

CONCRETO

& Construções

Ano L
108
OUT-DEZ | 2022
ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



CONCRETOS SECOS

**ESTUDOS DE DOSAGEM,
USO DE FIBRAS E CUIDADOS
EXECUTIVOS PARA DIFERENTES
APLICAÇÕES DOS CONCRETOS
DE CONSISTÊNCIA SECA**

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

COBERTURA DA EDIÇÃO
JUBILEU DE OURO DO MAIOR
EVENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO
DO CONCRETO

ENTENDENDO O CONCRETO

MÉTODOS DE TRANSPORTE
DE CLORETOS EM CONCRETO

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

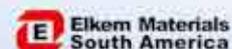
CARLOS ALBERTO TAUIL:
DESENVOLVENDO A
ALVENARIA ESTRUTURAL

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

ADITIVOS



ADIÇÕES



ARMADURA



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



EQUIPAMENTOS



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



FEUC

ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

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

CONTROLE TECNOLÓGICO



PRÉ-FABRICADOS



Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

CONCRETO



FÓRMAS



CONSTRUTORAS



CIMENTO



GOVERNO



EVENTOS



EPÍDIO CONCRETESHOW
A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETOS PARA A CONSTRUÇÃO

TUBOS E CONEXÕES



SUMÁRIO

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – JUBILEU DE OURO

18 Congresso Brasileiro do Concreto retoma atividades presenciais com forte participação de especialistas internacionais e da comunidade técnica nacional



23 Congresso discute soluções tecnológicas para reduzir emissões de carbono de estruturas de concreto

29 IBRACON premia profissionais e entrega títulos na abertura do Congresso

39 Lançamentos editoriais no Congresso Brasileiro do Concreto

42 Prêmio Maria Alba Cincotto é conferido ao artigo do ano do Congresso

44 Concursos retomados presencialmente motivam e integram estudantes

ENTENDENDO O CONCRETO

49 Concretos de consistência seca – conceitos, aplicações e cuidados executivos

53 Métodos de transporte de cloretos em concreto – uma análise crítica e comparativa

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

61 Desenvolvimento de modelo matemático para determinação do consumo de água de concretos secos

68 Efeito de diferentes granulometrias normativas na resistência mecânica de concretos compactados com rolo para pavimentação



76 Dosagem de *pavers* de concreto permeável com agregado reciclado misto

81 Proposta para determinação do tempo de resistência ao fogo em alvenaria estrutural quanto à isolamento térmica

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

87 Tendências para o uso de fibras no reforço estrutural de tubos de concreto

OBRAS EMBLEMÁTICAS

92 CCR e sua contribuição para energia renovável sustentável – aplicação na UHE Serra do Facão



CRÉDITOS DE CAPA

PREDIO RESIDENCIAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL NO BAIRRO DO JAGUARÉ, EM SÃO PAULO. CONSTRUTORA PDG. TAUIL, 2014.

Seções

- 5** EDITORIAL
- 7** COLUNA INSTITUCIONAL
- 8** CONVERSE COM O IBRACON
- 10** ENCONTROS E NOTÍCIAS
- 13** PERSONALIDADE ENTREVISTADA: CARLOS ALBERTO TAUIL
- 60** ENTIDADES DA CADEIA
- 98** ACONTECE NAS REGIONAIS



REVISTA OFICIAL DO IBRACON

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

ISSN 1809-7197

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

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luis 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 Pereira
gill@elementto-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 e editores.



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

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

DIRETOR PRESIDENTE
Paulo Helene

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE
Julio Timerman

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE
Enio Pazini

DIRETOR 1º SECRETÁRIO
Cláudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º SECRETÁRIO
Carlos Massucato

DIRETOR 1º TESOUREIRO
Julio Timerman

DIRETOR 2º TESOUREIRO
Hugo Armelin

DIRETOR DE MARKETING
Alexandre Brites

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES
Guilherme Parsekian

DIRETOR DE EVENTOS
Rafael Timerman

DIRETOR TÉCNICO
Carlos Brites

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS
Cesar Henrique Daher

DIRETORA DE CURSOS
Jéssika Pacheco

DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS
Jéssica Andrade

DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL
Adriano Damásio

DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
Bernardo Tutikian

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 Mididieri 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)
- Íria Lícia Oliva Doniak (industrialização da construção)
- Lydio dos Santos B. de Mello (normalização técnica)
- Maurício Linn Bianchi (sistemas construtivos)

- Oswaldo Cascudo (concreto e durabilidade)
- Paulo Helene (concreto e estruturas)
- Pedro Teodoro França (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)
- Andrielli Moraes de Oliveira (Universidade Federal de Goiás)
- 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)
- Fernanda G. da Silva Ferreira (Universidade Fed. de S. Carlos)
- Gibson Rocha Meira (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba)
- Gláucia Maria Dalfré (Universidade Fed. 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)
- Rodrigo de Melo Lameiras (Universidade de Brasília)
- Selmo Kuperman (Deseq)
- Sérgio H. Pialarissi Cavalario (Loughborough University)

Caro leitor,

Ecoeficiência dos concretos e durabilidade das estruturas



Oswaldo Cascudo,
Presidente do Comitê
Editorial

Em plena era da sustentabilidade aplicada aos processos e sistemas do setor produtivo, meta “irrevogável” da sociedade contemporânea, o IBRACON não se omite em face desse valor premente, item pragmático da “ordem do dia” de setores da engenharia (como a cadeia do concreto, por exemplo). Ações como a consolidação do CT-101 (Comitê Técnico IBRACON/ABCIC/ABECE), dentre várias outras, destacam a preocupação do IBRACON com o tema, o que ajuda

a fortalecer uma nova ordem de pensamento que deve pautar doravante o Setor da Construção Civil brasileira, a saber: o desenvolvimento sustentável deve ser uma premissa a ser buscada e garantida pelos setores produtivos da sociedade, o que inclui esforços e mobilizações importantes da cadeia do concreto. O CT-101, especificamente, entende a sustentabilidade como um valor fundamental, a ser incorporado dentro de uma perspectiva holística. Seu *modus operandi* prevê esforços na sistematização de informações e na produção de documentos e ferramentas voltados à cadeia produtiva do concreto e à sociedade em geral, com o firme propósito de agregar valor no campo da sustentabilidade.

O desenvolvimento tomado com bases sustentáveis, com o máximo de “respeito” socioambiental, representa, portanto, um caminho sem volta para a nossa engenharia. A Revista CONCRETO & Construções (C&C) e o próprio IBRACON, caminhando na vanguarda do conhecimento e das ações sustentadas nessa vertente, têm reconhecido e fomentado a sustentabilidade como um conceito transversal a fazer parte de todas as etapas executivas da estrutura de concreto, desde a produção e processamento dos insumos básicos do concreto (cimento, agregados, aditivos e adições minerais), passando pela concepção e projeto da estrutura, especificação e dosagem dos concretos, execução da obra e, finalmente, pelo uso racional do produto concebido, com as devidas ações de manutenção preventiva e corretiva.

É conhecido o impacto que insumos da construção exercem

na emissão de gases à base de carbono ao ambiente, podendo-se destacar o aço como um grande emissor. No contexto estrito do concreto, tem-se o cimento Portland como um importante agente.

Tomando-se como base o cimento e considerando dados mundiais, o cimento é fonte de aproximadamente 5% das emissões mundiais de CO₂, segundo informações do *World Business Council for Sustainable Development - WBCSD*. O Brasil, todavia, apresenta uma situação bastante favorável, com uma das mais baixas taxas de utilização de clínquer no mundo, o que resulta em uma menor emissão de carbono associada ao cimento quando comparada à média internacional – algo em torno de 2,6% (Fonte: [https://agencia.fapesp.br – notícia de 27/06/2016](https://agencia.fapesp.br—noticia-de-27/06/2016)). Apesar disso, os desafios continuam sendo muito grandes, especialmente por ainda ecoar uma máxima ouvida por muitos anos, de que para cada tonelada de clínquer produzido há a geração de 1 tonelada de CO₂. Dentro desse contexto, estudos e pesquisas com o cimento LC³, além da revisão da nova norma de cimento (a ABNT NBR 16697: 2018) – que permitiu a incorporação de maiores teores de adições – têm encontrado um espaço vivo dentro do IBRACON, sem falar da atuação histórica do Instituto nas linhas da eficiência dos concretos e da durabilidade das estruturas de concreto.

O conceito de eficiência é muito relevante, pois expressa racionalidade. Concretos que atendam aos f_{cks} e às exigências reológicas com menores consumos de cimento são desejáveis, uma vez que representam desempenhos potenciais superiores em relação aos processos de retração e fissuração (menores retrações química, por secagem e térmica – por calor de hidratação), além do que implicam em menor consumo energético global e menor custo associado à produção. Quando se vincula tudo isso às emissões diretas de CO₂ tem-se, na eficiência dos concretos, uma sintonia direta com a sustentabilidade. O desafio atual é avançar para a ecoeficiência dos concretos, na medida do emprego de cimentos com clínqueres superiores (quimicamente ativados), os quais propiciarão a dosagem de concretos com menores consumos de cimento; e consoante o emprego de adições minerais (cimentantes ou pozolânicas, entre outras), as quais sabidamente agregarão valor nas propriedades e no desempenho dos concretos, mas, também, contribuirão no sentido da redução dos consumos de cimento e no aproveitamento de passivos ambientais (no campo dos subprodutos industriais). Esta é uma tendência mundial que certamente se tornará real nos concretos do futuro, possibilitando que um raciocínio lógico possa ser aplicável ao

“produto concreto”, qual seja, o de ser concebido em termos dos seus teores de carbono efetivamente emitidos ao ambiente.

Sobre as questões de durabilidade do concreto e do desempenho quanto ao risco de corrosão das armaduras, e como isso se relaciona com a sustentabilidade, cabe um comentário importante para finalizar. O alcance da durabilidade, cuja métrica se verifica com o efetivo cumprimento da vida útil, envolve múltiplas ações como, por exemplo, a inserção de uma abordagem baseada em desempenho aplicável tanto ao projeto quanto à especificação e dosagem dos concretos. Isto, de forma inequívoca, levará a mobilizações no sentido do “projeto de durabilidade”.

Em todo este contexto complexo e desafiador da durabilidade, é preciso destacar as ações importantes do IBRACON, por meio do CT-702 (Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT - Durabilidade do Concreto), que recentemente produziu 5 práticas recomendadas com conteúdo atual e contributivo sobre o tema. Essa matéria da durabilidade deve ser uma das prioridades do setor (e muitas vezes não é). Nas obras em geral, notadamente nas obras públicas, percebe-se uma omissão dos agentes públicos e de fiscalização no sentido de bem pautar a questão.

A abordagem deve ser sistêmica e todos têm um papel, incluindo a área de ensino (a academia), que deve primar pela conscientização e boa formação dos engenheiros;

assim como a área de pesquisa, que deve retroalimentar o setor produtivo com novos conhecimentos e com ativos tecnológicos. Os construtores e os tecnólogos de concreto, por sua vez, precisam estar suficientemente sensibilizados sobre a temática da durabilidade, pois eles são “peças-chaves” da cadeia. Em muitas das situações nacionais, durabilidade não é prioridade entre os construtores e, tampouco, no seio das empresas de serviços de concretagem, o que gera dissonância nesse desafio de incorporar longevidade aos sistemas estruturais em concreto. Tem-se aqui, portanto, uma grande oportunidade de “virada de jogo”, dado o alto grau socioambiental deste tema, na qual o IBRACON e a Revista C&C podem ser vetores importantes.

Com efeito, as estruturas de concreto se destinam a usuários (sejam nas obras de arte, de infraestrutura ou de edificações), cujas exigências e níveis de satisfação devem ser atendidos.

Complementarmente, importa ser crível a máxima de que não há sustentabilidade sem durabilidade, razão pela qual este binômio caminha junto em todos os códigos e normas de desempenho mundo afora. Um mundo sustentável é, sobretudo, um mundo no qual a durabilidade e a vida útil dos sistemas são garantidas.

OSWALDO CASCUDO
PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL
PROF. TITULAR UFG



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.

AQUISIÇÃO

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



Programa de **Certificação** de **Pessoal do IBRACON**



Adriano Damasio Soterio,
Diretor de Certificação de
Pessoal – NQCP/IBRACON

No ano de 2006, o IBRACON deu início nas atividades de certificação de pessoal, com foco a atender a demanda na cadeia da construção civil, que estava em busca de profissionais treinados e certificados na área de tecnologia do concreto em nosso país, especificamente para desempenhar funções

na área de controle tecnológico do concreto.

Acreditado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) até 2017, o programa certificou no período 308 profissionais, sendo 130 tecnologistas, 56 laboratoristas, 14 auxiliares e 108 inspetores, em vários estados brasileiros, além de recertificar 157 profissionais.

Em 2019, a Direção de Certificação de Pessoal do IBRACON firmou o convênio administrativo com a GLOBAL PCS, proporcionando grandes melhorias nos processos administrativos do programa de certificação, vindo a proporcionar aos candidatos maior segurança e transparência aos exames realizados, sendo que as atividades da GLOBAL são demandadas pelo NQCP (Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal) juntamente com os Conselheiros.

Com as novas atualizações que estão sendo realizadas

e criadas no Programa, estamos aumentando as áreas de atuação, atualmente com certificações nas áreas de Tecnologia do Concreto, Pavimento Rígido e Inspeção em Estruturas de Concreto (com ênfase em OAE – Obras de Artes Especiais).

Uma das grandes preocupações do NQCP é podermos reduzir custos para os candidatos e com isso podermos levar certificações ao maior número de profissionais possíveis, para isso, trabalhamos no ano de 2022 com foco na qualificação de novos laboratórios para realização de exames práticos em tecnologia do concreto, onde atualmente contamos com a colaboração dos laboratórios: ALPHAGEOS (São Paulo), QUALIFY (Santa Catarina), SENAI-GO (Goiás) e TECOMAT (Pernambuco). Com o convênio da GLOBAL, possibilitamos aos candidatos a realização de exames online ao vivo que podem ser realizados sem custos adicionais de viagens ou hospedagem possibilitando grandes reduções de custos aos candidatos.

Atuar na Direção de Certificação de Pessoal é, sem dúvida, uma grande responsabilidade para com a cadeia da construção civil do nosso país, por isso estamos sempre trabalhando fortemente para ampliarmos e inovarmos nossos processos de exames e certificações, com maior amplitude em nossos serviços, podendo proporcionar a oportunidade de qualificação e certificação de profissionais.

MSc. Eng. ADRIANO DAMASIO SOTERIO

DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL – NQCP/IBRACON

PERGUNTAS TÉCNICAS

A DISCUSSÃO DESSE TÓPICO GIRA EM TORNO DA DURABILIDADE E CAA. A NORMA NOS DIZ QUE, PARA A CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL NA QUAL SE ENQUADRA O RESERVATÓRIO, PRECISAMOS DE UM CONCRETO C40 PARA GARANTIR A DURABILIDADE. MINHA PERGUNTA É SE ESSA GARANTIA DE DURABILIDADE NÃO É MAIS RELACIONADA AO FATOR A/C DO QUE A RESISTÊNCIA EM SI DO CONCRETO À COMPRESSÃO? PERGUNTO ISSO, POIS SEMPRE ACHEI QUE A DURABILIDADE ESTAVA RELACIONADA AO GRAU DE POROSIDADE DO CONCRETO. CONCRETOS MUITO POROSOS TEM MENOR DURABILIDADE. NO MEU ENTENDIMENTO A POROSIDADE TEM MAIS CORRELAÇÃO COM O FATOR A/C DO QUE FCK. ESTÁ CORRETA ESTA AFIRMAÇÃO? NÃO PODERIA, POR EXEMPLO, USAR UMA RESISTÊNCIA BAIXA À COMPRESSÃO E UM FATOR A/C TAMBÉM BAIXO QUE GARANTAM UMA BAIXA POROSIDADE E CONSEQUENTEMENTE UMA GRANDE DURABILIDADE?

Eng. Mauer Egas
CURITIBA, PARANÁ

Tanto a ABNT NBR 6118 quanto a NBR 12655 e a NBR 15575, não são normas de Durabilidade. Tocam o tema no fundamental, mas são essencialmente normas de Projeto Estrutural, Dosagem e Controle de Concretos Estruturais e de Desempenho de Edifícios Habitacionais. Então precisam falar uma linguagem acessível, prática, simplificada e, portanto, em princípio, conservadora, ou seja, deveriam exigir por excesso. Quem desejar otimizar, teria de fazer um estudo, uma pesquisa, ensaios, normalmente prescritos numa norma de Durabilidade. Infelizmente, no Brasil ainda não temos uma norma de Durabilidade do Concreto, pois esta requer ensaios do

tipo: potencial de corrosão, corrente de corrosão, perfil de cloretos, profundidade de carbonatação, difusividade de íons cloreto, difusividade e permeabilidade de CO₂ e de O₂, determinação físico-química do grau de hidratação que permita determinar a relação confiável de Cl-/OH-, ensaio de resistividade superficial e massiva, teor de sulfatos, sensibilidade à DEF etc.

O IBRACON tem 3 Comitês Técnicos trabalhando arduamente nesses temas que são o suporte tecnológico de uma norma de Durabilidade, que só teremos lá no futuro. Até agora somente o CT de reação AAR (*alkali-aggregate reaction*) conseguiu finalizar e fazer uma norma NBR exemplar, a ABNT NBR 15577. Quando conseguirmos ter disponíveis os vários métodos padronizados de ensaio (acelerados, de controle para obras em andamento e de análise de estrutura acabada), então a durabilidade vai ser especificada de uma maneira direta, por exemplo: No caso de reservatório de água potável tratada, o concreto deverá apresentar aos 63 dias de idade os seguintes parâmetros característicos (5% inferior): profundidade de carbonatação máxima de acordo com o método XXX < 3mm; profundidade de penetração de cloreto na concentração de 0,4% de acordo com o método YYY < 5mm; e assim por diante.

Até chegarmos lá, teremos de fazer como sempre fizemos há mais de 110 anos desde as primeiras normas europeias e americanas de concreto (1906 a 1910), ou seja, de forma indireta.

