainda não é tão difundido e utilizado no Brasil.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

▶ Tabela 1

Carga de serviço e tensão cíclica limite para o reforço com TRC/TRM

Tipo de tensão	Tipo de fibra					
	Vidro	Aramida		Carbono	PBO*	Aço
Fluência e fadiga	0,30 · f _{fu}	0,40 · f _{fu}	0,30 · f _{fu}	0,55 · f _{fu}	0,40 · f _{fu}	0,55 · f _{fu}

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE. ACI 440.2R: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. Michigan USA, ACI, 2017.
- [2] ______. Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix and Steel-Reinforced Grout Systems for Repair and Strengthening of Concrete Structures ACI 549.4R. Michigan USA, ACI, 2020.
- [3] KABIR, M. I.; SAMALI, B.; SHRESTHA, R. "Fracture Properties of CFRP–Concrete Bond Subjected to Three Environmental Conditions", Journal of Composites for Construction, v. 20, n. 4, p. 04016010, 2016. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000665.
- [4] KOUTAS, L. N.; TETTA, Z.; BOURNAS, D. A.; TRIANTAFILLOU, T. C. "Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review", Journal of Composites for Construction, v. 23, n. 1, p. 01–20, 2019. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000882.

Comparação entre os critérios da **NBR 15812-1:2010** e **NBR 15961-1:2011** com os da norma **NBR 16868-1:2020**

LORENZO S. RIZZATTI – ENG., ORCID https://orcid.org/0000-0002-9287-6485 – enzorizzatti10@gmail.com, UFSM; GIHAD MOHAMAD – PROF. DR., ORCID https://orcid.org/0000-0002-6380-364X, UFSM; EDUARDO RIZZATTI – PROF. DR., ORCID https://orcid.org/0000-0002-3956-6744, UFSM

R E S U M O

ESTE trabalho tem como objetivo principal analisar comparativamente os critérios normativos das ABNT NBR 15812 – 1 (2010) Alvenaria estrutural — Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos e ABNT NBR 15961 – 1 (2011) Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projetos, com as propostas da primeira parte da norma ABNT NBR 16868:2020 – Parte 1: Projeto, no intuito de contribuir e subsidiar discussões junto ao meio técnico. Foram analisados os requisitos, proprie-

dades da alvenaria e de seus componentes, segurança e estados limites, ações, valores de cálculo, análise estrutural, deslocamentos, fissuras e dimensionamento.

Concluiu-se que a ABNT NBR 16868:2020 substituiu as normas antigas em um momento oportuno, devido ao longo período sem atualizações das normas e seus critérios. Foram introduzidas mudanças efetivas e positivas para o dimensionamento da alvenaria estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: ALVENARIA ESTRUTURAL, NORMAS, CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.

1. INTRODUÇÃO

té o ano de 2020, as normas brasileiras de alvenaria estrutural eram separadas dependendo do tipo do bloco, sendo as de blocos cerâmicos abordados pela NBR 15812:2010 e as blocos de concreto pela NBR 15961:2011. Comparando com as normas técnicas de referência mundial, como a dos Estados Unidos, Canadá e Europa, nota-se que a distinção devido ao material do bloco não existe, ou seja, há nesses países uma única norma para blocos cerâmicos e de concreto.

Diante de um hiato de praticamente uma década sem atualizações e com muitas pesquisas realizadas no campo da alvenaria estrutural, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) publica, em 2020, as três primeiras partes da norma NBR 16868-1:2020. Visando unir blocos de materiais diferentes em uma mesma norma técnica, a nova norma brasileira atualiza, nesta primeira parte, os critérios sobre projeto de alvenaria estrutural com a primeira da nova norma.

Diante do exposto, como em ambas as normas antigas a parte 1 aborda o dimensionamento da alvenaria estrutural, o presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre as NBR 15812-1:2010 e NBR 15961-1:2011 a NBR 16868-1:2020, discorrendo somente sobre a primeira parte de cada texto da norma técnica.