Prescrever ou especificar de forma indireta é, ao invés de exigir carbonatação máxima de 5 mm, exigimos cobrimento mínimo ou nominal de 40 mm. Ao invés de exigir resistividade mínima de 5 ohms, especificamos $f_{ck} > 40$ MPa. Ao invés de exigir penetração de cloreto máxima de 7 mm de acordo com método ZZZ, especificamos consumo mínimo de 300 kg de cimento ou relação a/c máxima de 0,45. Compreende? Fazemos tudo

de forma indireta porque ainda não temos métodos de ensaio normalizados e consagrados. Sobre sua última pergunta, muito pertinente também, de que a relação a/c é mais importante que f_{ck} , eu concordo em gênero, número e grau. Todas as pesquisas sérias e bem realizadas demonstram que as propriedades de durabilidade dependem mais da relação a/c e do tipo de cimento e de adições, que propriamente do f_{ck} . Então você tem razão, conceitualmente falando, mas pragmaticamente como você controla relação a/c de um concreto entregue na obra?

Esse é o problema. Não adianta prescrever ou especificar relação a/c, pois não existe laboratório no Brasil nem método de ensaio para medir e controlar essa relação a/c. Nem no Brasil nem no exterior. Então especificar relação a/c é o correto do ponto de vista da tecnologia do concreto, digamos, cientificamente, mas na prática é uma utopia! Finalmente, como o f_{ck} é explicado em 95% pela relação a/c, já dizia Duff Abrams em 1918, a gente, de novo, faz as coisas indiretamente, ou seja, sabemos que $f_{ck} = 40$ MPa só é conseguido com relação a/c baixa, então a gente especifica f_{ck} porque este tem método de ensaio para medir e controlar.

PAULO HELENE
DIRETOR PRESIDENTE

É POSSÍVEL RELAXAR NA QUALIDADE DO CONCRETO QUANDO JÁ SABEMOS QUE ESTE SERÁ IMPERMEABILIZADO COM ARGAMASSA DE AREIA, CIMENTO E VEDACIT?

Eng. Diego Durán Durán
BOA VISTA, RORAIMA

Com todo respeito, observo que as prescrições da ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655, no que diz respeito às estruturas de concreto simples, armado e protendido, devem ser obedecidas sempre, sejam ou não revestidas as estruturas. Esse conceito é muito importante

e vale para fachadas, coberturas, reservatórios d'água, galerias de esgoto, garagens, pontes, viadutos, marquises etc., sejam revestidas ou não. É óbvio que o bom senso nos diz que uma estrutura revestida estará, em princípio, mais protegida do meio ambiente e falsamente nos dá a impressão de que poderíamos relaxar. Nunca!

Pois a maioria dos revestimentos têm uma vida útil de 4 anos a 15 anos, no máximo.

Mas a estrutura deve ter VUP de 50 anos a 75 anos, às vezes 100 anos. Então não dá para contar com os revestimentos.

Que eu saiba nenhuma norma importante de concreto no mundo permite relaxar.

Todas permitem "acrescentar", mas relaxar não.

É óbvio que um sistema multibarreira é mais eficiente que um sistema único. Mas... o seguro morreu de velho... e é assim que nós queremos que as estruturas de concreto durem.

PAULO HELENE
DIRETOR PRESIDENTE

**EM LAJES SUJEITAS À
SUBPRESSÃO, SE A CONTENÇÃO
DO SUBSOLO FOR EXECUTADA
EM ESTACAS ESCAVADAS,
JUSTAPOSTAS, COMO FAZER A
LIGAÇÃO DA LAJE DE SUBPRESSÃO
COM ESSE TIPO DE CONTENÇÃO?**

Eng. Marcos Carnaúba
Maceió, Alagoas

O concreto é um material de muito baixa permeabilidade e pode ser considerado, a partir de 20 MPa, como um material "impermeável" à água e líquidos não agressivos, sempre que as espessuras de laje e paredes superem 10 cm. O conceito pragmático de material impermeável (de baixa permeabilidade) é relacionado ao conforto psicológico, ou seja, se os usuários não veem o vapor de água sair pela superfície "seca" ou se a superfície "seca" não se mostra molhada, então o leigo crê e define como material "impermeável". Assim são a maioria

dos reservatórios de água expostos ao meio ambiente. A água está constantemente permeando pelos poros do concreto e evaporando na superfície que se mostra "aparente ou visualmente" seca.

Se essa superfície for pintada com cal ou hidrofugante, ela manterá os poros abertos, passando o vapor de água e tudo vai bem. Se pintar essa superfície exposta com tintas formadoras de filmes epóxi, poliuretano, látex acrílico, então vai dar problema, vai formar bolhas de água detrás da película e o usuário vai dizer que o concreto não é impermeável. É a eterna diferença entre material de baixa permeabilidade ou impermeável e estrutura estanque. O difícil é conseguir estrutura estanque porque as juntas de concretagem, as bicheiras, as segregações, as fissuras, retraem, deformam, mesmo que use um material bom e "impermeável". Por isso, no nosso trabalho sempre damos muita atenção ao procedimento executivo e ao acompanhamento das obras. Não há nada como os bons olhos e afiados dentes de um Pitbull ou Rottweiler (k,k,k,k). Escolher e dosar o concreto é mais fácil porque é a "gente" que faz, mas executar bem é uma luta, quase corporal com colegas gerentes e construtores pouco esclarecidos e omissos, e com empreiteiros que não querem saber de nada mais que produção. Claro que dimensionar as peças fletidas (lajes e vigas) para wk, ou abertura característica de fissura igual ou menor que 0,1 mm, é fundamental! A falta de rigidez de certos reservatórios de água e de lajes de subpressão, projetados por colegas pouco experientes que se assustam com as elevadas, mas necessárias, taxas de armadura de uma parede ou laje com wk = 0,1 mm é o pior dos cenários. O construtor não entende porque deve aumentar o consumo de aço de 60 kg/m³ para 180 kg/m³. Depois passa a vida inteira remendando. Finalmente, vale observar que por m² ou m³, o mais barato, sempre, é

o concreto armado ou protendido mesmo com o dobro do consumo de aço e de cimento. Impermeabilizar um reservatório de água ou ETE ou ETA custa o preço de fazer uma obra inteira novinha, ou seja, não impermeabilizar significa sobrar grana para fazer um reservatório novo de graça.

PAULO HELENE
DIRETOR PRESIDENTE

**JÁ EXISTE ALGUMA
NORMA BRASILEIRA PARA
DIMENSIONAMENTO E APLICAÇÃO
DE SISTEMAS DE REFORÇO DE
POLÍMEROS REFORÇADOS COM
FIBRAS (FRPs) EM ELEMENTOS
ESTRUTURAIS DE CONCRETO
ARMADO?**

Marcelo Pereira
Solitex Engenharia

O Comitê Técnico CT303 IBRACON/ ABECE, que trata de Materiais não Convencionais para Reforço do Concreto e Estruturas, tem trabalhado nesses últimos dois anos com a contribuição de vários especialistas no assunto e está finalizando uma Prática Recomendada sobre o assunto e deverá publicá-la no primeiro semestre de 2023. Nela serão tratados aspectos sobre os vários sistemas de reforços do ponto de vista de projeto e controle da qualidade.

O objetivo é disponibilizar ao meio técnico um primeiro documento organizado sobre Reforço de Elementos Estruturais com Sistemas de Polímeros Reforçados com Fibras aplicados externamente para se ter uma base comum, visando a uma futura Normalização sobre o assunto. Nossa expectativa é que tenhamos um amadurecimento dessa discussão por meio de um workshop no ano de 2023 e na sequência a instalação da Comissão de Estudos da ABNT para formalização de Norma Brasileira sobre o assunto.

MARCO CÁRNIO
COORDENADOR DO CT 303
IBRACON/ABECE

Coletânea de Obras Brasileiras – Pré-Moldados de Concreto

A Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto – ABCIC lançou a 2ª edição da Coletânea de Obras Brasileiras – Pré-Moldados de Concreto, que reúne 90 obras nesse sistema construtivo, ressaltando sua versatilidade e amplitude das tipologias construtivas.

Com 180 páginas, o livro conta com descritivo e informações técnicas das obras em diversos segmentos – infraestrutura, edificações de múltiplos pavimentos, edifícios garagem, empresarial e institucional, equipamentos esportivos, shopping centers e centros comerciais, concessionárias e galpões logísticos, indústrias e agronegócio.

O primeiro capítulo conta a



história do Prêmio Obra em Pré-Fabricados de Concreto, que completou 10 anos em 2021, trazendo as obras vencedoras, menções honrosas e destaques do júri.

A premiação apresenta o estado da arte em construções com o sistema construtivo e é um tributo às indústrias, aos projetistas de estruturas e aos arquitetos que utilizam o sistema de pré-moldados de concreto.

O segundo capítulo concentra 45 obras com aspectos singulares para o setor e o terceiro capítulo retrata os 20 anos da ABCIC.

O lançamento ocorreu em 18 de outubro, no espaço APESP, e contou com pronunciamentos do presidente da fib, Akio Kasuga, e do presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene.

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.

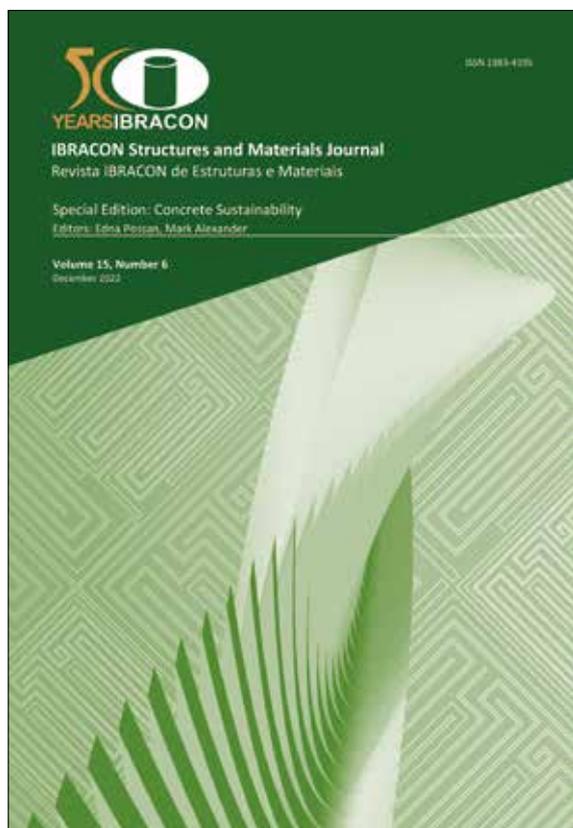


PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R\$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R\$ 550,00

Patrocínio



Adquira o seu na
Loja Virtual
do IBRACON:
<http://lojaibracon.org.br>



Edição Especial do IBRACON Journal em Sustentabilidade do Concreto

O periódico científico *IBRACON Structures and Materials Journal* está com uma edição especial temática sobre Concrete Sustainability. A edição contou com o excelente trabalho dos editores convidados, Dra. Edna Possan (Universidade Federal da Integração Latino-Americana) e Dr. Mark Alexander (University of Cape Town, África do Sul). A versão em inglês da Declaração de Sustentabilidade do IBRACON está também disponível na revista científica. Como *keynote-paper* há o

artigo do grupo de pesquisa do Dr. Bruno Briseghella (Fuzhou University, China) intitulado “*The greenway for bridge column rehabilitation: a comparison between different techniques based on multi-criteria decision analysis*”, além de onze outros textos científicos. Esse último número do ano fecha o conjunto de seis edições comemorativas em referência ao Jubileu de Ouro (50 Anos) do Instituto Brasileiro do Concreto. Não deixe de conferir essa e outras edições em ismj.org.



GUIA DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON



COMITÊ TÉCNICO - CT-201
Coordenador: Cláudio Sbrighi Neto
Secretário: Eduardo Brandau Quitete

Guia de Prevenção da Reação Alkali-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 Alkali-Agregado do IBRACON (CT-201)** e seu lançamento segue a recente publicação das sete partes da norma **ABNT NBR 15577 Agregados – Reatividade álcali-agregado**.

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-31-2
Formato: 18,6 x 23,3cm
Páginas: 32

PATROCÍNIO



Aquisição: Acesse a Loja Virtual do IBRACON.

www.ibracon.org.br

RILEM Spring Convention

RILEM Spring Convention Rabat 2023 06-10 march
4th International Congress on Materials & Structural Stability 08-10 march
 Faculty of Science, Mohammed V University in Rabat Morocco



O Congresso Internacional sobre Materiais e Estabilidade Estrutural e a Convenção da RILEM vão ocorrer de 5 a 10 de março de 2023 em Rabat, no Marrocos, na Faculdade de Ciências.

O Congresso focará o tema “Escolhas apropriadas de processos e materiais amigáveis ao meio ambiente para o desempenho ambiental de edificações”, abrangendo um largo escopo de

áreas, tais como: ciência dos materiais, cimento e polímeros, nanotecnologia e nanociência, engenharia civil e construções, simulação computacional, energia e ambiente, estruturas e edificações históricas.

Artigos podem ser submetidos até 15 de janeiro.

Acesse:

<https://www.rsc-cmss23.asmatec.org/keydates.php>

Homenagem póstuma **Waldemar Coelho Hachich**

Nascido em São Paulo em 2 de junho de 1950, Waldemar Hachich formou-se engenheiro civil em 1972 na Escola Politécnica da USP, onde concluiu seu mestrado em Engenharia de Estruturas em 1978. Doutorou-se em Engenharia Geotécnica no MIT – *Massachusetts Institute of Technology* em 1981. Foi professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo na cadeira de Geotecnia, editor da revista *Soils and Rocks* (2013-2016), presidente entre 2001 e 2004 e depois membro do conselho diretor da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, presidente do Comitê Técnico “*Geo-Engineering Education*” da Associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Ainda na ABMS, foi agraciado com o prêmio Manoel Rocha (1991) e o prêmio Terzaghi, agora em 2022.

Ministrou aulas, orientou dissertações e teses, realizou inúmeros trabalhos e prestou consultorias importantes em diversas áreas da Mecânica dos Solos e Fundações.

Ao lado de proeminentes pesquisadores e professores brasileiros, e de diversas partes do mundo, publicou trabalhos



de grande valor científico e tecnológico, abrangendo segurança em obras geotécnicas, propriedades de solos lateríticos, análise tridimensional de tensões em barragens, gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas, controle de recalques/renivelamento de edifícios, fundações sujeitas a esforços dinâmicos, desempenho e segurança de contenções em solo grampeado.

Foi editor e autor de capítulos do livro “Fundações: Teoria e Prática”, publicado

pela Editora Pini em 1996, e que até hoje se constitui em referência no campo da geotecnia e da geologia de engenharia. Atuou junto com proeminentes mestres da engenharia brasileira, como Frederico Falconi, José Luiz Saes, Arthur Quaresma, Dirceu Velloso, Nelson Aoki, Sussumu Niyama, Carlos de Souza Pinto, Cláudio Wolle e outros.

Mas toda a imensa produção técnica do professor foi muito pequena perto das suas qualidades espirituais e humanas. Para nós, que tivemos a graça da sua convivência, destacavam-se outras virtudes:

- ▶ profundidade e rigor técnico com que sempre se dedicou a cada trabalho;
- ▶ amor ao sacerdócio de lecionar, respeito e amizade pelos alunos;
- ▶ extrema humildade, digna de um ser superior;
- ▶ fidelidade aos amigos, exemplar amor pela sua família!

Waldemar Hachich nos deixou em 13 de setembro de 2022. A ele, esta pequena homenagem do IBRACON, nosso imenso respeito e nossa eterna saudade!

ERCIO THOMAZ
 COMITÊ EDITORIAL

Carlos Alberto **Tauil**

Carlos Alberto Tauil se graduou na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo em 1967.

Nos últimos 40 anos, Tauil desempenhou funções e atividades importantes em empresas de componentes de alvenaria estrutural e pré-moldados, tendo participado também da comissão de elaboração das normas de alvenaria estrutural da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Foi presidente da Associação Brasileira da Construção Industrializada, membro do Conselho Técnico da COHAB-SP e, por dez anos, consultor técnico da Bloco Brasil.

É autor de livros sobre alvenaria estrutural e ministrou palestras e cursos sobre o tema.

IBRACON **QUAIS MOTIVAÇÕES E ACONTECIMENTOS O LEVARAM A CURSAR ARQUITETURA E URBANISMO NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO E POSTERIORMENTE SE DEDICAR PROFISSIONALMENTE À INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO RAMO DA HABITAÇÃO?**

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Eu sempre gostei de desenho e matemática. Cheguei a ganhar uma bolsa para estudar o terceiro ano do antigo colegial nos Estados Unidos, onde me empolguei com desenho mecânico. Voltei decidido a fazer arquitetura. Gostava de ver as obras de Brasília ao longo dos anos 1960 e 1970.

Depois de formado, em 1967, numa conversa com o professor João Batista Vilanova Artigas, perguntei sobre a oportunidade de trabalhar numa construtora. Ele falou que iria aprender bastante sobre construção, o que era importante para o arquiteto. Iniciei, então, minha carreira profissional na construtora Ribeiro Franco S/A. Na época, a Ribeiro Franco estava terminando a Assembleia Legislativa de São Paulo. Depois construiu o quartel do Segundo Exército. Ela tinha a experiência construtiva de ter feito vários prédios habitacionais da asa sul de Brasília. Nesta construtora, trabalhei por quase oito meses em orçamento, aprendendo bastante sobre custo da construção porque participávamos de concorrências públicas.

Numa dessas concorrências, pedi para acompanhar a

obra da Cohab em Carapicuíba, com 5.500 unidades habitacionais, divididas entre três construtoras. Acompanhei essa obra com dois engenheiros que decidiram construí-la não no sistema convencional, mas no sistema à época chamado Paris Ouest, um sistema francês, no qual se importavam as fôrmas metálicas para se fazer as paredes de concreto e as pré-lajes com três centímetros – estas eram colocadas sobre as paredes e sobre elas se jogava uma capa de sete centímetros de concreto. Este sistema foi usado para fazer quase noventa prédios para a Cohab de Carapicuíba.

IBRACON **POR QUE VOCÊ RESOLVEU SAIR DA CONSTRUTORA?**

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Estava uma situação política muito difícil. Lembro-me que ao ir para a obra da Cohab era parado no quartel de Quitaúna por causa da fuga do Carlos Lamarca. Tinha que abrir o carro, dizer que era arquiteto da obra ali adiante.

Resolvi com minha esposa e filho pequeno sair do país para respirar um pouco de ar democrático. Fiquei sabendo de uma bolsa de estudos na Holanda, me candidatei e obtive a bolsa paga pelo governo holandês.

Era um curso internacional para engenheiros e arquitetos de diversos países, ministrado por professores oriundos da reconstrução da Europa após a Segunda Guerra Mundial,

“

TRATAVA-SE DE UMA PROPOSTA DE PROJETO DE UM SISTEMA MODULAR ONDE SE VAI ENCAIXANDO COMPONENTES E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE MORADIA, SEGUNDO A NECESSIDADE E A VONTADE DO MORADOR E DA COMUNIDADE

”

críticos dos sistemas pré-moldados prontos, usados para serem montados de forma rápida para a reconstrução das cidades.

Um desses professores — N. J. Habraken — desenvolveu um sistema modular de construção, em relação ao qual eu me empolguei para desenvolver um exemplo típico de aplicação no Brasil, após o término no curso. Solicitei uma extensão da bolsa de seis meses para estudar na Universidade de Eindhoven com o Prof. Habraken e fui atendido. Com isso, desenvolvi o trabalho “Proposta de aplicação de uma metodologia de projeto no processo habitacional brasileiro”. Tratava-se de uma proposta de projeto de um sistema modular onde se vai encaixando componentes e elementos construtivos de moradia, segundo a necessidade e a vontade do morador (espaços internos) e da comunidade (espaços comuns).

Na época, o prefeito Figueiredo Ferraz havia criado a Empresa Municipal de Urbanização — Emurb — para fazer de forma organizada os loteamentos na cidade de São Paulo. Baseado nisto, eu propus meu projeto de sistema modular.

Minha experiência da Cohab dizia que o trabalhador de baixa renda não tinha condições financeiras de adquirir um apartamento. Como ele fazia sua casa? Comprava um lote para pagar em 15 anos e ia construindo aos poucos, mas de forma desorganizada. Minha proposta era que a Emurb entraria nesses loteamentos para organizar os lotes e sua estrutura básica — com uma laje pronta, entrada de água e saída de rede de esgoto, de modo que

o proprietário pudesse construir aos poucos, ampliando os cômodos segundo o projetinho modular fornecido.

IBRACON VOCÊ VOLTOU COM O PROJETO E APRESENTOU PARA ALGUÉM?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Apresentei inicialmente na universidade em Eindhoven e eles enviaram para ONU (Organização das Nações Unidas). Acabou o projeto, eu voltei para o Brasil. Mostrei meu trabalho para o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). Mas, não havia verba para eu continuar desenvolvendo o trabalho no IPT.

Procurei o jornalista Nildo Carlos Oliveira, que fez uma reportagem comigo, mostrando meu projeto de habitação em massa com as casas cada uma de um jeito. Foi publicada na Revista Projeto e Construção de 1972.

Esta reportagem caiu na mão da construtora Zarvos Imóveis, cujo proprietário, Tito Zarvos, me convidou para dar consultoria para seus projetos de prédios de quatro pavimentos.

Nessa época, no conjunto habitacional Central Park Lapa, estavam construindo prédios de quatro pavimentos usando blocos de concreto produzidos por Eugênio de Andrade Martins, que havia importado máquinas dos Estados Unidos para produzir esses blocos. Esses prédios foram projetados por Fuad Jorge Cury e a estrutura de Alvenaria Estrutural calculada por José Luiz Pereira.

Daí eu desenvolvi com o pessoal do escritório Júlio Neves, responsável pelos prédios da Zarvos à época, o projeto modular que chamamos de Caracol, para a construção de prédios no Tatuapé, na Vila Leopoldina, no Jardim da Saúde, na Vila Guilherme etc.

Fiquei na Zarvos três anos acompanhando projeto e construção das obras.



Conjunto Habitacional Central Park Lapa

IBRACON O QUE ACONTECEU EM SEGUIDA?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Fui para a construtora Balbo, que usava o sistema Outnord, uma evolução do sistema Paris Ouest, porque as fôrmas metálicas eram montadas em forma de diedros, o que permitia concretar parede e a laje ao mesmo tempo. Porém, surgiu uma obra onde o Hamilton Balbo, dono da construtora, decidiu também construir um conjunto de prédios acima de quatro andares. Nesta época, 1976, surgiu o convite para trabalhar na Reago, a indústria da Camargo Correa que havia importado,



Edifício na Avenida Rebouças em Alvenaria Estrutural

em 1965, as fôrmas e as máquinas para produzir blocos de concreto para construir as cidades onde foram erguidas as usinas hidrelétricas de Jupia e Ilha Solteira. Eu havia trabalhado no conjunto habitacional de Diadema do Instituto Nacional de Cooperativas Habitacionais — prédios de 12 andares construídos em alvenaria estrutural, que consumiu dois milhões de blocos de concreto. Isto me aproximou da Reago, de modo que o presidente da companhia, Marcos Cavalcanti e Cid Luiz Racca, seu diretor industrial, me procuraram para que desenvolvêssemos tecnicamente o mercado da alvenaria estrutural no Brasil. Aceitei e fiquei na Reago até 1992.

Na Reago, como gerente de desenvolvimento de produto, propus desenvolver normas para a alvenaria estrutural, produzir filmes de treinamento de mestres de obra, dar palestras em escolas e associações, e escrever um livro de como executar na prática os elementos e componentes da alvenaria estrutural, com muitas fotos e desenhos.

Procurei o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) para criar grupos de trabalho para discutir a norma de especificação do bloco de concreto e a norma de ensaio de bloco de concreto. Tive a felicidade de conhecer dois rapazes formados pela Escola Politécnica: Carlos Eduardo Tango e Paulo Helene, que muito contribuíram para as primeiras normas.

Fui então indicado para presidente da Comissão de Estudo das normas de execução de parede de alvenaria estrutural. Convidei profissionais da Cohab, engenheiros de construtoras, de fornecedores de materiais, formei um grupo bem eclético. Todas as discussões que tivemos na época nas mais de 200 reuniões contribuíram muito para fazer avançar a tecnologia da alvenaria estrutural. Em 1989, concluímos as normas relativas à execução. Convidei, então, o engenheiro Nelson Gomes, do IPT, para ser o presidente da Comissão de Estudos das normas de cálculo e dimensionamento da alvenaria estrutural.

IBRACON ALÉM DA NORMALIZAÇÃO, QUAL OUTRO FATOR CONTRIBUIU PARA IMPULSIONAR A ALVENARIA ESTRUTURAL NESTA ÉPOCA?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Numa concorrência da Cohab de Itaquera, as construtoras entraram sem pôr suas ofertas de preço, pois o preço pago por metro quadrado não cobria o custo da construção convencional com pilar, viga, laje e bloco de vedação.

Propus para a Cohab de a Reago fornecer o projeto de alvenaria estrutural, caso eles fizessem cópias para os participantes da licitação. Pagamos aos projetistas Jorge Kurken Kurkdjian e Jorge Zaven Kurkdjian pelo projeto e o entregamos para a Cohab. A construtora Better, que estava numa situação financeira crítica, foi a única que participou da licitação, com o valor estipulado pela Cohab. Construíram inicialmente mil unidades da Cohab Itaquera. Chegaram a construir 14 mil unidades com o sistema de alvenaria estrutural. Não perdiam uma concorrência pública!

A proposta inicial do projeto da Reago era utilizar o bloco de concreto e uma laje pré-moldada. Mas, a empresa fornecedora da laje pré-moldada, de Jundiaí, não

“

TODAS AS DISCUSSÕES QUE TIVEMOS NA ÉPOCA NAS MAIS DE 200 REUNIÕES CONTRIBUÍRAM MUITO PARA FAZER AVANÇAR A TECNOLOGIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL. EM 1989, CONCLUÍMOS AS NORMAS RELATIVAS À EXECUÇÃO

”

“

APRENDEMOS, POR EXEMPLO, QUE NÃO SE DEVE FAZER UMA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL LONGA, SEM UMA JUNTA DE DILATAÇÃO, POIS ISTO CRIA O RISCO DE SURTIREM FISSURAS POR EXPANSÃO E RETRAÇÃO TÉRMICA

”

tinha porte para acompanhar o crescimento do setor. Então, a Better começou a usar laje maciça moldada “*in loco*” nos prédios.

A ironia foi que quem acabou fornecendo os blocos de concreto para a Better nas obras da Cohab de Itaquera foi a Concretex, que, quatro anos antes, havia importado máquinas dos Estados Unidos de blocos de concreto.

IBRACON QUAIS OUTROS FATORES? QUAIS OS PERCALÇOS?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Em 1986, como presidente da Associação Brasileira da Construção Industrializada, resolvi editar um manual da alvenaria estrutural. Convidei dez especialistas das áreas de arquitetura, racionalização, assentamento, patologia, conforto ambiental etc. Eu coordenei a produção do manual. Os professores começaram a adotá-lo nos cursos para ensinar alvenaria estrutural, independentemente do tipo de bloco — concreto, cerâmico ou silício-calcário. Em suma: o custo menor do sistema da alvenaria estrutural, como exemplifiquei com a Cohab de Itaquera; a maior produtividade, qualidade e versatilidade do sistema à medida que a tecnologia foi sendo melhor conhecida e desenvolvida, com as normas técnicas, os treinamentos, os livros e os manuais.

Aprendemos, por exemplo, que não se deve fazer uma parede de alvenaria estrutural longa, sem uma junta de dilatação, pois isto criava o risco de surgirem fissuras por expansão e retração térmica. Outro aprendizado foi que a espessura dos blocos comportava determinada altura de parede, acima da qual a parede flambava.

IBRACON COMO ERA A RELAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL COM OS OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Em 1986, a Reago fornecia pedra britada, blocos de concreto e estruturas pré-moldadas, como lajes alveolares, pilares, vigas e escadas pré-moldadas. Apesar da estrutura pré-moldada ser mais cara que a alvenaria estrutural, ela permitia mais margem de lucro para a empresa, pois atendia a outro segmento de mercado — o segmento de escolas, hospitais, faculdades, prédios comerciais. Por isso, em 1992, a Reago resolveu parar de fabricar blocos de concreto, porque a margem de lucro não justificava a renovação das máquinas para os anos 1990. Resolvi sair da Reago e fui para a Glasser, que havia comprado a Concretex, para desenvolver os blocos e pisos de concreto na empresa. Fiquei na Glasser mais 18 anos, contribuindo

para o desenvolvimento do sistema da alvenaria estrutural para prédios cada vez mais altos.

IBRACON A CRIAÇÃO DA BLOCO BRASIL FOI IMPORTANTE TAMBÉM PARA O DESENVOLVIMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL NO PAÍS?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | No começo dos anos 2000, surgiu uma associação que reuniu as empresas de blocos no Sul do Brasil para melhorar a qualidade e desempenho dos blocos — a Bloco Sul.

Depois a associação se expandiu reunindo produtores de blocos de todo Brasil. Foi criado um programa de conformidade para os blocos, que usava os laboratórios da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), para fazer os ensaios. Quando sai da Glasser, fui convidado para dar consultoria técnica na Associação Bloco Brasil.

Com a publicação da norma de



Assentamento de pisos intertravados de 16 faces



Paver 16 faces

desempenho, em 2013, a Bloco Brasil iniciou no ano seguinte o programa de ensaios necessários para atender aos requisitos da norma. Finalizado esse programa em 2020, publicamos o manual com os ensaios para atender a norma ABNT NBR 15575.

Nos últimos anos, quem tem ajudado muito na atualização e revisão das normas de alvenaria é o professor Guilherme Parsekian, da Universidade Federal de São Carlos.

IBRACON E QUANTO À INTRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS PAVERS DE CONCRETO?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Em 1979, na Reago, nós desenvolvemos o Reapave, um piso de 16 faces, para competir com o bloquete, um piso hexagonal de origem alemã. Esses *pavers* eram produzidos com uma máquina importada do Japão, originalmente concebida para produzir os dormentes da linha do trem-bala Tóquio-Osaka. A máquina não aguentou produzir 23 mil metros quadrados de piso para uma obra da Febem do Tatuapé (atual Fundação Casa).

Já, a máquina Colúmbia da Glasser era bem adaptada para produzir *pavers*, tanto que eram mais conhecidos pela qualidade de seus pisos, não de seus blocos de concreto. Isto me atraiu na época para ir trabalhar na empresa e desenvolver um projeto para fazê-la conhecida em produzir bloco de concreto de alta resistência.

IBRACON EM RELAÇÃO AO EXTERIOR, OS BLOCOS DE CONCRETO BRASILEIROS TÊM BOM DESEMPENHO?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Em bloco estrutural, o Brasil dá de 10 x 0, com nossos edifícios em alvenaria estrutural de 25 andares. Os americanos usam mais blocos de largura 19 cm e aqui usamos mais blocos de 14 cm. Resolvemos a questão acústica com blocos com duas divisões ou com espessura mínima de revestimento de argamassa ou com argamassa acústica. Mas, não se constrói tanto no mundo como se faz prédios em alvenaria estrutural em São Paulo porque no exterior a maioria dos edifícios em alvenaria estrutural são baixos, a exceção são os Estados Unidos, que chegaram a 28 andares com o hotel Escalibur, em Las Vegas. Este edifício é feito de blocos de alvenaria aparente, com espessura de 25 cm na base e 20 cm no topo. Para evitar umidade na parte interna, usa-se *dry wall* separado do bloco, garantindo que a umidade não passe para o ambiente interno. O *dry wall* veio em 1993 para o Brasil para possibilitar mais modularidade aos ambientes internos do imóvel. Assim, no projeto tornou-se possível definir quais paredes são estruturais e quais são de vedação. Portanto, é mito dizer que em alvenaria estrutural as paredes não podem ser derrubadas. Num dos conjuntos da Cohab da Cidade Tiradentes, os prédios foram construídos com alvenaria estrutural e lajes protendidas vencendo vão de 7 metros, sendo as paredes internas com blocos de vedação de 9 cm, que podem ser retiradas sem problemas numa eventual reforma.

IBRACON A ALVENARIA ESTRUTURAL É ENSINADA NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA DO BRASIL?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Sim, em várias faculdades do país. O Guilherme Parsekian ensina no Universidade Federal de São Carlos. O Márcio Correa e o Márcio Ramalho na Escola de Engenharia de São Carlos. O Luis Sérgio Franco na Escola Politécnica da USP. As faculdades dão uma introdução tanto de cálculo quanto de construção. Para se aprimorar, é preciso ler as normas e entrar num escritório de projetos que trabalha com alvenaria estrutural.

IBRACON O QUE VOCÊ FAZ NO SEU TEMPO LIVRE?

| **CARLOS ALBERTO TAUIL** | Desde que fiquei dando assessoria na Bloco Brasil, trabalhando meio período, fiz um curso na USP para aposentados sobre a história do Brasil de 1600 a 1800, de meio semestre, e não parei mais de ler sobre a história do Brasil. E trabalho com minhas filhas, orientando o projeto de pequenas construções em fazendas nas quais elas prestam serviços. ☺

“

COM A PUBLICAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO, EM 2013, A BLOCO BRASIL INICIOU NO ANO SEGUINTE O PROGRAMA DE ENSAIOS NECESSÁRIOS PARA ATENDER OS REQUISITOS DA NORMA. FINALIZADO EM 2020, PUBLICAMOS O MANUAL

”

Congresso Brasileiro do Concreto retoma **atividades presenciais** com forte participação de **especialistas internacionais** e da **comunidade técnica nacional**

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710>) (fabio@ibracon.org.br)

O Congresso Brasileiro do Concreto é o maior evento técnico-científico nacional onde participam profissionais, pesquisadores e engenheiros para conhecer as tendências em pesquisas, tecnologias construtivas, normalização técnica e boas práticas relacionadas ao projeto, construção e manutenção das estruturas de concreto.

A edição Jubileu de Ouro - em virtude das comemorações dos

50 anos de atividades do Instituto Brasileiro do Concreto, associação de profissionais e empresas que produz, estimula e dissemina o conhecimento técnico, científico e tecnológico sobre o concreto - foi realizada em Brasília, de 11 a 14 de outubro, depois de duas edições realizadas virtualmente devido à pandemia.

Foi um momento de superação e celebração da vida, da amizade e da fé na ciência e na tecnologia que fizeram mais de 900 pessoas se reunirem novamente no Centro Internacional de Convenções de Brasília para conhecer o que há de novo e as tendências sobre o material e as estruturas mais utilizadas no mundo para construir pontes e viadutos, edificações, obras de energia e saneamento, e cidades.

Na cerimônia de abertura do evento, o presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, registrou que o Instituto surgiu des-



O presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, em sua palestra inaugural na cerimônia de abertura

te tipo de reunião, na década de 1970, quando profissionais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), que tinha convênios com o Fomento Estadual de Saneamento Básico (FESB, hoje SABESP) e com a Companhia Metropolitana de São Paulo (Metrô), resolveram reunir-se em “colóquios para discutir permeabilidade e durabilidade do concreto, temas inovadores para a época, pois predominava a crença de que as estruturas de concreto seriam eternas”.

Na década seguinte, as reuniões anuais do IBRACON discutiram desempenho e vida útil das estruturas de concreto, adições no cimento e controle estatístico do concreto recebido na obra.

Na década de 1990, a tônica foram os concretos especiais. Em 2000, a sustentabilidade. Em 2008, o IBRACON teve papel

determinante para o reconhecimento mundial da norma brasileira ABNT NBR 6118 como norma padrão internacional ISO.

Este histórico de ações do Instituto nas cinco décadas anteriores foi registrado no livro comemorativo “Edificando ideias e Concretando valores”, editado pela BB Editora, e apoiado por 34 patrocinadores, que pode ser acessado gratuitamente pelos associados do IBRACON.

Na cerimônia de abertura do Congresso



PANORAMA DAS PESQUISAS SOBRE CONCRETOS E ARGAMASSAS

Foram apresentados 127 trabalhos por profissionais e pesquisadores de institui-

Interessante curiosidade: cinco artigos aprovados vieram de instituições estrangeiras.

Para o diretor de Pesquisa e Desenvolvimento do IBRACON, Prof. Bernardo Tuktikian, responsável pela coordenação dos trabalhos da comissão científica do Congresso Brasileiro do Concreto - edição Jubileu de Ouro, os trabalhos apresentados e publicados nos Anais do evento são uma amostra do que é produzido no Brasil e no mundo sobre o concreto em termos de pesquisa. “Cada vez mais, o IBRACON se consolida como a principal entidade técnico-científica da América Latina no âmbito da construção civil”.