2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS NORMATIVAS

A análise comparativa realizada entre a nova norma NBR 16868-1:2020 e as duas que a mesma substituiu foi realizada item por item, e na sequência deste trabalho, são abordados os itens que foram avaliados de mais relevância.

2.1 Referências normativas, requisitos e propriedades da alvenaria

2.1.1 AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE DO PROJETO

Adicionada ao item de "Requisitos" da NBR 16868:2020, a avaliação de conformidade do projeto deve contemplar uma análise crítica, avaliando se o mesmo atende às normas técnicas vigentes, além de analisar os cálculos desenvolvidos e os detalhamentos do projeto.

Uma nova área de atuação possível para engenheiros é inaugurada com essa avaliação, pois a mesma deve ser realizada por um profissional apto e independente do projeto original, além de ser registrada legalmente e acompanhar os demais documentos legais do projeto. Ademais, a avaliação de conformidade deve contemplar desde os parâmetros e resultados dos dimensionamentos até os desenhos e detalhes construtivos. Deste modo, elevando os padrões de segurança dos projetos de alvenaria estrutural.

2.1.2 COMPRESSÃO SIMPLES

Quanto às argamassas, a NBR 16868:2020 segue por inteiro as recomendações da NBR 15961:2011, onde a resistência à compressão simples é limitada a 1,5 vezes à resistência

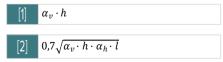
característica dos blocos, sem limitacões mínimas. Esta falta de limitação já foi abordada por estudos como de De Lima (2010), Lübeck (2016) e Schlosser (2019), que comprovam que a falta de limitantes para o valor de resistência à compressão simples das argamassas nas normas brasileiras é um ponto que pode ser aprimorado. Assim como concluído por Lübeck (2016), compartilha-se a ideia de que a proposição de limites mínimos para a resistência da argamassa é uma alternativa viável que auxiliaria também no controle do modo de ruptura, porém é necessário maiores estudos e aferimentos desses limites.

2.2 Análise estrutural

2.2.1 ALTURA EFETIVA

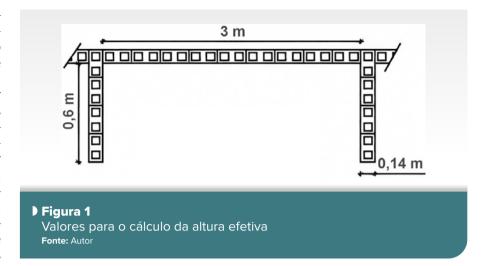
Segundo as NBR 15812:2010 e NBR 15961:2011, a altura efetiva de uma parede de alvenaria estrutural deve ser considerada como a própria altura da parede, quando houver travamentos restringindo os deslocamentos horizontais nas extremidades inferior e superior, ou o dobro da altura da parede, quando uma das extremidades for livre e a outra extremidade esteja restringida ao deslocamento horizontal e à rotação.

A NBR 16868:2020 complementa essas diretrizes separando a altura efetiva em dois tópicos, quando não há travamento lateral transversal à parede, e quando há. Na situação de não haver este travamento lateral transversal, as especificações são idênticas às normas antigas. Caso houver o travamento lateral transversal à parede, a altura efetiva deve ser considerada o menor valor entre:



Onde:

 $\alpha_{\rm v}$ = 0 índice de esbeltez vertical, que deve ser considerado igual a 1,0 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das extremidades superior e inferior, ou igual a 2,5 se houver travamentos



que restrinjam os deslocamentos horizontais em uma das extremidades; α_h = índice de esbeltez horizontal, seu valor deve ser igual a 1,0 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das extremidades esquerda e direita, ou igual a 2,5 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais em uma das extremidades esquerda ou direita;

h = altura da parede;

I = comprimento do trecho da parede.

Por exemplo, analisando-se um painel com altura de 2,80 m e comprimento de 3 m, e onde há travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais em suas extremidades e que haja travamentos laterais transversais, conforme a Figura 1.