CURSOS DE ATUALIZAÇÃO PROFISSIONAL

No Congresso foram realizados três cursos do Programa Master PEC na modalidade híbrida, inovação implantada pelo Instituto no ano do seu cinquentenário para possibilitar a difusão do conhecimento sobre o concreto para o maior número de profissionais.

O Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto é um sistema de cursos e disciplinas de educação continuada



Fundadores e diretores do IBRACON com o livro comemorativo dos 50 anos na cerimônia de abertura do Congresso Brasileiro do Concreto - edição Jubileu de Ouro

Brasileiro do Concreto em Brasília, o diretor de publicações do IBRACON, Prof. Guilherme Parsekian, juntamente com o presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, os vice-presidentes, Eng. Julio Timerman e Prof. Enio Pazini, entregaram exemplares do livro aos fundadores do IBRACON, presentes na solenidade: Prof. Cláudio Sbrighi Neto, Eng. Selmo Kuperman, Eng. Gilberto Giuzio e Eng. Fabiano Chotoli. Uma forma de homenagem a esses visionários por suas contribuições à engenharia brasileira do concreto. Outras homenagens tiveram lugar na cerimônia (confira na edição!).

No Jubileu de Ouro do IBRACON, a sustentabilidade do concreto voltou a ganhar projeção no Congresso Brasileiro do Concreto, como bandeira - Sustentabilidade do Concreto em Defesa do Planeta, como tema das três palestras magnas e no Seminário de Sustentabilidade (veja nesta edição!). Além disso, o tema foi discutido em várias outras palestras que compuseram outros seminários e sessões do evento.

ções de ensino de 24 unidades da federação. Os estados que mais apresentaram trabalhos foram São Paulo (56), Santa Catarina (30), Rio de Janeiro (20) e Minas Gerais (20).

O tema da Durabilidade/Sustentabilidade foi destaque, com 16 trabalhos apresentados, ao lado de Análise estrutural/Projeto estrutural (23), Materiais e propriedades (18) e Estudo de dosagem (17).

Ao todo foram publicados 301 artigos técnico-científicos, aprovados de um montante de 353 artigos submetidos. Esses artigos foram analisados por uma Comissão Científica formada por 103 profissionais do setor construtivo e de instituições de pesquisa.



O aluno José de Anchieta Delgado recebe da diretora de cursos, Eng.ª Jéssika Pacheco, na cerimônia de abertura do Congresso, o certificado do Programa Master PEC por ter concluído os 100 créditos em cinco anos



O pesquisador do Cinvestav, Prof. Pedro Castro, em sua palestra no Seminário de Durabilidade

para disponibilizar os avanços tecnológicos na área do concreto com visão sistêmica e integradora, com ética e responsabilidade social.

Nesta edição foram oferecidos e ministrados: o curso “Corrosão e proteção catódica de estruturas de concreto”, ministrado pelo instrutor Luiz Paulo Gomes; o curso “Recuperação de fachadas e retrofit de edifícios”, ministrado pelos instrutores Alexandre Brites e Enrico Mangoni; e, o curso “Estanteidade de estruturas de concreto”, ministrado pelo instrutor Emilio Takagi.

A pesquisa elaborada pela diretora de cursos, Eng. Jéssika Pacheco, mostrou a satisfação dos alunos com o conteúdo das aulas e a satisfação dos professores com a participação ativa dos alunos e com o nível das discussões.

SEMINÁRIOS DISCUTEM TEMAS EMERGENTES

Além do Seminário de Sustentabilidade, foram realizados no Congresso outros 13 seminários.

O Seminário sobre Durabilidade das Estruturas de Concreto, coordenado pelo diretor vice-presidente do IBRACON, Prof. Enio Pazini, abordou como prevenir os efeitos das mudanças climáticas nas estruturas de concreto. O pesquisador mexicano do Centro de Pesquisa e Estudos Avançados do Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), Prof. Pedro Castro, apresentou a Rede de Pesquisa PREVENCCI, que tem entre seus objetivos lançar um livro em inglês, português e espanhol intitulado “Prevenção do efeito da mudança climática na infraestrutura Ibero-Americana”, bem como promover um curso internacional para divulgar o conteúdo deste livro.

No mesmo Seminário, a pesquisadora do Centro Internacional de Métodos Numéricos em Engenharia da Universidade Politécnica da Catalunha, na Espanha, Carmén Andrade, tratou como a durabilidade das estruturas de concreto é especificada na *fib Mode Code 2020*, norma de referência para os Eurocódigos e outras normas estrangeiras.

O Seminário “Concreto aplicado ao Saneamento Básico” alertou sobre a deficiência de durabilidade das obras de saneamento. Segundo a gestora da qualidade da Sabesp, Silvia Lemes Peixoto Benites, “o desafio trazido pelo Marco Regulatório do Saneamento Básico é aliar recursos fi-

nanceiros com a tecnologia disponível para evitar desperdícios decorrentes de projetos e obras mal executados”.

O presidente da Associação Brasileira de Tubos de Concreto (ABTC), Eng. Pedro Chama Neto, abordou os tipos e as especificações dos tubos para uso em abastecimento de água potável, drenagem urbana, coleta e tratamento de esgoto.

Por fim, o coordenador do Seminário, Eng. Vinícius Caruso, comentou sobre a importância dos trabalhos em andamento no CT 901 Aplicações de Concreto em Obras de Saneamento, comitê técnico do IBRACON que ele coordena para produzir práticas recomendadas para a contratação, projeto, execução e manutenção de obras de concreto para saneamento básico, no sentido de atender aos anseios dos profissionais dos setores do concreto e do saneamento.

O Seminário de Infraestrutura mostrou como o pavimento de concreto tem se apresentado como uma solução técnica e econômica cada vez mais demandada por agentes públicos e privados para a pavimentação de rodovias. Estudos corroborando isto foram apresentados pelo diretor de planejamento e pesquisa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Eng. Guilherme Rodrigues de Mello.

O ministro de Infraestrutura do Governo



O diretor de planejamento e pesquisa do DNIT, Eng. Guilherme Rodrigues de Mello, assina acordo de cooperação técnica com a ABCP, firmado por seu presidente Paulo Camilo (ao lado), testemunhado por Paulo Helene e Válter Frigieri

Federal, Marcelo Sampaio, trouxe sua previsão na contratação de investimentos para os setores de transporte rodoviário, ferroviário, portuário e aeroportuário, além de investimentos em obras de saneamento e energia, para os próximos anos, dentro do Programa de Parcerias de Investimentos (PPI) do Governo Federal, hub de projetos a serem concedidos à iniciativa privada pelos diversos ministérios.

Por ocasião do Seminário, em sua ter-

moldados no local. Este documento normativo foi apresentado e discutido no Seminário sobre Pavimentos de Concreto,

ma Comentada ABNT NBR 9062 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado”, um guia para auxiliar os projetistas, coordenadores de projetos, gerentes de engenharia, contratantes de obras e pesquisadores a aplicar os requisitos para projeto, execução e controle da qualidade de estruturas de concreto pré-moldado. A publicação é fruto do trabalho desenvolvido pelo CT 304 Pré-Fabricados de Concreto, coordenado pela presidente-executiva da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), Eng. Íria Doniak.

O Seminário “Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto” trouxe exemplos de como fibras, barras de polímeros reforçados com fibras e concreto de ultra alto desempenho têm sido aplicados como reforço de estruturas de concreto segundo as normas nacionais e internacionais, e as práticas recomendadas publicadas pelo CT 303 Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, coordenado pelo Prof. Marco Cárnio. Por ocasião do Seminário, o CT 303 lançou sua mais nova prática recomendada “Estruturas de Concreto de Ultra Alto Desempenho”.



O diretor técnico do IBRACON, Eng. Carlos Britez, comentando sobre os trabalhos realizados no CT 304 para o lançamento da Prática Recomendada no Seminário de Pré-Fabricados

ceira edição e coordenado pelo diretor tesoureiro do IBRACON, Eng. Hugo Armelin, o DNIT firmou com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) um Acordo de Cooperação Técnica para realização de estudos sobre métodos de dimensionamento de pavimentos de concreto para rodovias, atualização de especificações técnicas para promover melhorias e capacitação profissional no projeto, execução e uso de pavimentos de concreto.

Com relação ao desenvolvimento e uso de pavimentos de concreto, o IBRACON contribuiu, por meio de seus Comitês Técnicos CT 306 Pavimentos de Concreto e CT 303 Concreto Reforçado com Fibras, com a elaboração da PR 1011 Projeto de Pavimentos Urbanos de Concreto, prática recomendada da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), lançada em novembro de 2021, que traz os requisitos e procedimentos para o projeto de pavimentos de concreto simples e reforçados com fibras e com armaduras,

coordenado pelo Prof. José Tadeu Balbo.

O Seminário de Pré-Fabricados lançou e apresentou a prática recomendada “Nor-



Caminhões-betoneira expostos no hall do Centro Internacional de Exposições de Brasília



Congressistas confraternizam-se na Feibracon

Outros seminários que integraram a programação foram: Simpósio Brasileiro sobre Punção em Estruturas de Concreto (tema atual e oportuno), Seminário Novas Tecnologias (com novidades do setor), Sessão Corujão, Temas Controversos, Seminário sobre Edifícios Altos (com participação expressiva de convidados do exterior), Seminário “Estanqueidade das Estruturas” (com participação do IBI) e Seminário ANAPRE sobre Pisos Industriais.

FEIRA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO EM CONCRETO – FEIBRACON

As empresas e instituições do setor construtivo expuseram seus produtos e serviços na FEIBRACON, onde estreitaram relacionamentos e fecharam negócios com os congressistas e outros visitantes.

Foram 25 expositores, dentre os quais dez patrocinadores, de todos os segmentos da cadeia do concreto: Votorantim Cimentos, Cimento Apodi, Gerdau, GCP, Quatzolit Saint-Gobain, Sika, Arcelor Mittal Belgo Bekaert, Holcim, Intercement, Qualify, ABCP, ABESC, ADCO, ATEX, BT/CURRA, Composite Group, Haizer, MC, MCI Corr Solutions, Oficina de Textos, Penetron, Sonelastic, Tecnosil, TQS e Viapol.

As concreteiras Votorantim, Apodi, Polimix e Supermix expuseram seus caminhões-betoneira no hall de entrada no Centro Internacional de Exposições de Brasília, no espaço chamado “Ferramentas para o Desenvolvimento”, mostrando a incrível evolução do setor em comparação à tecnologia dos caminhões-betoneira históricos disponíveis há 50 anos atrás, quando o IBRACON foi fundado.

Os congressistas e visitantes puderam conhecer como a tecnologia de mistura e transporte do concreto evoluiu com o tempo, num verdadeiro museu a céu aberto.

A Gerdau apresentou seu vergalhão de alta resistência GG 70. A Holcim trouxe sua solução digital de monitoramento do concreto em tempo real. A Sika mostrou como o uso da digitalização é um suporte poderoso para o controle da qualidade do concreto. A GCP abordou a aplicação de seu concreto de fluidez controlada em pavimentos urbanos. O Grupo Qualify mostrou o que fazer quando o concreto apresenta baixa resistência. A ADCO tratou do papel dos aditivos para a melhoria da sustentabilidade do concreto usinado. A Votorantim apresentou sua linha de concreto especiais – a Spectra. E a Belgo Bekaert, seus aços de alto desempenho e baixa pegada de carbono.

Foram vários momentos de interação com congressistas e visitantes, como nos horários de almoços, oferecidos no evento por cortesia das empresas Votorantim, Gerdau e Arcelor Mittal, nos coquetéis e sessões de lançamentos de livros promovidos na FEIBRACON, e nos *happy hours* que alguns expositores fizeram por conta própria.

Na abertura da FEIBRACON, todos puderam assistir ao espetáculo do Grupo Batalá, um grupo de percussão formado por mulhe-

res, enquanto reencontravam amigos e se deliciavam com o coquetel oferecido pelo IBRACON.

Uma novidade no Congresso Jubileu de Ouro foi a visita das turmas dos cursos de engenharia civil e técnico de edificações do Instituto Federal de Brasília. O grupo saiu do campus de Samambaia em direção ao Centro de Convenções, onde primeiramente visitaram os caminhões-betoneira expostos no hall de entrada. Divididos em grupos, os estudantes visitaram os estandes na FEIBRACON e os concursos estudantis que estavam em andamento (veja na edição!).

Na avaliação do coordenador de engenharia civil do Instituto Federal de Brasília, Prof. Wanderley Gustavo Nicácio, que acompanhou a excursão de seus alunos no evento, “os estudantes tiveram contato com variados setores da cadeia do concreto, desde temas relacionados ao controle tecnológico às inovações em equipamentos e serviços para construção, promovendo oportunidades diferenciadas de aprendizagem”.

Com relação ao contato dos estudantes com os concursos, o Prof. Nicácio considerou que seus alunos “tiveram uma impressão muito positiva, deixando uma grande vontade de participar mais no futuro”. 📍

Congresso discute **soluções tecnológicas** para reduzir **emissões de carbono de estruturas de concreto**

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

As estruturas de concreto têm desempenhado funções cruciais para a vida em sociedade: com elas erguemos moradias, escolas, hospitais, fábricas; construímos estradas, rodovias, pontes, sistemas de armazenamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgotos; e implantamos usinas hidrelétricas e eólicas e seus sistemas de distribuição.

O concreto, material de construção mais utilizado no mundo, pela disponibilidade

global de suas matérias-primas, sua facilidade de produção e seu reduzido custo relativo, é também considerado como índice de desenvolvimento econômico de um país.

Há, no entanto, um outro lado desta história. A estimativa é que a produção do cimento Portland, principal componente do concreto, seja responsável por cerca de 7% das emissões mundiais de CO₂, principal gás do aquecimento global. Por outro lado, a indústria siderúrgica, produtora de vergalhões e aços para o concreto armado e protendido, também responde por cerca de 7% da emissão mundial de gases estufa.

O cimento é produzido pela queima do carbonato de cálcio, mineral encontrado na natureza, junto com a argila, resultando em clínquer. Este é misturado com gesso e outras adições para formar o cimento. A queima nos fornos de cimento contribui com 40% das emissões de CO₂. Os 60% restantes vêm da reação química para formar clínquer – o carbonato de cálcio perde CO₂ na calcinação. Por isso, é impossível produzir cimento sem emitir dióxido de carbono para a atmosfera.



O presidente do GLOBE Consensus, Prof. Michael Faber, assina protocolo de colaboração com o IBRACON, na cerimônia de abertura do Congresso, assistido por representantes de outras associações

O consumo por concreto na China nos últimos três anos foi equivalente ao consumo de concreto pelos Estados Unidos no último século em volume. Chegamos a 8 bilhões de pessoas neste ano e o planeta deve comportar 10 bilhões de habitantes em 2050. De agora até 2050, o número de edifícios na África deve se multiplicar por cinco e a demanda global por cimento deve crescer mais de 20%.

Mas, a pressão da opinião pública e das Nações Unidas têm aumentado sobre os governos e sobre a iniciativa privada: todos precisamos nos empenhar para zerar as emissões líquidas de carbono até 2050.

Nas palavras do presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helele, em sua palestra de abertura do Congresso Brasileiro do Concreto – edição Jubileu de Ouro, realizado de 11 a 14 de outubro, no Centro Internacional de Convenções de Brasília: “Chegamos num paradoxo!”. Sua conclusão diz respeito ao contraponto entre a necessidade de desenvolvimento e de qualidade de vida

versus a necessidade de reduzir emissão de gases estufa.

Esse cenário a respeito da importância do concreto para o desenvolvimento sócio-econômico dos países e os impactos ambientais de sua produção e uso foram delineados pelos palestrantes internacionais e nacionais criteriosamente convidados pelo IBRACON para o Congresso, por representarem as mais importantes Entidades do setor, tendo como bandeira a “Sustentabilidade do Concreto em Defesa do Planeta”. Eles expuseram também os desafios, as propostas e a visão estratégica do setor para se alcançar a neutralidade do carbono na cadeia do concreto em 2050.

DESAFIO SIGNIFICATIVO

Para continuar promovendo o desenvolvimento econômico e social, principalmente de países em desenvolvimento, o desafio da indústria da construção será reduzir o consumo de recursos e as emissões de CO₂, isto é, principalmente desmaterializar a construção.

Este desafio foi proposto pelo presidente do GLOBE Consensus, Prof. Michael Faber, no Seminário de Sustentabilidade, ocorrido no dia 12 de outubro. O Consenso Global sobre Sustentabilidade no Ambiente Construído (GLOBE Consensus) é o consenso de mais de 5000 profissionais de 150 países afiliados a seis organizações internacionais que representam a cadeia de valor da construção sobre como assegurar que o ambiente construído do futuro seja resiliente, seguro e sustentável.

Por ocasião do evento, o IBRACON estabeleceu com o GLOBE Consensus um protocolo de colaboração mútua para coordenar iniciativas e atividades, trocar experiências e dados relevantes sobre sustentabilidade na construção e promover conjuntamente atividades



de treinamento, educação e eventos.

Para Faber, que é professor do departamento de Ambiente Construído da Universidade de Aalborg, na Dinamarca, e pesquisador do Fórum Global de Risco, de Davos, o desafio de conciliar crescimento econômico e a capacidade de suporte da Terra é significativo porque:

- ▶ O setor construtivo mundial é organizado de maneira descentralizada num vasto número de organizações e corporações independentes e competitivas;
 - ▶ Seu foco em orçamentos e entregas eficientes criou um ambiente no qual o desenvolvimento tecnológico é incremental;
 - ▶ O setor dá pouca atenção ao consumo de materiais;
 - ▶ Normas e códigos evoluem vagarosamente em relação aos avanços tecnológicos e às mudanças sociais;
 - ▶ Não há governança global.
- Por isso, segundo Faber, “apesar de

nós sabemos o que fazer, falhamos coletivamente em implementar esse saber”.

O GLOBE Consensus disponibiliza em sua plataforma on-line (<http://globe.rilem.net>) conhecimentos e informações para os agentes do setor construtivo sobre o que pode ser feito em termos de alcançarmos o desenvolvimento sustentável no ambiente construído.

NEUTRALIDADE DE CARBONO CRIA NOVOS VALORES

Além das dificuldades relacionadas ao ambiente cultural e administrativo da indústria da construção, há o custo econômico da redução das emissões até 2050. Quem abordou este tópico foi o presidente da Federação Internacional do Concreto Estrutural (*fib*), Akio Kasuga, em sua palestra magna no evento.

Hoje, as emissões globais de dióxido de carbono estão no patamar de 41 bilhões de toneladas anuais. Reduzir a zero



O presidente da *fib*, Akio Kasuga, durante sua palestra no Congresso



O presidente do ACI, Eng. Charles Nmai, em sua palestra no Congresso Brasileiro do Concreto

essas emissões até 2050 significa cortar o montante de 500 bilhões de toneladas no período. Considerando que o preço do imposto do carbono é de 100 dólares por tonelada, isto representará um custo total estimado de 50 trilhões de dólares. “Quem pagará esta conta”, perguntou Akio ao público presente em sua palestra, que lotou o auditório.

Bill Gates propôs em seu livro “Como evitar um desastre climático” que cada setor econômico arque com um prêmio para o abatimento das emissões de acordo com seu peso nessas emissões globais.

Paulo Helene exemplificou o tamanho do problema em sua palestra inaugural. Tomando a estimativa de 115 quilos de CO₂ por m², um apartamento de 90 m², por emitir 10 t de CO₂, e consequentemente “pagaria uma multa” de 1.000 dólares. Se o país construir 1,5 milhão de moradias, serão 15 milhões de t emitidas, isto é, 1,5 bilhão de dólares de “multa” nos próximos anos.

“A taxaço do carbono incentiva fornecedores e consumidores a reduzir o consumo de energia e a mudarem para fontes de energia renováveis”, defendeu o Prof. Vanderley John, em sua palestra no Seminário de Sustentabilidade.

Nas palavras de Akio Kasuga: “Atingir a neutralidade do carbono é custoso e deve ser suportado por todos. Precificá-la ajuda a entender sua natureza. Sendo assim, a neutralidade de carbono cria novos valores”.

PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES

Esses novos valores têm mudado a perspectiva de análise do custo da construção, pelo menos em alguns estudos e documentos de referência. Anteriormente focada nos custos iniciais, hoje a análise mais comum nos estudos acadêmicos e nas discussões técnicas é a do custo do ciclo de vida da construção.

Esta nova abordagem foi adotada no *fib Mode Code 2020*, a ser lançado no ano que vem, documento normativo para orientar o projeto e execução de estruturas de concreto que serve como referência para os eurocódigos. Com ela, incentiva-se o uso de materiais construtivos com baixas emissões de CO₂ e o projeto de estruturas de concreto mais duráveis que quase não requeiram manutenção.

Nos Estados Unidos, a Agência de Serviços Gerais da Administração do Governo (GSA) implementou uma política setorial, desde 2021, na qual 75% dos produtos da construção nas novas obras devem ter declaração ambiental (EPD) e essas devem buscar 20% de redução do carbono incorporado em comparação aos projetos padrão.

A declaração ambiental de produto é um documento que certifica os impactos ambientais do ciclo de vida de um produto – a contabilidade dos recursos energéticos e materiais consumidos e dos resíduos e poluentes emitidos desde a extração de suas matérias-primas até seu descarte na natureza. Ao se

exigir a EPD dos produtos, é razoável que os usuários acabem por optar pelos produtos com menores impactos ambientais.

O carbono incorporado por uma obra se refere à emissão de gases do efeito estufa decorrente da manufatura, transporte, instalação, manutenção e deposição de materiais de construção, em oposição à emissão de gases do efeito estufa decorrente do consumo de energia da edificação (carbono operacional).

Segundo o presidente do Instituto Americano do Concreto (ACI), Eng. Charles Nmai, que palestrou sobre o papel dos engenheiros estruturais na busca do concreto neutro em carbono, já conhecemos tanto as condições para assegurar a durabilidade das estruturas de concreto quanto os fatores para especificar um concreto sustentável.

A durabilidade requer que o projetista conheça:

- ▶ As condições de exposição a que a estrutura estará submetida: fatores de corrosão, como cloretos (ambiente marinho) ou carbonatação (ambiente urbano);
- ▶ As normas técnicas aplicáveis;
- ▶ As propriedades dos materiais de construção localmente disponíveis;
- ▶ As alternativas menos custosas do ponto de vista da conservação da obra, isto é, da análise do custo do ciclo de vida: proteção das armaduras; concreto com baixa permeabilidade; cobertura mínima das armaduras; aditivos e adições que garantam um concreto com maior durabilidade.

Segundo Nmai, as tecnologias para aumentar a durabilidade das estruturas estão disponíveis, mas não são normalmente usadas porque não são especificadas nem incentivadas em normas técnicas nacionais, o foco da indústria da construção é ainda o custo inicial, ao invés do custo do ciclo de vida da obra, e a indústria da construção tem baixa aceitação de novas tecnologias.

Com relação às especificações normativas, houve um avanço nos Estados Unidos quanto à dosagem do concreto: elas aboliram o requerimento de que no mínimo 75% do ligante no concreto fosse cimento Portland, facultando o uso de até três ligantes e permitindo o uso de cinzas volantes e outros resíduos industriais, desde 2010.

O professor do Instituto Indiano de Tecnologia em Madras, Ravindra

Gettu, abordou, em sua palestra magna, no Congresso, a pesquisa de seu grupo sobre o cimento ternário, composto por 50% de clínquer, 30% de argila calcinada e 15% de calcário, conhecido como LC3. Os 5% restantes é completado com gesso. O concreto dosado com este cimento foi comparado com o concreto convencional e com o concreto dosado com cimento com 30% de cinza volante (PFA).

Os estudos mostraram que o concreto com o LC3 possui resistividade superficial maior que o concreto com PFA e que o concreto convencional, o que significa que o concreto com o LC3 oferece maior resistência à movimentação das cargas iônicas na superfície do concreto, o que indica que este tipo de concreto possui maior durabilidade.

Estudo de caso de elementos estruturais de uma ponte mostrou que a probabilidade de corrosão inicial do píer depois de 100 anos de serviço por cloretos (maresia) era de 95% para o concreto convencional, 80% para o concreto com PFA e 65% para o concreto com LC3.

Conseqüentemente, o concreto com LC3 tem menor emissão de CO₂ por t por conter menos clínquer (600 kg de CO₂) em relação ao concreto convencional (910 kg/t de CO₂), consome menos energia por unidade de resistência à compressão pelo mesmo motivo e, segundo os estudos, possui maior durabilidade em relação ao ataque por cloretos.

A contrapartida é a carbonatação, fenômeno de corrosão das armaduras iniciado pelo ingresso de dióxido de carbono nos elementos de concreto. Os estudos mostraram que os con-



cretos com LC3 e PFA apresentaram índices maiores de carbonatação do que o do concreto convencional.

O cimento ternário é uma das alternativas apontadas por Eric Trusiewicz, especialista em descarbonização industrial, em especial no setor de cimento e concreto, em sua palestra sobre as tecnologias emergentes para descarbonização, diante do esgotamento das fontes de materiais cimentícios tradicionais.

ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO E DO CONCRETO

A redução do clínquer no cimento (fator clínquer) com o uso de adições, como as cinzas volantes, as escórias de alto forno (subproduto da indústria siderúrgica), o filer calcário, a argila calcinada e outros materiais cimentícios suplementares (SCM) é uma das alternativas proposta no *Roadmap* tecnológico do cimento de

2009, atualizado em 2018, pela *Cement Sustainability Initiative (CSI)*.

A CSI reúne cerca de 48 companhias cimenteiras e 9 associações da indústria, agrupando 850 unidades industriais que perfaziam um terço da produção global de cimento. Desde 1990, ela faz a contabilização das emissões de CO₂ das unidades de produção de seus membros, sendo hoje o maior banco de dados de emissões de carbono do mundo.

Outras alternativas propostas no *Roadmap* do cimento são a eficiência energética dos fornos de cimento, a substituição de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos como biomassa, pneus e outros resíduos, e a captura, uso e estocagem de carbono.

Segundo o head de meio ambiente e sustentabilidade do Sindicato Nacional da Indústria da Construção (SNIC), Eng. Gonzalo Visado, que palestrou no



O professor do Instituto Indiano de Tecnologia em Madras, Ravindra Gettu, respondendo ao questionamento feito pelo diretor de relações institucionais do IBRACON, Prof. César Daher



O professor da PUC-Minas, Ricardo Bento, em momento de sua palestra no Seminário de Sustentabilidade

Seminário de Sustentabilidade, após o lançamento do Roadmap tecnológico da indústria de cimento brasileira em 2019 e com vistas a perseguir seus compromissos, houve a atualização da norma de cimento - a ABNT NBR 16697 - aumentando os limites das adições nas classes de cimentos - e atualização dos parâmetros de emissão e

a inserção dos resíduos sólidos e suas formas de tratamento térmico na Resolução CONAMA 499/2020 sobre coprocessamento.

Porém, há limites para essas rotas tecnológicas dos roadmaps dos cimentos.

A captura, estocagem e uso de carbono é uma tecnologia ainda desconhecida e aparentemente custosa. “Talvez, uma alternativa seja o processo de captura das

emissões na unidade de produção de cimento”, sugeriu Trusiewicz.

Diante desses limites e impasses atrelados ao setor cimenteiro, bem como do novo cenário global de se alcançar a neutralidade das emissões líquidas de carbono em 2050, a CSI deu lugar à Associação Global do Cimento e Concreto (GCCA) e o Roadmap de mitigação do cimento foi substituído pelo *Roadmap* de neutralidade do cimento e do concreto.

Nele, além das rotas tecnológicas para melhorar o desempenho ambiental na produção de clínquer e cimento, são vislumbradas novas estratégias tecnológicas para ganhos de desempenho ambiental na produção de concreto e no projeto e execução de estruturas.

CICLO DE VIDA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

O professor da PUC-Minas, Ricardo Bento, ofereceu um estudo de caso para se entender como o projeto de estruturas pode contribuir com a mitigação das emissões de carbono. Na modelagem de um edifício de oito pavimentos, com seis classes de resistência do grupo I, foram analisadas 12 categorias da Avaliação do Ciclo de Vida.

O estudo concluiu que os menores impactos ambientais foram os projetos das classes de resistências C40, C45 e C50 nesta ordem. O projeto com concreto de 40 MPa apresentou consumos de cimento de 66,13 kg/m², de concreto de 0,17 m³/m², de aço de 20,9 kg/m² e de fôrmas de 2,05 m²/m².

Para Ricardo Bento, o C40 mostrou vantagem sobre o concreto de classes superiores “porque o aumento da resistência atingiu o limite da redução das peças devido às limitações físicas, de estabilidade da edificação e das normas técnicas”.

Ele chamou atenção também para o



A pesquisadora do IPT, Eng^a Fernanda Belizário Silva, em momento de sua palestra

fato de que, depois do cimento, a fôrma de madeira é o produto que mais contribui para o impacto do aquecimento global do projeto. Sendo assim, sistemas que otimizem fôrmas ou as dispensem são boas alternativas. O aço é o terceiro produto com maior impacto ambiental.

Mensurar os impactos ambientais dos produtos e com base nesses indicadores escolher aqueles que irão compor o projeto, como vemos, é uma boa estratégia para reduzir a pegada ambiental nas estruturas de concreto.

Por isso, várias associações têm lançado ferramentas para calcular impactos ambientais. A *fib* está desenvolvendo uma plataforma para coleta de dados de fornecedores, projetistas, construtores e contratantes para avaliação do ciclo de vida. No Brasil, por meio do Ministério de Minas e Energia e do Programa Brasileiro da Qualidade e da Produtividade no Habitat (PBQP-H), foi lançado neste ano o SIDAC – Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção.

O SIDAC é uma ferramenta para calcular indicadores de desempenho ambiental de produtos de construção, com base em dados brasileiros verificados e na abordagem de ciclo de vida. A ferramenta possibilita avaliar 86 produtos de construção a partir de cinco insumos básicos: água, combustível, eletricidade, transporte e tratamento de resíduo. Os indicadores de desempenho ambiental da declaração de desempenho ambiental são emissão de CO₂ e demanda de energia primária.

O SIDAC foi apresentado no Seminário de Sustentabilidade pela pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Enga. Fernanda Belizário Silva, uma das instituições da equipe executora da ferramenta.

A expectativa é que ferramentas como o SIDAC impulsionem os produtores a melhorarem o desempenho ambiental em seus processos de fabricação, os projetistas a reduzirem os impactos ambientais de seus projetos, os construtores a resolverem os gargalos de ecoeficiência na execução de suas obras e os contratantes a comprarem e contratarem de quem cumprem tais requisitos.

O Roadmap tecnológico do aço atribui que 40% da mitigação do CO₂ no setor entre 2020 e 2050 deve vir da eficiência do material. Um dos caminhos apontados pelo



coordenador do Seminário de Sustentabilidade, Eng. Carlos Massucato, para o aço melhorar sua eficiência é por meio do uso do nióbio. “Pequenas adições de nióbio no aço – cerca de 250 g/t – promovem o refinamento dos grãos de aço e, em alguns casos, o endurecimento por precipitação, aumentando a resistência do aço e mantendo a capacidade de deformação sem ruptura”, pontuou.

O IBRACON, como entidade aglutinadora e neutra dos todos segmentos da cadeia produtiva do concreto, comprometida em disseminar conhecimento de valor para todos seus agentes, divulgou recentemente sua Declaração sobre a Sustentabilidade do Concreto (CONCRETO & Construções 107), em que se comprometeu em dar publicidade as ferramentas, metodologias, conhecimentos e informações sobre as melhores práticas sustentáveis no setor, com uma visão sistêmica e integradora, para a redução do carbono.

Com consequência desta ação, o

IBRACON firmou na cerimônia de abertura do Congresso Brasileiro do Concreto – edição Jubileu de Ouro um acordo de cooperação com o Conselho Brasileiro da Construção Sustentável (CBCS), instituição que coordenou os trabalhos das equipes em torno do SIDAC. O documento foi assinado pelo presidente do Conselho Deliberativo, Prof. Vahan Agopyan, e pelo presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene.

Além disso, o IBRACON anunciou a criação do Conselho de Sustentabilidade, órgão intersetorial e independente, a ser composto por representantes das várias entidades da cadeia do concreto, para coletar dados e informações, produzir estudos e recomendações que possam contribuir com a sustentabilidade do concreto.

A missão do Conselho de Sustentabilidade foi assim resumida pelo presidente do IBRACON: “O Brasil tem a oportunidade de se destacar como o país capaz de produzir o concreto mais sustentável do planeta, como já é nosso cimento”. ©



O presidente do Conselho Deliberativo do CBCS, Prof. Vahan Agopyan, assina acordo de cooperação com o IBRACON

IBRACON premia profissionais e entrega títulos na abertura do Congresso

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

Aproveitando o momento de reunião e confraternização, o IBRACON homenageou os profissionais vencedores das edições 2021 e 2022 dos prêmios Profissionais de Destaques do Ano e Teses e Dissertações na cerimônia de abertura do Congresso Brasileiro do Concreto – edição Jubileu de Ouro, além de entregar títulos de sócios-honorários.

PRÊMIO PROFISSIONAIS DE DESTAQUES DO ANO

Primeira premiação criada pelo IBRACON, os prêmios homenageiam os profissionais que tenham contribuído para o progresso do conhecimento científico do concreto no país e para sua divulgação.

A indicação é livre para os associados, a escolha é feita por comissões julgadoras pautada por critérios técnicos, sendo a decisão final do Conselho Diretor e diretoria do IBRACON.

Conheça os agraciados!

PRÊMIO ARY FREDERICO TORRES

DESTAQUE EM TECNOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Reconhecimento e memória do fundador do IPT, da ABCP e da ABNT – já conferido a 38 profissionais



Dr. Carlos Amado Brites recebe o prêmio do diretor 2º vice-presidente do IBRACON, Prof. Enio Pazini

Sócio-Diretor da Brites Consultoria, atuando nas áreas de tecnologia dos materiais e sistemas, e inspeções e diagnósticos de manifestações patológicas em estruturas de concreto de armado.

Diretor Técnico do IBRACON na gestão 2021/2023.



Eng. Francisco Carlos Hideo Utida recebe o prêmio do assessor da diretoria de relações institucionais, Eng. José Vanderley de Abreu

Como engenheiro, atuou por mais de 15 anos em empresas de serviços de concretagem em tecnologia do concreto, em supervisão e responsabilidade técnica na produção de mais de 20 milhões de metros cúbicos de concreto. Atualmente, é gerente comercial regional da empresa ADITIBRAS e sócio-diretor da Consultar Soluções Práticas R.C.

PRÊMIO EMILIO BAUMGART



Eng. José Augusto de Ávila recebe o prêmio do conselho do IBRACON, Eng. Luiz Aurélio Fortes da Silva

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Reconhecimento e memória do pai do concreto armado pela sua genialidade e cálculos inovadores – já concedido a 40 profissionais

Na Avila Engenharia de Estruturas, desenvolveu mais de 2.400 projetos estruturais, em todo território nacional, entre os quais o Vista Guanabara, vencedor do Talento Engenharia 2016, e o Leopoldo 1201, vencedor do ACI 2021 Excellence in Concrete Construction Awards na categoria edifícios altos.

PRÊMIO LIBERATO BERNARDO



Jorge Orair de Souza Ribeiro recebe o prêmio do diretor 2º secretário, Eng. Carlos José Massucato

DESTAQUE EM TECNOLOGIA DE LABORATÓRIO DE CONCRETO

Reconhecimento e memória do técnico uruguaio naturalizado brasileiro, que foi instrutor de Falcão Bauer no IPT, trabalhando posteriormente no laboratório deste – conferido a 28 profissionais

Auxiliar de laboratório e laboratorista pleno nas empresas Concretex, Concrepav e InterCement, atuando na execução de ensaios de granulometria de agregados, ensaios de cimento, ensaios de compressão, validação de dosagens em laboratório para obras marítimas, para pavimentos, para concreto refrigerado, estudos de composição de cimento, estudos para dosagens de concretos e argamassas.

PRÊMIO GILBERTO MOLINARI

RECONHECIMENTO AOS RELEVANTES SERVIÇOS PRESTADOS AO IBRACON

Reconhecimento e memória do engenheiro que dedicou sua vida profissional ao IPT e foi eleito o primeiro presidente do IBRACON – conferido a 43 profissionais



Jéssica Andrade Dantas recebe o prêmio do conselheiro do IBRACON, Eng. Douglas Couto

No Instituto Mauá de Tecnologia, foi bicampeã no Concrebol, campeã no Ousadia e campeã no COCAR. Hoje, é diretora de Atividades Estudantis do IBRACON. Atua como Coordenadora de Qualidade e Desenvolvimento Tecnológico na Cyrela.