A altura efetiva, segundo as normas que foram substituídas, seria considerada igual a altura do painel (2,80 m), pois a NBR 15812:2010 e a NBR 15961:2011 somente levam em consideração os travamentos das extremidades superior e inferior, ou seja, dos deslocamentos horizontais.

Para o mesmo exemplo anterior, e considerando que estes travamentos tenham um comprimento de 60 cm, ou seja, valor superior a 56 cm (1/5 da altura do painel), a altura efetiva seria o menor valor entre os dois resultados das equações 1 e 2, resolvidas abaixo:

 $h_e = \alpha_v \cdot h = 1 \cdot 280 = 280cm$ $0.7 \sqrt{\alpha_v \cdot h \cdot \alpha_h \cdot l} = 0.7 \sqrt{1 \cdot 280 \cdot 1 \cdot 300} = 202.88cm$ Assim, a altura efetiva do painel, por conta dos travamentos laterais transversais e travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais nas extremidades superior e inferior, seria de 202,88 cm, uma redução de 27% no valor deste exemplo, em relação às NBR 15812:2010 e NBR 15961:2011.

Esta nova especificação para a altura efetiva da parede determinada pela NBR 16868:2020 é bem-vinda, uma vez que considera a contribuição das paredes laterais transversais para a rigidez do painel em questão, resultando em uma altura efetiva menor, assim resultando em uma esbeltez menor do elemento.

2.2.2 DESLOCAMENTOS LIMITES

Para elementos estruturais que servem de apoio para a alvenarias, as NBR 15812:2010 e NBR 15961:2011 especificam como limite máximo os valores de L/500, 10 mm ou θ = 0,0017 rad. A nova norma MANTÊM esses valores e separa a especificação entre peças em balanço e demais casos. Para as situações em balanço é especificado valores máximos de L/250 e 10 mm. Para os demais casos, os limites são L/500 ou 10 mm.

Para elementos fletidos, os limites de deslocamentos finais nas normas antigas têm os valores de L/150 ou 20 mm para as peças em balanço, e de L/300 ou 10 mm para os demais casos. A NBR 16868:2020 altera o limite dos elementos que estão em

balanço, que passa para L/150 ou 10 mm. Salienta-se apenas nas versões anteriores que as peças estruturais que apoiam alvenarias não devem apresentar deslocamentos maiores que L/500, 10mm ou 0,0017 radianos de rotação. Não deixando claro que esses limites são para elementos estruturais que apoiam as alvenarias de vedação.

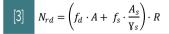
Na alvenaria estrutural, as paredes da fachada transmitem seus esforços atuantes do vento para as paredes laterais por meio das lajes funcionando como diafragma rígido. Os deslocamentos horizontais são fundamentais para o dimensionamento estrutural relacionado com a comodidade do usuário, durabilidade e consequentes patologias nas paredes estruturais. A NBR 16868:2020 introduz o item sobre "Movimento lateral em edifícios", que aborda o proieto de edifícios altos e estabelece os limites para verificação lateral provocada pela ação do vento em combinação frequente ($\psi_1 = 0.30$). Os limites são de H/1700 e Hi/850, onde H é a altura total do edifício e Hi é o desnível entre dois pavimentos sucessivos. Esses parâmetros são baseados na NBR 6118:2014 para os efeitos em elementos não estruturais no projeto de estruturas de concreto, uma novidade eficiente da nova norma.

2.3 Dimensionamento

2.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A NBR 16868:2020-1 introduz a possibilidade de dimensionar alvenaria estrutural à compressão simples com a utilização de armadura. Neste tocante, a nova norma apresenta um método de dimensionamento para elementos que tenha o índice de esbeltez menor ou igual a 30, e um para elementos que tenham o índice de esbeltez maior que 30, o segundo no Anexo C da norma.

No item que é denominado de "Resistência à compressão simples de paredes e pilares armados com índice de esbeltez menor ou igual a 30", a NBR 16868:2020 determina a fórmula 3 para se determinar a resistência dos pilares



Onde:

N_{rd} = Força normal resistente de cálculo;

 f_d = resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

f_s = tensão na armadura (MPa);

A_s = área da seção das armaduras longitudinais contraventadas por estribos:

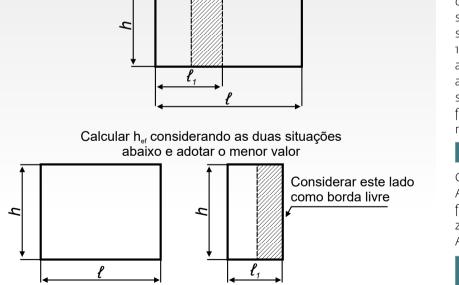
A = área da seção resistente;

R = coeficiente redutor devido à esbeltez do pilar.

Segundo Medeiros e Parsekian (2019), as normas atuais não permitem a consideração da armadura no dimensionamento da alvenaria à compressão simples, pois as paredes, em sua maioria, não são fortemente armadas, e a armadura longitudinal não é confinada por estribos na maioria dos casos. Ainda segundo Medeiros e Parsekian (2019), o comitê que desenvolveu A nova norma considerou que a utilização da armadura na compressão é uma ferramenta útil para o dimensionamento.

2.3.2 RESISTÊNCIA À FLEXÃO SIMPLES

A NBR 16868:2020 apresenta mudanças consideráveis no item sobre seções retangulares com armadura simples. As NBR 15812:2010 e NBR 15961:2011 limitavam a tensão na armadura a 50% da tensão de escoamento quando se considera a resistência à flexão, onde o momento fletor resistente de cálculo é determinado pela Equação 4.



Faixa e painel inteiro

Figura 2 Características do painel para cálculo de h_{ef} de faixas intermediárias Fonte: NBR 16868:2020

$[4] M_{Rd} = A_s \cdot f_s \cdot z$

Onde:

 A_s = área da armadura tracionada; f_s = tensão na armadura (MPa); z = braço da alavanca. Ainda se tem a Equação 5:

$$[5] f_s = 0.5 \cdot f_{yd} = 0.5 \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$$

Ou seja, metade da resistência ao escoamento de cálculo da armadura. Esta limitação é baseada na ideia de que eventualmente uma seção pode se deformar e o graute deslizaria dentro do vazado, interrompendo a transferência das tensões da armadura.

Baseados nos estudos de Izquierdo e Corrêa (2016) e Sipp e Parsekian (2018), entre outros, a NBR 16868:2020 conclui que o vínculo entre o bloco e o graute pode ser considerado forte o suficiente para permitir a transferência de tensões. Assim, a nova norma altera as limitações da tensão de escoamento do aço, dependendo do tipo de material do bloco e do diâmetro da barra da armadura, conforme abaixo:

- blocos de concreto: $f_s = f_{vd}$;
- blocos ou tijolos cerâmicos, com faces lisas em contato com o graute:
 - para barras de 10 mm, f_s = f_{yd} (sem redução);
 - para barras de 12,5 mm, f_s = 0,75 f_{yd}
 (com redução de 25%);
 - para barras de 16 mm, f_s = 0,50 · f_{yd} (com redução de 50%);
- blocos cerâmicos com faces com ranhuras em contato com o graute, tem-se $f_s = f_{vd}$.

Sánchez (2013) afirma que a adoção de apenas 50% da tensão característica ao escoamento do aço da armadura longitudinal de flexão para o dimensionamento à flexão é muito conservadora. Assim, a nova norma acerta em alterar este valor, baseada em estudos comprovados.

2.3.3 RESISTÊNCIA À FLEXO-COMPRESSÃO

Enquanto as NBR 15812:2010 e NBR 15961:2011 consideravam como elementos curtos aqueles em que o índice de esbeltez fosse menor que 12, a NBR 16868:2020 aumenta esse limite para 16.