Jéssika Pacheco recebe o prêmio do diretor de marketing do IBRACON, Eng. Alexandre Brites

Engenheira civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, sócia na empresa PhD Engenharia, atuando na área de Patologia das Estruturas de Concreto, Tecnologia dos Materiais de Construção Civil, Projeto de Reabilitação Estrutural e Concreto Educacional. Diretora de Cursos do IBRACON.



Francisco Mendes Lima recebe o prêmio do assessor da presidência. Eng. Jaques Pinto

Engenheiro civil pela Universidade Estadual de Londrina, diretor da Associação Brasileira de Construtores (Abrasco), diretor regional do IBRACON e diretor da Mendes Lima Engenharia, onde já executou mais de 100 mil metros quadrados de subsolos, lajes e estruturas.



PRÊMIO ARGOS MENNA BARRETO



Galid Osman Didi recebe o prêmio do diretor 2º tesoureiro do IBRACON, Eng. Hugo Armelin

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÕES DE CONCRETO

Reconhecimento e memória do engenheiro que presidiu o IBRACON de 1985 a 1989, memorável presidente da ABCP e reconhecido construtor – conferido a 23 profissionais

Diretor-superintendente da Polimix, que, há mais de 45 anos, atua no setor de construção civil, nas áreas de prestação de serviços de concretagem (220 unidades no Brasil, América Latina e Estados Unidos), agregados (pedra, areia industrial, asfalto e agregado reciclado), cimentos (7 unidades e 8 centros de distribuição), argamassas e cal.

PRÊMIO FRANCISCO DE ASSIS BASÍLIO



Fernando Celotto Montija recebe prêmio do assessor da diretoria técnica, Eng. Emílio Minoru Takagi

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE CONCRETO NA REGIÃO DO CBC

Reconhecimento e memória do engenheiro fundador do IBRACON, seu presidente de 1975 a 1977, aclamado sócio honorário em 1990 – conferido a 36 profissionais

Tecnologista responsável por centrais de concreto localizadas em dez estados.

Gerente de produtos e de desenvolvimento técnico de mercado em indústria fabricante de cimento da região Centro-Oeste.

Hoje, é diretor de escritório de engenharia que presta serviços para indústrias de cimento, concreto, agregados e aditivos, e para construtoras.

PRÊMIO LOBO CARNEIRO



Guilherme Aris Parsekian recebe prêmio da conselheira do IBRACON, Eng^a Íria Doniak

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE PESQUISA EM ESTRUTURA DE CONCRETO

Reconhecimento e memória ao doutor *honoris causa* da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade Federal da Bahia, pesquisador do Instituto Nacional de Tecnologia por 32 anos – conferido a 10 profissionais

Professor associado da UFSCar, onde coordena um grupo e laboratório dedicado à pesquisa e aprendizagem de concreto e alvenaria estrutural. Foi membro do Comitê Técnico e Nacional do SINAT. Diretor de Publicações do IBRACON e Editor-Chefe do *IBRACON Structures and Materials Journal*. Coordenador do Comitê de Norma ABNT em Alvenaria Estrutural, que unificou as normas publicadas em 2020.

PRÊMIO LUÍS ALFREDO FALCÃO BAUER



Eliana Cristina Barreto Monteiro recebe o prêmio da assessora da diretoria de atividades estudantis, Eng. Patrícia Falcão Bauer

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ESTRUTURA DE CONCRETO

Reconhecimento e memória do engenheiro precursor do projeto de qualidade na construção civil por meio de laboratórios volantes que prestavam atendimentos em obras, com primeiro laboratório credenciado pelo Inmetro – conferido a 17 profissionais

Consultora em inspeção, diagnóstico e recuperação de Estruturas de Concreto. Professora Livre Docente da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI-UPE) e da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Publicou mais de 500 trabalhos em congressos, revistas nacionais e internacionais, e capítulos de livros.



PRÊMIO EPAMINONDAS MELO DO AMARAL FILHO



Roberto Christ recebe prêmio do assessor da diretoria de publicações, Eng. Paulo Fernando Araújo

DESTAQUE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE ESTRUTURA DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

Reconhecimento e memória do diretor técnico e consultor da Construções e Comércio Camargo Corrêa e presidente do IBRACON – conferido a 20 profissionais

Professor do curso de Engenharia Civil da Unisinos, presidente da Alconpat Brasil e assessor da diretoria de Pesquisa e desenvolvimento do IBRACON.

Trabalha em pesquisa e consultoria em concreto de ultra alto desempenho (UHPC) há mais de 12 anos.

DURABILIDADE DO CONCRETO

Durabilidade do Concreto

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



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT

Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

- **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

Patrocínio



Prêmio de Teses e Dissertações

Para prestigiar os trabalhos cadastrados no CONCRETO Brasil, banco de teses e dissertações dedicadas ao concreto, o IBRACON criou o Prêmio de Teses e Dissertações.

Desde 2006, o IBRACON seleciona alternadamente a cada ano o conjunto de dissertações ou teses defendidas até dois anos antes e escolhe um trabalho na área de estruturas e outro na área de materiais e técnicas por se destacarem quanto à atualidade, qualidade e contribuição ao conhecimento e para a sociedade.

Este trabalho é feito por comissões compostas por integrantes da academia e do mercado, com excelente formação profissional e larga experiência de atuação.

Por conta da pandemia, foram premiadas as dissertações de 2021 e as teses de 2022 na cerimônia de abertura do Congresso Brasileiro do Concreto - Jubileu de Ouro. Os vencedores ganharam inscrições gratuitas na próxima edição do evento, terão seus trabalhos publicados na Revista CONCRETO & Construções e foram agraciados com uma quantia em dinheiro, por conta dos patrocínios das empresas Qualify e IDD. Já, os autores dos trabalhos que receberam a honra ao mérito receberam tablets.

Confira os premiados!

2021

PRÊMIO DISSERTAÇÃO EM ESTRUTURAS

Punção em lajes lisas com diferentes tipos de ancoragem para a armadura de cisalhamento

AUTOR: Victor Hugo de Oliveira

ORIENTADOR: Guilherme Sales Melo

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



Victor Hugo de Oliveira recebe o prêmio do diretor de relações institucionais do IBRACON, Prof. César Daher

PRÊMIO DISSERTAÇÃO EM MATERIAIS E TÉCNICAS

Vida útil de concretos produzidos com utilização de sílica ativa e metacaulim frente ao ataque por cloretos: indicadores de durabilidade e análise probabilística

AUTOR: Gustavo Bosel Wally

ORIENTADORES: Fábio Costa Magalhães e Mauro de Vasconcelos Real

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE



Gustavo Bosel Wally recebe prêmio do diretor de certificação do IBRACON, Eng. Adriano Damásio



2022

PRÊMIO TESE EM ESTRUTURAS

Análise experimental da resistência à punção em lajes lisas com armadura de cisalhamento parcialmente ancoradas

AUTOR: Henrique Jorge Nery de Lima

ORIENTADOR: Guilherme Sales Melo

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



Henrique Jorge de Lima recebe o prêmio do diretor de publicação do IBRACON, Prof. Guilherme Parsekian

PRÊMIO TESE EM MATERIAIS E TÉCNICAS

Análise da eficácia dos mecanismos de autocicatrização do concreto

AUTORA: Fernanda Pacheco

ORIENTADOR: Bernardo Tutikian

UNISINOS



Fernanda Pacheco recebe prêmio do diretor 1º secretário do IBRACON, Prof. Cláudio Sbrighi Neto

Sócios-honorários

O título de sócio-honorário é a maior comenda concedida a um profissional pelo IBRACON. Têm direito ao título os profissionais brasileiros ou estran-

geiros, com reconhecido mérito técnico ou científico na área de atuação do Instituto. Sua concessão é proposta pelo Conselho Diretor e referendada pela Assembleia Geral.

Na solenidade de abertura do Congresso Brasileiro do Concreto – edição Jubileu de Ouro, foram concedidos os títulos de sócios-honorários aos profissionais:

ENG. LUIZ PRADO VIEIRA JÚNIOR (EM MEMÓRIA)



Luiz de Brito Prado Vieira recebe o título concedido ao seu pai dos sócios-fundadores do IBRACON, Eng. Cláudio Sbrighi Neto e Eng. Selmo Kuperman



Luiz Prado como coordenador de mesa do Seminário do Construtor no 61º Congresso Brasileiro do Concreto

Como engenheiro na EPT realizou inspeções, ensaios, laudos técnicos e assessoria de projeto de obras na Ponte do Perequê, em Cubatão (SP), na linha Norte-Sul do Metro de São Paulo e nos conjuntos residenciais da Universidade de São Paulo.

Na Themag Engenharia, como chefe do setor de tecnologia e instrumentação, participou de projetos de obras como as usinas hidrelétricas de Itaipu, Tucuruí, Água Vermelha, Paulo Afonso e Guarapiranga; como engenheiro especialista da Divisão de Materiais e Métodos Construtivos, foi responsável pelo projeto e acompanhamento de concretagens especiais para a Cosipa e pelo planejamento construtivo de obras, como Usina de Reprocessamento de Materiais Nucleares e Linha Vermelha do Metrô de São Paulo; como gerente de projeto e engenheiro consultor, participou em projetos do Aeroporto de Brasília, Terminal Portuário de Sergipe, Piscinão do Pacaembu, entre outras obras.

Em 2003, foi homenageado pelo IBRACON com um dos maiores prêmios, o Ary Torres, por sua atuação destacada na área de tecnologia das estruturas de concreto no Brasil.

Sócio-fundador do IBRACON, foi diretor de eventos por cinco gestões do Instituto Brasileiro do Concreto, com recordes de participação de palestrantes e inscritos, razão pela qual recebeu, em 1999, o Prêmio Gilberto Molinari, de reconhecimento aos serviços prestados ao IBRACON.



ENG. JULIO TIMERMAN



Julio Timerman recebe o título de sócio-honorário do diretor de eventos do IBRACON, Eng. Rafael Timerman

Foi presidente da ABECE de 2002 a 2004 e vice-presidente da IABSE de 2010 a 2014.

Desde 2006 vem atuando na diretoria do IBRACON, onde implantou o programa de certificação de Pessoal, e foi presidente em duas gestões sucessivas (2015-2017/2017-2019).

Pelos serviços prestados ao IBRACON, recebeu, em 2009, o Prêmio Gilberto Molinari.

Já por sua atuação destacada e diversificada na engenharia consultiva, recebeu, em 2005, o Prêmio Emilio Baumgart.

Sócio-diretor da Engeti Consultoria e Engenharia, que presta consultoria para concessionárias de rodovias, com intervenções em mais de 300 mil metros quadrados de tabuleiros.

ENG. NELSON COVAS



Eng. Nelson Covas recebe o título de sócio-honorário do conselho do IBRACON, Eng. Alio Kimura

Trabalhou em empresas de projeto de estruturais e informática, como Maubertec, Promon, Intertec e Método.

Vem atuando no desenvolvimento, utilização e implantação de sistemas computacionais aplicados à engenharia estrutural de concreto armado e protendido há 40 anos.

Em 1986, fundou a TQS, onde é diretor.

Ex-membro do Conselho Deliberativo do Instituto de Engenharia; fundador, ex-diretor e membro do Conselho Deliberativo da ABECE; Ex-diretor e ex-membro do Conselho Diretor do IBRACON.

Agraciado com o Prêmio Emilio Baumgart em 2006.

Lançamentos editoriais no Congresso Brasileiro do Concreto

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710>) (fabio@ibracon.org.br)

Quatro lançamentos editoriais, com sessões de autógrafos, foram feitos no Congresso Brasileiro do Concreto - edição Jubileu de Ouro, de 11 a 14 de outubro, em Brasília.

COLEÇÃO ESTRUTURAS DE CONCRETO

A nova publicação trata do comportamento, dimensionamento e projeto de estruturas de concreto, desde conceitos básicos sobre histórico, materiais e elementos, dimensionamento de lajes, vigas, pilares, fundações e outros elementos especiais em concreto armado. O primeiro volume e segundo volume contemplam tópicos básicos, fundamentais no ensino de curso de graduação em engenharia civil. O terceiro volume contempla tópicos complementares, aprofundando os conceitos e que pode ser utilizado em cursos de pós-graduação. Todos os volumes são fundamentais também para profissionais atuantes que desejam se atualizar.

O projeto de desenvolvimento dessa coleção de livros surgiu com o objetivo de padronizar com alto nível de excelência o



Autores da Coleção no final da sessão de lançamento

ensino de estruturas de concreto armado no Brasil. Inicialmente foi feito um estudo de ementas de cursos de graduação de diferentes universidades para se chegar em uma proposta para os tópicos a serem abordados nos capítulos.

Foram convidados vários autores, na sua grande maioria professores universitários, de todas as regiões do Brasil. A coleção completa tem cerca de 55 autores.

A coordenação ficou a cargo de cinco editores, Alio Ernesto Kimura (TQS Informática), Guilherme Aris Parsekian (UFSCar) Luiz Carlos de Almeida (UNICAMP), Sergio Hampshire de Carvalho Santos (UFRJ) e Túlio Nogueira Bittencourt (USP), com responsabilidade de revisar o desenvolvimento de todos os capítulos. Esse trabalho começou há cerca de três anos e, agora, dá o primeiro fruto que foi a finalização do volume 1.

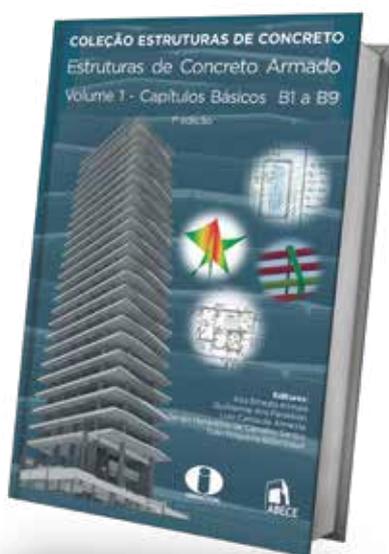
O primeiro volume tem nove capítulos: B1 - Histórico e Aplicações; B2 - Propriedades dos Materiais; B3 - Análise de Sistema Estruturais; B4 - Ações e Segurança; B5 - Comportamento Conjunto Entre Armadura e Concreto; B6 - Conceitos Básicos; B7 - Flexão Normal Simples - Vigas e Lajes - ELU; B8

- Força Cortante - Viga e Laje Maciça; e B9 - Torção em Viga.

A ideia é que a publicação seja a referência nacional para ensino de concreto armado em curso de graduação em engenharia civil e também para cursos de atualização, especialização e mestrado/doutorado. Portanto, é dirigida para alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia Civil, e para profissionais engenheiros civis atuantes.

A previsão é que os dois outros volumes sejam lançados em 2023 e 2024.

O IBRACON, em parceria com a ABECE, a partir da contribuição voluntária dos vários autores, promove o desenvolvimento do Brasil, com a disponibilização de material didático de excelência para formação profissional na área de engenharia de estruturas, especificamente em concreto armado. Houve ainda um "efeito secundário" no projeto, que foi a grande interação entre os autores de todas regiões do Brasil, o que contribuiu para a formação de grupos de estudo e pesquisas futuras. O próprio desenvolvimento de futuras normas técnicas na área deverá ter influência dos grupos criados neste projeto.



PRÁTICA RECOMENDADA: ABNT NBR 9062: 2017 COMENTÁRIOS E EXEMPLOS

A publicação foi pensada e desenvolvida para disseminar o correto entendimento do texto normativo da ABNT NBR 9062: 2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldados, sendo complementar à própria norma brasileira, a fim de facilitar seu uso nos escritórios de projeto, nas indústrias e nas construções.

Fruto da iniciativa do IBRACON e da ABCIC, no âmbito do CT 304 - Comitê Técnico de Pré-Fabricados de Concreto, que, em 2017, iniciou as reuniões para o desenvolvimento de uma prática recomendada que abrangesse comentários e exemplos numéricos de aplicação da norma recém-lançada.

Com vista a abranger as etapas de projeto, execução e montagem das estruturas pré-fabricadas na publicação, o CT 304 convidou a ABECE para participar das reuniões, que coordenadas pela presidente-executiva da ABCIC, Íria Doniak, e secretariadas pelo diretor da TQS, Rodrigo Nurnberg.

Os 20 autores da publicação tiveram seus textos debatidos previamente pelo CT-304 e posteriormente revisados por 12 revisores, pelo coordenador, pelo secretário e pelo diretor técnico da ABCIC à época, o engenheiro Marcelo Cuadrado Marin.

O resultado dessa intensa discussão foi a publicação de uma obra dividida em duas partes. A primeira parte é dedicada aos comentários do texto normativo. São explicados conceitos, comportamentos de



elementos, especificações, processos de cálculo e são feitas recomendações e apontadas referências.

A segunda parte é dedicada a exemplos numéricos associados às formulações e conceitos presentes na norma brasileira. Os autores tiveram o cuidado de detalhar como cada expressão deve ser utilizada e como o conjunto delas é associado ao dimensionamento de vários elementos estruturais.

A publicação é voltada a todos que

pretendem utilizar o concreto pré-moldado como solução em projetos e obras destinadas a diferentes segmentos da economia, em distintas tipologias, de forma isolada ou em combinação com outros sistemas construtivos.

PRÁTICA RECOMENDADA: ESTRUTURAS DE CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO (UHPC)

A publicação aborda os aspectos de projeto de estruturas e de controle da qualidade do concreto de ultra alto desempenho (UHPC), tratando dos requisitos relativos à resistência mecânica, manutenção e durabilidade de estruturas de UHPC.

O concreto de ultra alto desempenho (UHPC) coberto pela prática recomendada é aquele com adição de fibras com resistência à compressão (f_{ck}) entre 150 MPa e 250 MPa, resistência à tração (f_{ctk}) maior que 6 MPa e comportamento suficientemente dúctil.

A prática recomendada foi desenvolvida nos últimos três anos dentro de um grupo de trabalho no âmbito do CT 303 - Comitê IBRACON/ABECE - Uso de materiais não convencionais para estruturas de concreto, fibras e concreto reforçado com fibras.

Buscou-se compilar as experiências



Autores da Prática Recomendada lançada pelo CT 304 durante sessão de autógrafos no estande do IBRACON na Feibracon

internacionais e as pesquisas brasileiras relacionadas ao dimensionamento de estruturas e procedimentos para a realização de ensaios do UHPC.