Outra mudança que a nova norma apresenta, em relação às normas substituídas, é no modo de determinação do momento de segunda ordem, que segundo a NBR 16868:2020 é determinado pela equação 06, que utiliza em seu denominador o valor constante de 3600, enquanto as normas ainda vigentes e também a norma europeia, usam o valor constante de 2000:

12001111111	f _{bk}	fa	f _{ek}	6 14	200222	fpk	f _{pk}	Espessura minima de
Tipo de bloco		MPa		f _{pk} /f _{bk}	T _{pk} /T _{pk}	MPa		parede do bloco (mm)
	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
Bloco varado de	10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
concreto.	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
conforme a ABNT	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
N8R 61 (ref. 14 x	16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
39 cm)	18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
	20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
_	22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
	24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25
Bloco cerámico de	4,0	4,0	15,0	0,50	1,60	2,0	3,2	8
parede vzzada,	6,0	6,0	15,0	0,50	1,60	3,0	4,8	8
conforme a ABNT	8,0	6,0	20,0	0,50	1,60	4,0	6,4	8
NBR 15270-1 (ref.	10,0	8,0	25,0	0,45	1,60	4,5	7,2	8
14 x 29 cm)	12,0	8,0	25,0	0,45	1,60	5,4	8,6	8
Bloco cerámico do parede maciça,	10,0	8,0	20,0	0,60	1,60	6,0	9,6	22
	14,0	12,0	25,0	0,60	1,60	8,4	13,4	25
conforme e ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 x 29 cm)	18,0	15,0	30,0	0,60	1,60	10,8	17,3	30

Figura 3

Tabela com valores de referência para blocos, argamassas, grautes e primas

Fonte: NBR 16868:2020

[6]
$$M_{2d} = \frac{N_d \cdot (h_e)^2}{3600 \cdot t}$$

Onde:

N_d – força normal de cálculo;

h_e – altura efetiva do elemento comprimido;

t – dimensão da seção transversal da peça no plano de flexão.

Essa diferença tem consequências diretas no valor do momento de segunda ordem e se baseia nas diretrizes do Eurocode 6. Ainda, nota-se que o valor encontrado pelas diretrizes da NBR 16868:2020 é bem inferior ao valor das NBR 15812:2010 e NBR 15961:2011.

Outra novidade que a nova norma introduz é a verificação de paredes com flexão oblíqua através de uma verificação por faixas. No caso específico de paredes, a NBR 16868:2020 permite substituir a verificação da seção em flexão oblíqua pela verificação de faixas submetidas à flexo-compressão fora do plano da parede.

O comprimento de cada faixa deve ser igual a cinco vezes a espessura da parede e no máximo de 100 cm, mesmo limitante máximo para as faixas de pilares-paredes da NBR 6118:2014. O índice de esbeltez e o eventual momento de segunda ordem devem ser calculados para cada faixa, conforme a figura 2.

2.4 Anexos

Em seu Anexo A, a NBR 16868:2020 aborda danos acidentais e colapsos progressivos. Comparada às normas antigas, a nova norma técnica altera o caráter de informativo para normativo e acrescenta detalhes construtivos baseados em Parsekian (2014).

O Anexo B, assim como nas normas anteriores, discorre sobre alvenaria protendida. A nova norma muda novamente o caráter do anexo, de informativo para normativo.

Terceiro e último anexo de caráter normativo da NBR 16868:2020, o Anexo C traz as especificações de como dimensionar uma parede muito esbelta, com o índice de esbeltez maior que 30. São estabelecidos parâmetros para que seja possível que o dimensionamento ocorra.

O Anexo D é outra novidade da NBR 16868:2020, porém de caráter informativo. Neste item, a nova norma permite o projeto de alvenaria participante, através do método da diagonal comprimida clássica, baseando-se nas especificações da CSA S304:2014 sobre "in fill walls", ou paredes participantes.

Em seu Anexo E, a NBR 16868:2020 disponibiliza o método de dimensionamento de painel sob ação fora do plano, por meio de tabelas. Para alvenaria não armada, a nova norma recomenda as tabelas da CSA S304:2014. Para a alvenaria armada, é recomendado usar as tabelas do Eurocode 6 (2005).