Seus autores são os pesquisadores Ana Elisabete Jacintho, Daniel de Lima Araújo, Lia Lorena Pimentel, Marco Antonio Cárnio, Renata Monte e Roberto Christ.

A prática recomendada é voltada aos profissionais da área de projeto de estruturas, de empresas de pré-moldados e de insumos para concreto, bem como aos estudantes e pesquisadores de universidades.

“A publicação contribui de forma significativa para posicionar a engenharia brasileira num patamar de ponta, junto com outros países que já têm publicações sobre o UHPC”, avaliou o coordenador do CT 303, Eng. Marco Antônio Cárnio.

CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA

A terceira edição do livro “Concreto: Ciência e Tecnologia”, obra originalmente lançada em 2005 para suprir a lacuna por uma bibliografia técnica nacional sobre o concreto para os cursos de arquitetura e engenharia civil do

país, foi ampliada e atualizada.

Campeão de vendas, o livro é um compêndio do conhecimento consolidado no país sobre o concreto, seus componentes, seu comportamento no estado fresco e endurecido, suas propriedades especiais, suas inovações, as características para sua dosagem, confecção, os fatores e mecanismos envolvidos em sua durabilidade.

A obra, dividida em 47 capítulos, em dois volumes, somando 2055 páginas, foi escrita por 64 profissionais de excelência técnica e científica, vivência e experiência em suas respectivas áreas de atuação. Esses profissionais, associados do IBRACON, doaram suas horas técnicas e seus conhecimentos, por meio de sua colaboração proativa, desinteressada e voluntária, em benefício do crescimento e da melhoria do setor no país.

O livro contém referências a normas e procedimentos consagrados no país, bem como a pesquisas científicas realizadas em universidades e institutos brasileiros, além



de citações a obras e projetos da engenharia nacional.

Os editores - Bernardo Tutikian, Fernanda Pacheco, Geraldo Isaia e Inês Battagin - conseguiram agregar as contribuições dos autores num todo coeso e sistêmico, necessário para o bom entendimento dos problemas, que foram tratados com competência e objetividade, o que faz do livro consulta obrigatória para estudantes e pesquisadores da engenharia civil e da arquitetura, e para os profissionais que atuam com o concreto. ©

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



Prêmio Maria Alba Cincotto é conferido ao artigo do ano do Congresso

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710>) (fabio@ibracon.org.br)

O concurso “O Artigo do Ano” foi criado, em 2018, para prestigiar os trabalhos técnico-científicos apresentados nas edições do Congresso Brasileiro do Concreto. Podem participar todos os trabalhos submetidos a cada edição do evento, mas os autores devem optar por se inscrever no concurso.

Os trabalhos inscritos são, então, agrupados por macrorregião – Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste – quando é estipulada uma nota de corte, máxima nota obtida pelos trabalhos de uma macrorregião. Os trabalhos com notas iguais ou acima da nota de corte são julgados pelas comissões macrorregionais, formadas por profissionais indicados pelos diretores regionais do IBRACON que compreendem as respectivas regiões.

Cada comissão macrorregional escolhe dois artigos com base num conjunto de critérios estabelecidos no Regulamento do concurso – conteúdo técnico, rigor metodológico, sustentabilidade e originalidade/inação.

A Comissão Nacional, formada por cinco representantes do IBRACON, escolhe o artigo que vai representar cada macrorregião no Congresso, com base nos mesmos critérios.

Esses cinco trabalhos são apresentados no evento para uma comissão julgadora, formada por conselheiros e diretores do IBRACON indicados por seu presidente, em conjunto com o diretor técnico. Cada autor principal é avaliado quanto à postura, desenvoltura, clareza, oratória, domínio do conteúdo técnico, qualidade da apresentação, respeito ao tempo e consistência das respostas às questões formuladas pela banca.



Autores dos cinco artigos selecionados para representarem as cinco macrorregiões brasileiras no concurso de 2022

Para homenagear a prestigiada pesquisadora brasileira recém-falecida Maria Alba Cincotto, sócia-fundadora do IBRACON, que dedicou sua vida profissional à química de materiais, estudando fenômenos patológicos associados a revestimentos de argamassas, identificando agentes agressivos ao concreto em águas subterrâneas, estudando adições ao cimento, primeiramente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e mais recentemente na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), o prêmio ao artigo do ano passará a se chamar Maria Alba Cincotto.

Ganha o concurso o trabalho com a maior pontuação entre os cinco finalistas.

Este ano, inscreveram-se para o concurso 191 trabalhos. Destes, 21 foram julgados pelas comissões macrorregionais, por igualarem ou superarem a nota de corte.

“No Congresso Brasileiro do Concreto – Jubileu de Ouro, perpetuamos meritariamente o nome de uma das maiores pesquisadoras do Brasil, a Profª Dra. Maria Alba Cincotto, que fez sua partida em maio de 2022, no troféu do grande vencedor”, reafirmou o diretor técnico do IBRACON, Eng. Carlos Brites.

Quem levou o Prêmio Maria Alba Cincotto do Congresso Brasileiro do



Rayane Lopes recebe o Prêmio Maria Alba Cincotto pelo artigo do ano da edição Jubileu de Ouro do Congresso Brasileiro do Concreto

Concreto - edição Jubileu de Ouro foi o trabalho da Região Centro-Oeste "Avaliação da resistência à penetração de cloretos em concretos pelo ensaio de difusão em estado não estacionário", dos autores Andrielli Moraes de Oliveira, Rayane Lopes e Oswaldo Cascudo, da Universidade Federal de Goiás.

"Certamente esta foi a edição mais acirrada em função da qualidade dos artigos finalistas e temas atuais relevantes, fato corroborado pela banca do congresso. Além disso, quebrou-se a hegemonia da macrorregional Sudeste, que venceu os concursos anteriores, pelo excelente artigo vencedor da macrorregional Centro-Oeste", avaliou Brites.

A premiação ocorreu no Jantar de Confraternização, no dia 14 de outubro. Os vencedores levaram uma placa e um certificado com a menção da premiação, além de 10 mil reais, oferecidos pelo patrocinador CEB - Chimica Edile do Brasil.

O segundo colocado - da Região Nordeste - ganhou um tablet, oferecido pelo patrocinador Corr Brasil/Cortec.



Macrorregião	Código	Título do Artigo
Norte	63CBC0267	Resistência Experimental de Ligações Laje-Pilar com Barras Treliçadas Pré-Fabricadas como Armadura de Punção
Nordeste	63CBC0039	Análise Experimental de Colunas de Concreto Armado com Barras de GFRP sob Carregamento Lateral Monotônico e Cíclico
Centro-Oeste	63CBC0493	Avaliação da Resistência à Penetração de Cloretos em Concretos pelo Ensaio de Difusão em Estado Não Estacionário
Sudeste	63CBC0147	Comportamento Mecânico de Compósitos Cimentícios Reforçados com Tecidos de Fibra de Vidro e Sisal
Sul	63CBC0038	Uso do Método de Monte Carlo no Estudo de Empacotamento de Partículas em Microcompósitos Ecoeficientes de Cimento Portland

Finalistas do 4º Concurso "O Artigo do Ano"

"O Concurso 'O Artigo do Ano' já está consolidado no Congresso Brasileiro do Concreto: até a sua 4ª edição, já abrangeu todas as 24 regionais e 5 macrorregionais do país, com cerca de 2.500 artigos participantes, envol-

vendo o incrível número de cerca de 7.500 autores. Esses são pesquisadores de todo Brasil disputando um dos prêmios nacionais mais importantes para acadêmicos da área do concreto!", concluiu Brites. ☺

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

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





ANTONIO CARLOS ZORZI

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

Autor: Antonio Carlos Zorzi

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

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

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237
 Formato: 18,6 cm x 23,3 cm
 Páginas: 195
 Acabamento: Capa dura
 Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aquisição:
www.ibracon.org.br
 (Loja Virtual)

Concursos retomados presencialmente motivam e integram engenheirandos

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710>) (fabio@ibracon.org.br)

Depois de dois anos de uma espera angustiante, com as faculdades e laboratórios fechados por conta da pandemia, os estudantes puderam, neste ano, retomar as atividades escolares e reestruturar suas equipes para participarem dos concursos técnicos do IBRACON.

Como confidenciou o aluno de terceiro ano de engenharia civil do Instituto Mauá de Tecnologia, Gustavo Arcanjo Cunha, estava difícil conter a ansiedade: “Eu tinha escutado os depoimentos dos antigos integrantes da equipe Mauá sobre a emoção de participar das competições”. Ele pode participar neste ano dos concursos estudantis promovidos pelo IBRACON no Congresso Brasileiro do Concreto – edição Jubileu de Ouro, que aconteceu de 11 a 14 de outubro, em Brasília. Cunha expõe sua experiência por ter participado: “Foi uma experiência incrível – conhecer pessoas que são referência na área e a integração entre as faculdades de todo país fizeram este meu primeiro congresso ficar para sempre na memória”.



Momento de descontração e motivação na Arena dos Concursos

O objetivo dos concursos é estimular os alunos aprenderem mais sobre o concreto, por meio de uma atividade extracurricular que os leva a trabalhar em equipes,

buscando conhecimento teórico e a aplicando-o para superar os desafios trazidos pelos Regulamentos dos concursos.

“Em 2015, na minha instituição, montamos uma equipe para participar dos torneios estudantis. Infelizmente, com a pandemia tivemos limitações, mas a diretoria do IBRACON, sabendo de toda importância dessas competições para os futuros engenheiros e arquitetos, elaborou competições virtuais, o que mostrou o quanto a engenharia é capaz de solucionar problemas frente a tantas dificuldades”, opinou o professor da PUC Minas e coordenador da Equipe Concreto Uai, vencedora de duas competições em 2022.

Ele se referiu a três competições virtuais promovidas pelo IBRACON em 2019. Os concursos Ousadia, Concregame e Concurso DIY (*Do it yourself*) – edição Concreto Criativo. Do Ousadia, participaram 12 projetos que reuniram 209 alunos. O concurso foi patrocinado pelas empresas GP&D e Mendes Lima. Já, do Concregame, quiz sobre o concreto e suas estruturas,



Equipe da Universidade de São Carlos, vencedora do CONCREGAME e do Ousadia 2021, na cerimônia de premiação no Congresso Brasileiro do Concreto – edição Jubileu de Ouro

participaram 14 equipes reunindo 60 alunos. A competição foi patrocinada pela Concrefuji. O concurso DYI contou com a participação de 12 projetos e patrocínio da MC Bauchemie.

Na cerimônia de abertura do Congresso, houve a premiação presencial das equipes vencedoras de duas dessas competições. Os vencedores do Ousadia foram: USP São Carlos (1º lugar), Universidade Federal da Bahia (2º lugar) e Instituto Mauá de Tecnologia (3º lugar). Já, os vencedores do Concregame foram: USP São Carlos (1º lugar), Universidade Federal da Bahia (2º lugar) e Universidade Federal do Espírito Santo (3º lugar).

Conheça os vencedores dos concursos realizados em Brasília, no Congresso Jubileu de Ouro!

CONCURSO CONCRETO COLORIDO DE ALTA RESISTÊNCIA (COCAR)

O concurso desafia os competidores a confeccionarem concretos coloridos de alta resistência à compressão.

A pontuação das equipes é decorrente de três etapas: caracterização do corpo de prova quanto às suas dimensões e massa; determinação de sua resistência à compressão, que, neste ano, tinha como desafio atingir a resistência alvo de 150 MPa; e análise da coloração e homogeneidade interna.

Participaram da competição 127 alunos divididos 12 equipes com 33 corpos de prova.

Em primeiro lugar, ficaram as equipes Concreto UAI, da PUC Minas, e Concreto



Equipe da Universidade Tecnológica Federal do Paraná comemora terceira colocação no Jantar de Confraternização

FEI, do Centro Universitário FEI. Em terceiro lugar, ficaram as equipes Barra Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e Strongertech, da Facens.

A razão para não haver segundo lugar e para o empate de duas equipes em primeiro lugar pode ser conhecida no Memorial de Cálculo no site do evento.

O concurso foi patrocinado pela Lanxess.

CONCURSO CONCREBOL

Construir uma esfera leve e resistente de concreto, com dimensões estabelecidas, capaz de rolar numa trajetória retilínea. Este é o desafio do Concurso Técnico CONCREBOL, que testa as capacidades dos competidores em desenvolver concretos homogêneos e resistentes, bem como métodos construtivos racionalizados.



Equipes da PUC Minas e da FEI, que comemoraram primeiro e segundo lugar na competição, respectivamente, acabaram empatadas com a reinterpretação do Regulamento

A pontuação final é formada por coeficientes relativos a medidas de diâmetro, volume e massa da bola; de uniformidade física da bola; e de resistência à compressão do concreto.

Participaram da competição 129 alunos agrupados em 10 equipes com 18 bolas. O concurso foi patrocinado pelo Grupo Equilibrata.

CONCURSO APARATO DE PROTEÇÃO AO OVO (APO)

A competição desafiava os estudantes a projetar e construir um pórtico de concreto armado com fibras ou em concreto armado com dispositivos de ancoragem embutidos, resistente às cargas crescentes de impacto. O concurso testa a capacidade

PREMIAÇÃO CONCREBOL 2022

1º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
Instituto Mauá de Tecnologia	Concreto Mauá	11,154

2º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
FEI	Concreto FEI	2,523

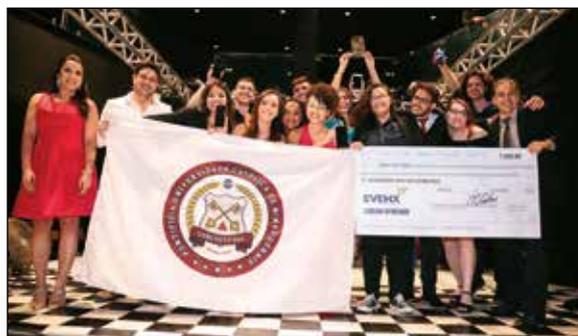
3º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
Mackenzie	Mack Concreto	1,899

PREMIAÇÃO APO 2022

1º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
PUC Minas	Concreto UAI	7

2º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
FACENS	FACENS	2,5

3º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
FEI	Concreto FEI	2,5



dos alunos em desenvolver elementos estruturais resistentes a cargas dinâmicas, tirando o máximo proveito das propriedades do concreto armado.

Os pórticos têm suas dimensões avaliadas e suas massas determinadas antes dos ensaios. Os aparatos que não atendem aos requisitos do Regulamento são desclassificados.

Nesta edição, se inscreveram 9 equipes, totalizando 128 estudantes, que concorreram com 14 aparatos.

No ensaio de carregamento dinâmico os pórticos têm que resistir ao impacto de um cilindro metálico, com 50 mm de diâmetro e massa de 15 kg, solto de alturas progressivas de um metro a 2,5 metros.

Vence o concurso a equipe cujo APO suporta a máxima carga (soma das alturas de impacto) antes de o ovo ser danificado. No caso de um empate entre equipes, com a mesma energia de impacto, será considerado vencedor o APO com a menor perda de massa.

O concurso foi patrocinado pela Evehx.

CONCURSO OUSADIA

Elaborar o projeto básico estrutural de uma obra de concreto e desenvolver o planejamento preliminar de sua construção, com vistas a apresentar uma solução ousada. Esta é a proposta do Concurso Ousadia.

Os objetivos do concurso ousadia são: desenvolver a aptidão dos alunos na concepção de projetos de concreto ousados, seguros, duráveis, viáveis econômica e sustentavelmente, de fácil manutenção e harmonicamente inseridos em seus contextos local, cultural e histórico; e aumentar o entrosamento entre estudantes de arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Participaram da competição 4 equipes com 5 projetos, totalizando 27 alunos.

As equipes tiveram que elaborar um projeto básico de interligação entre os bairros Ceilândia e Samambaia, em Brasília, que contemplasse um dispositivo em desnível com obras de artes estruturais em concreto, para facilitar o acesso à avenida Elmo Serejo e promover a requalificação urbanística do entorno.

Os projetos inscritos foram avaliados preliminarmente sob o critério de estabilidade. Os que passaram nesta fase foram avaliados, numa segunda etapa, por uma comissão local. Por fim, cada projeto exposto na Arena dos Concursos recebeu uma pontuação para cada quesito avaliado pela comissão julgadora.

Os três projetos mais bem pontuados receberam os prêmios de Vencedor (1º lugar), Destaque (2º lugar) e Mérito (3º lugar).

O concurso foi patrocinado pela Mendes Lima e SKS Mineração.

PREMIAÇÃO OUSADIA 2022

1º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
USP São Carlos	ECON	47,38

2º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
PUC Minas	Concreto UAI	44,47

3º LUGAR



<u>INSTITUIÇÃO</u>	<u>EQUIPE</u>	<u>PONTUAÇÃO</u>
UFRJ	Minerva Civil UFRJ	44,47

CONCRETO: QUEM SABE FAZ AO VIVO

O concurso avalia os competidores quanto à capacidade de dosarem concretos autoadensáveis coesos e translúcidos, com baixo consumo de cimento e alta resistência à compressão em 24 horas.

Com a participação de 65 estudantes, cada uma das 13 equipes recebeu cimento, adições, agregados, aditivos e água, e teve

50 minutos para realizar a dosagem do concreto, para a moldagem de dois corpos de prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e de uma placa (em pé) de 15 cm de largura, 7,5cm de espessura e 30 cm de altura, e a limpeza da betoneira e bancada. Foram moldados 26 corpos de prova.

A pontuação final de cada equipe considera a resistência à compressão do corpo de prova, o consumo de cimento, os coeficientes de espalhamento, estabilidade visual e de acabamento superficial.

O concurso foi patrocinado pelo IDD e pela Votorantim Cimentos.

CONCURSO CONCRETO: QUEM SABE FAZ AO VIVO 2022

1º LUGAR



INSTITUIÇÃO	EQUIPE	PONTUAÇÃO
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	Concreto UFMS	290,86

2º LUGAR



INSTITUIÇÃO	EQUIPE	PONTUAÇÃO
Instituto Mauá de Tecnologia	Concreto Mauá	259,44

3º LUGAR



INSTITUIÇÃO	EQUIPE	PONTUAÇÃO
Escola de Engenharia de Piracicaba	EEP	237,18

MEDALHA CONCRETO E ARENA CRIATIVA



Equipe da PUC Minas comemora o recebimento da medalha CONCRETO IBRACON Jubileu de Ouro

Por seu desempenho no conjunto dos concursos, a equipe da PUC Minas ganhou a medalha CONCRETO IBRACON Jubileu de Ouro, bem como uma licença estudantil do software da TQS Informática para cada membro da equipe.