Em seu último anexo F, também informativo, a NBR 16868:2020 apresenta uma tabela, representada na Figura 3, com valores de resistência à compressão simples recomendados ao projetista para a especificação do bloco, argamassa, graute e do prisma. Tais valores devem ser confirmados com os devidos testes, mas segundo Medeiros e Parsekian (2019) o comitê organizador entende que valores comuns como refe-

rência para projetistas inexperientes são importantes.

3. CONCLUSÕES

A nova norma apresenta novidades positivas que terão efeitos imediatos quanto ao projeto da alvenaria estrutural, como, por exemplo, a avaliação de conformidade do projeto, que reforça a segurança, além de abrir uma nova gama de serviço para engenheiros. Ainda, o fim da limitação de considerar somente 50% da tensão na armadura no dimensionamento à flexão simples e ao cisalhamento já era uma mudanca requerida por diversos autores. Esta alteração se baseia em estudos nacionais e fica dependendo do tipo de bloco, de suas paredes internas e do diâmetro do aço. Outro ponto positivo é o uso de armadura no dimensionamento à compressão simples.

A resistência à compressão da argamassa na NBR 16868:2020 continua sem limites mínimos, que seriam de bom uso para o controle do modo de ruptura, porém necessi-

tam de mais estudos para determinar tais limitantes, como concluiu Lübeck (2016).

A NBR 16868:2020 se baseia muito na norma canadense (CSA 304:2014) para inclusão de novos anexos C e D, Paredes com índice de esbeltez maior superior a 30 e Alvenaria participante, respectivamente. Estes anexos são muito bem-vindos, usando normas internacionais como referência, quando não há estudos e resultados nacionais.

De uma maneira geral, a publicação da NBR 16868:2020, que substituiu a NBR 15812:2010 e a NBR 15961:2011, acontece em bom tempo, se não atrasada, com praticamente uma década sem revisões. Com a nova norma, o Brasil alinha-se com a comunidade internacional, no quesito de normativas que abordam a alvenaria estrutural, deixando a segregação devido ao tipo do material do bloco, além de conseguir mesclar estudos nacionais com estudos e normas técnicas internacionais como fontes para seu texto.

D REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR15812: Alvenaria Estrutural Blocos Cerâmicos. 1.ed. Rio de Janeiro, 2010.
- [2] ABNT NBR15961: Alvenaria Estrutural Blocos de concreto. 1.ed. Rio de Janeiro, 2011.
- [3] ABNT NBR16868-1: Alvenaria Estrutural Parte 1 Projeto. 1.ed. Rio de Janeiro, 2020.
- [4] CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. CSA S304: Design of Masonry Structures. Mississauga: CSA, 2014.
- [5] DE LIMA, A. N. Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos. 2010. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.
- [6] LÜBECK, A. Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- [7] IZQUIERDO, O. S.; CORRÊA, M. R. S. Análise experimental da interface graute/bloco estrutural de concreto e cerâmico. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 16, n. 66, p. 17-48, 2016.
- [8] RIZZATTI, L. S. Comparação entre os critérios da NBR 15812 1:2010 e NBR 15961-1:2011 com os do Projeto de Norma da NBR 16868-1:2020. 2020. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
- [9] MEDEIROS, W. A; PARSEKIAN, G. A. Revisão e unificação das normas para alvenaria estrutural. 2019. Anais do 61° Congresso Brasileiro do Concreto, Outubro, 2019.
- [10] Parsekian, G.A., Medeiros, W.A. and Sipp, G. (2018), High-rise concrete and clay block masonry building in Brazil. Mauerwerk, 22: 260-272. https://doi.org/10.1002/dama.201800010
- [10] PARSEKIAN, G. A. The success of masonry structures in Brazil: practice, research and challenges. In: International Masonry Conference, 2014, Guimarães. Proceedings of the 9 th International Masonry Conference. Guimarães: Universidade do Minho, p. 1-24, 2014.
- [12] SÁNCHEZ, E. Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.
- [13] SCHOSSLER, R. T. Deformações e modo de ruptura em prismas de blocos de concreto: análise experimental com extensometria e correlação de imagem. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- [14] SIPP, G. Avaliação do comportamento de aderência entre blocos cerâmicos e grautes. 2019. Dissertação (Mestrado em Construção civil) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

Encontro presencial na Regional Rio Grande do Sul

o dia 10 de maio ocorreu o encontro presencial na Universidade do Vale do Taquari (Univates), promovido pela Regional do Rio Grande do Sul, do qual participaram mais de 200 pessoas, entre alunos de graduação e profissionais do mercado da construção.

O evento, que faz parte da série IBRACON na Estrada Gaúcha Network, contou com palestras do Prof. Roberto Christ (Unisinos), que tratou do uso de barras de fibras de vidro em estruturas de concreto, e do Eng. Flávio Roberto Bartz (Conpasul), que apresentou a Fonomix – a tecnologia de argamassa autonivelante para contrapisos. A abertura coube ao diretor regional Hinoel Ehrenbring.

O evento foi patrocinado pelas empresas Conpasul, MC Bauchemie e Composite Group. Ele contou com o apoio da Univates e itt Performance/ UNISINOS.

Figue atento para as próximas edições!



KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de **DURABILIDADE** das **ESTRUTURAS** de **CONCRETO**

O conjunto de Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto é fruto do trabalho do Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto.











PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado SÓCIOS: R\$ 300,00 | NÃO SÓCIOS: R\$ 550,00

Adquira o seu na Loja Virtual do IBRACON: http://lojaibracon.org.br















SAIBA MAIS COMO A APODI EXPERT TRANSFORMA O FUTURO:



UNIMOS O CONHECIMENTO EM CIMENTO E CONCRETO DOS NOSSOS EXPERTS COM A TECNOLOGIA E INOVAÇÃO POR UM OBJETIVO MAIOR:

TRANSFORMAR AINDA MAIS O FUTURO.







Jubileu de Ouro CONGRESSO **BRASILEIRO** DO CONCRETO 2022



11 A 14 DE OUTUBRO BRASÍLIA - CICB - Centro de Convenções

cieronco ob ebsbilidsineieuc em Deiesa do Planeta

EVENTOS PARALELOS

- 1 Seminário sobre Infraestrutura Coord. Eng. Hugo Armelin
- Seminário sobre Sustentabilidade Coord. Eng. Carlos Massucato
- Seminário: Il Simpósio Brasileiro Punção em Estruturas de Concreto Coord. Eng. Leandro Trautwein
- Seminário: UHPC Coord, Eng. Roberto Christ
- Seminário Sessão Corujão Coord. Geol. Claudio Sbrighi
- Seminário sobre Novas Tecnologias Coordenador Eng. Rafael Timerman
- 7 Seminário sobre Piso Industrial Coord. Eng. Levon H. Hovaghimian
- Seminário sobre Durabilidade Coord. Eng. Enio Pazini
- Seminário sobre Pré-fabricados Coord. Enga Iria Doniak
- 10 Seminário sobre Pavimentos de Concreto Coord. Eng. José Tadeu Balbo
- 11 Seminário sobre Temas controversos Coord. Eng. Bernardo Tutikian
- 12 Seminário sobre Edifícios Altos Coord. Eng. Douglas Couto
- 13 Seminário Estanqueidade das Estruturas Coord. Eng. Miguel Morgado
- 14 Seminário Saneamento Coord. Eng. Vinícius Caruso

PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO (Centro Internacional de Convenções do Brasil - www.cicb.com.br)

Espaços de exposição na XVII FEIBRACON -Feira Brasileira da Construção em Concreto.

Oportunidades para estreitar relacionamentos com aproximadamente 1000 congressistas e mais de 5 mil visitantes.

Associe sua marca com grupo de empresas comprometidas com a qualidade na construção e a sustentabilidade do setor.

CONTATO

Arlene Lima

Telefone: (11) 3735-0202 e-mail: arlene@ibracon.org.br



Mais informações:



www.ibracon.org.br



f ibraconOffice



office@ibracon.org.br



ibraconOffice