Além dos tradicionais concursos estudantis, todos os participantes inscritos no Congresso puderam participar da Arena Criativa, um espaço criado pela MC Bauchemie para promover a interação e o engajamento dos profissionais e estudantes que estavam participando do evento com seu produto 'Concreto Criativo fluido'.

Neste espaço de convívio e aprendizado, os participantes foram estimulados a botar a mão na massa, dosando e moldando com o 'Concreto Criativo fluido' para criarem uma peça de concreto com o logotipo do IBRACON Jubileu de Ouro em baixo relevo.

Esta peça, com desforma de seis horas, pode ser levada como recordação pelos 145 profissionais e estudantes que participaram da Arena Criativa.

Na avaliação do gerente de marketing da MC Bauchemie, Fábio Foz, "a experiência da Arena Criativa superou as expectativas ao oferecer aos amantes do concreto a oportunidade de criar sua própria peça em concreto. Foi realmente especial!"

Para motivar ainda mais os estudantes a interagirem durante o evento, houve ainda um espaço com várias modalidades de competições lúdicas valendo prêmios – cabo de guerra, agachamento, jogo da velha com copos etc. 🎮



Peça de concreto criada na Arena Criativa com o produto MC Concreto Criativo fluido

Concretos de consistência seca – conceitos, aplicações e cuidados executivos

PAULO FERNANDO A. SILVA – DOUTOR, DIRETOR EXECUTIVO (paulo.fernando@concremat.com.br) – CONCREMAT ENGENHARIA - CCCC

RESUMO

OS CONCRETOS DE CONSISTÊNCIA SECA SÃO CONCRETOS CUJO ABATIMENTO (“SLUMP”) É MENOR OU IGUAL A 6 MM. ESSES CONCRETOS SÃO COMPOSTOS POR CIMENTO, AGREGADO MIÚDO, BRITA E ÁGUA, E, ÀS VEZES, ADITIVO (POLIFUNCIONAL OU RETARDADOR DE PEGA). COMO EXEMPLO DESTES TIPOS DE CONCRETO TEM-SE O CCR (CONCRETO COMPACTADO COM ROLO) E A BGTC (BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO). ESTES TIPOS DE CONCRETO TÊM SIDO UTILIZADOS EM PAVIMENTOS (RÍGIDOS, FLEXÍVEL E INVERTIDO) E EM BARRAGENS. ESTE TRABALHO TEM POR OBJETIVO APRESENTAR OS PRINCIPAIS CONCEITOS A SEREM OBSERVADOS QUANDO DO ESTUDO DE CONCRETO DE CONSISTÊNCIA SECA, SUAS APLICAÇÕES E CUIDADOS EXECUTIVOS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO DE CONSISTÊNCIA SECA, COMPACTAÇÃO, RESISTÊNCIA MECÂNICA.

1. INTRODUÇÃO

Os concretos de consistência seca são concretos cujo abatimento (“Slump”) é menor ou igual a 6mm [1]. Esses concretos são compostos por cimento Portland, agregado miúdo, brita e água, e, às vezes, aditivo (polifuncional ou retardador de pega). Como exemplo deste tipo de concreto tem-se o CCR (Concreto Compactado com Rolo) e a BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento) (Figura 1).

Segundo a Especificação de Serviço do DNIT - ES 056/2013 [2], o Concreto Compactado com Rolo, CCR, é um concreto simples com baixo consumo de cimento e consistência seca, permitindo a compactação com rolos compactadores ou equipamento similar. A ES 056/2013 li-

mita o consumo de cimento entre 80 kg/m³ e 120 kg/m³, e cita que o CCR é utilizado para sub-base de pavimento rígido. Esta norma do DNIT exige um f_{ck} mínimo de 5,0 MPa aos 7 dias de idade.

A definição mais geral é que o CCR consiste em uma mistura de cimento, agregados bem graduados (curva granulométrica contínua), água, e, às vezes, aditivo. No Brasil, o consumo de cimento varia de 85 kg/m³ (barragem e camada de pavimento) a 200 kg/m³, e no exterior até 360 kg/m³, em função do tipo de aplicação. Há também o CCR de alto desempenho, desenvolvido na metade da década de 90, para áreas de alto impacto e cargas abrasivas [1]. Para este caso, se utiliza sílica ativa em sua composição.

O Concreto de Consistência Seca (CCR e BGTC) é transportado utilizando-se caminhões basculantes cobertos, para evitar a perda da umidade, espalhado com vibro acabadora (exceto para CCR empregado em barragem), e compactado com rolo liso vibratório, sendo seu acabamento realizado com rolo de pneu.

No passado, o CCR era conhecido como Concreto “Pobre Rolado”, em referência ao seu baixo consumo de cimen-



FIGURA 1
ESPALHAMENTO, COMPACTAÇÃO E ACABAMENTO DE CONCRETO DE CONSISTÊNCIA SECA

to. A seguir, é apresentado um exemplo de composição de CCR para Barragem:

- ▶ Areia artificial = 1075 kg/m³;
- ▶ Brita 12,5 mm = 145 kg/m³;
- ▶ Brita 25 mm = 214 kg/m³;
- ▶ Brita 50 mm = 700 kg/m³;
- ▶ Cimento = 119 kg/m³;
- ▶ Água = 139 kg/m³;
- ▶ Aditivo polifuncional = 1,76 kg/m³;
- ▶ Relação água/cimento = 1,16 l/kg.

Segundo a ET-DE-P00/009, do DER do Estado de São Paulo [3], a Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) é o produto resultante da mistura, em usina, de pedra britada, cimento Portland, água, e, eventualmente, aditivos, em proporções determinadas experimentalmente. Após a mistura, espalhamento, compactação e cura, este concreto adquire propriedades físicas específicas, para atuar como camada de base ou sub-base de pavimento.



FIGURA 2
VISTA DA USINA DE “SOLOS”

Os agregados são bem graduados e sua faixa granulométrica é contínua. Como referência, o teor de cimento utilizado em uma BGTC está compreendido entre 2,5% e 4,0%. Cumpre salientar que um baixo teor de cimento (inferior a 3,5%) tende a gerar uma mistura mais heterogênea e com baixa resistência mecânica. O teor de cimento, em massa, consiste na relação entre a massa de cimento e a massa de agregados. A seguir, é apresentado um exemplo de composição de uma BGTC (com percentuais em massa):

- ▶ Pó-de-pedra = 30%;
- ▶ Brita 12,5 mm = 19%;
- ▶ Brita 19 mm = 28%;
- ▶ Brita 25 mm = 20%;
- ▶ Cimento = 3%.

A mistura do CCR ou da BGTC pode ser feita em usina de “solos” (onde se utiliza misturador do tipo “pugmill”) (Figuras 2 e 3) ou em usina com misturador de eixo vertical (mais utilizada para fabricação de CCR). Apesar de, até o início dos anos 90, a mistura do CCR, para camada de pavimento, ter sido feita em caminhão betoneira, não se recomenda tal procedimento, pois não se obtém uma boa homogeneização do concreto.

Os concretos de consistência seca têm que ser trabalháveis, a fim de ser lançado e compactado. Devido à consistência do CCR e da BGTC ser seca, o tempo de mistura deverá ser maior do que para concreto plástico convencio-

nal, e deve-se usar de 60% a 70% da capacidade nominal do misturador.

Em face do tema em questão, que remonta concretos especiais de grande importância e aplicabilidade, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os principais conceitos a serem observados quando do estudo do Concreto de Consistência Seca,

suas aplicações, dosagem e cuidados executivos.

2. PROJETO DE DOSAGEM RACIONAL

As principais aplicações dos concretos de consistência seca são:

- ▶ Camada de base para pavimento semi-rígido: BGTC;
- ▶ Camada de sub-base para pavimento invertido: BGTC;
- ▶ Camada de sub-base para pavimento rígido: CCR;
- ▶ Camada de Revestimento (utilizada no exterior): CCR;
- ▶ Barragem de concreto com emprego de CCR.

As principais diferenças entre o CCR para aplicação em barragem ou em camada de pavimento se dão na dimensão máxima característica do agregado, no equipamento de moldagem dos corpos de prova (cp), na espessura aplicada (em camada de pavimento, a espessura é menor do que em barragem), e na forma de espalhamento.

Em barragem, emprega-se agregado de dimensão

máxima característica ($D_{máx}$) maior do que para camada de pavimento, como, por exemplo, $D_{máx}$ igual a 50 mm.

A norma DNIT 056/2013-ES cita que a dimensão máxima característica do agregado no concreto não deve exceder a 1/3 da espessura da sub-base ou 32 mm, obedecido o menor valor. Contudo, na prática, tanto para CCR quanto para BGTC, é recomendável não se utilizar agregado com $D_{máx}$ superior a 19 mm, a fim de reduzir a segregação e melhorar o empacotamento do concreto (das partículas). A faixa granulométrica é definida com base na equação desenvolvida por vários pesquisadores (Fuller, Talbot e outros), para misturas bem graduadas e densas:

$$[1] \quad p = 100 * (d / D_{máx})^n$$

Onde:

p = porcentagem que passa na peneira de abertura d;

d = abertura da peneira, em mm;

$D_{máx}$ = dimensão máxima característica do agregado no concreto, em mm;

n = Coeficiente de Talbot.

O Coeficiente de Talbot, n, adotado pela norma DNIT 056/2013-ES é igual a 0,33, que é o mesmo adotado em CCR para barragem. Quanto menor for o valor de n tanto mais fina será a mistura. Há outras especificações que adotam valores de n diferentes de 0,33, e que podem gerar misturas com maior resistência mecânica.

A moldagem dos corpos de prova, para CCR (para pavimento) ou BGTC,



FIGURA 3
VISTA DO MISTURADOR E CARREGAMENTO DO CONCRETO



FIGURA 4
MOLDAGEM DE CP COM SOQUETE DE PROCTOR

é feita com emprego do soquete de Proctor (Figura 4), e deve ser utilizada a Energia de Compactação Modificada, apesar das normas brasileiras estabelecerem a Energia Normal (CCR para pavimento) ou Intermediária (BGTC) [4]. Por imprimir maior esforço na compactação, o emprego da energia modificada aumenta a massa específica aparente seca máxima e, por conseguinte, aumenta as resistências à compressão axial, à tração e à fadiga, e por último, mas não menos importante, reduz o consumo de cimento. Um exemplo real disto ocorreu em uma importante obra viária no Estado de São Paulo, onde se em-

maior for a energia, tanto maior será o esforço de compactação. A energia de compactação é dada em kg.cm/cm^3 . A Energia Normal (ensaio normal de Proctor) é de, aproximadamente, 6 kg.cm/cm^3 , enquanto a Energia Modificada (ensaio modificado de Proctor) é de, aproximadamente, 25 kg.cm/cm^3 . Proctor era um engenheiro norte-americano, que, em 1933, propôs o ensaio original para determinar a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima. No caso de CCR para



FIGURA 5
MOLDAGEM DE CP EM MESA VIBRATÓRIA

pregou a Energia Modificada no lugar da Energia Normal, pois, no primeiro caso, o consumo de cimento foi igual a 95 kg/m^3 e, no segundo caso, o consumo de cimento foi igual a 165 kg/m^3 (este consumo superava o limite máximo estabelecido na Especificação, que era de 120 kg/m^3). Quanto

barragem, a moldagem é feita em mesa vibratória com frequência de 3500 rpm (Figura 5).

O controle da consistência do concreto é feito pelo ensaio de “Cannon Time” (Figura 6), com o emprego do equipamento Vebê. Por meio do ensaio “Cannon Time”, determina-se o tempo, em segundos, que uma fina camada de argamassa do concreto em análise leva para envolver toda a lateral da amostra e apareça (aflore) na superfície do concreto.

3. CUIDADOS EXECUTIVOS E CONTROLE DA QUALIDADE

A mistura do CCR ou da BGTC pode ser feita em usina de “solos” (onde se utiliza misturador do tipo “pugmill”) (Figura 2 e 3) ou em usina com misturador de eixo vertical (mais utilizada para fabricação de CCR). Deve-se evitar utilizar mistura muito seca, o que aumenta o risco de segregação, dificulta a compactação e pode gerar trincas na superfície do concreto [5]. Não é permitido produzir o CCR ou a BGTC e estocá-los, pois a partir do instante do contato da água

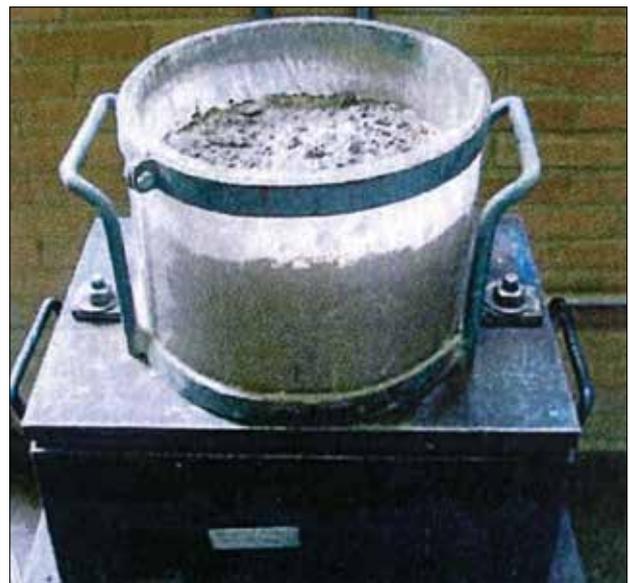


FIGURA 6
ENSAIO DE CONSISTÊNCIA DO CONCRETO
(ENSAIO DE *CANNON TIME*)

com o cimento, inicia-se o processo de hidratação do cimento e se o concreto não for aplicado dentro do prazo estabelecido, com base nos ensaios de laboratório, haverá uma redução da resistência mecânica, pela quebra das ligações iônicas, que são fortes. Isto é decorrente do manuseio do concreto após a hidratação do cimento, especificamente depois do tempo de início de pega, em que ocorre enrijecimento ou solidificação da pasta, o que provoca quebra de ligações e desagregação dessa consolidação inicial.

Os concretos de consistência seca deverão ser transportados por caminhão basculante, e o tempo máximo admissível desde a adição de água à mistura até o término da compactação deverá ser inferior ao tempo de início de pega do cimento (ET-DE-P00/009, do DER-SP). Já, a norma DNIT 056/2013-ES define como tempo máximo admissível desde a adição de água à mistura e o término da compactação em duas (2) horas. O tempo de transporte deverá ser o menor possível, e no máximo igual a 45 minutos [6].

O lançamento do concreto deverá ser feito de tal forma que não se formem pilhas cônicas e que haja a sobreposição de uma pequena camada sobre uma já basculada, a fim de se evitar a segregação.

O espalhamento do Concreto de Consistência Seca para pavimento (BGTC e CCR) deve ser feito obrigatoriamente com o uso de vibro acabadora, para evitar a segregação. Já, no caso de CCR para barragem, utilizam-se tratores esteira. Misturas com menores consumo de cimento ou que utilizem faixas gra-

nulométricas mais grossas (maior valor do Coeficiente de Talbot, n) tendem a ser mais susceptíveis à segregação, logo, maiores deverão ser os cuidados na mistura, transporte e espalhamento.

Para a compactação do CCR ou da BGTC, são empregados rolos lisos vibratórios e, especificamente para camada de pavimento, rolos de pneus (para dar acabamento). A compactação deverá ser contínua até que se atinja um Grau de Compactação de 100%. Se durante a execução do concreto, a temperatura ambiente for superior a 25°C, deverá ser aplicado o "Fog Spray", pelo tempo necessário para manter a umidade relativa acima de 85%, se possível, e desta forma minimizar o risco de fissuração.

Imediatamente após a compactação, deverá ser iniciada a cura do concreto. Os processos de cura normalmente empregados são:

- ▶ Aplicação de uma camada de Emulsão RR-2C, para concreto seco utilizado em camada de pavimento;
- ▶ Aplicação de produto de cura químico, para concreto seco utilizado em pavimento rígido;
- ▶ "Fog-Spray".

Deverá ser feito o Controle Tecnológico dos materiais e do concreto propriamente dito, além de um controle de qualidade mais amplo, com foco, principalmente, nos seguintes pontos:

- ▶ Granulometria da mistura (concreto);
- ▶ Resistência à compressão axial do cimento;
- ▶ Área específica "Blaine" do cimento;
- ▶ Teor de SO_3 do cimento;

- ▶ Consistência do concreto ("Cannon Time");
- ▶ Umidade do concreto;
- ▶ Tempo de transporte;
- ▶ Presença de material segregado no caminhão basculante ou no local de aplicação;
- ▶ Moldagem de corpo de prova, para determinação da resistência mecânica;
- ▶ Espessura da camada;
- ▶ Determinação do Grau de Compactação; e
- ▶ Início da cura.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Concretos de Consistência Seca são concretos cujo abatimento ("Slump") é menor ou igual a 6 mm [1]. Esses concretos são compostos por cimento Portland, agregado miúdo, brita e água, e, às vezes, aditivo (polifuncional ou retardador de pega). Como exemplo deste tipo de concreto tem-se o CCR (Concreto Compactado com Rolo) e a BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento). O CCR é utilizado tanto em camadas de pavimento quanto em construção de barragem. A BGTC é utilizada em camadas de pavimento. A principal diferença entre o CCR e a BGTC está no consumo de cimento e nas resistências mecânicas especificadas. No passado, afirmava-se que as curvas granulométricas da BGTC eram mais restritivas do que as do CCR.

O CCR e a BGTC, se bem executados, permitem a redução de custo da obra, reduzem o tempo de execução e aumentam a Vida de Serviço do pavimento. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Portland Cement Association. Design and Control of Concrete Mixture. Décima Quinta edição. Illinois, USA 2011, 460 p.
- [2] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT - NORMA DNIT 056/2013-ES - Sub-base de concreto de cimento Portland compactado com rolo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2013.
- [3] DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER-SP - ET-DE-P00/009- Sub-base ou Base de Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC. São Paulo, 2005.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - ABNT - ABNT NBR 12262- Sub-base ou Base de Brita Graduada Tratada com Cimento. Rio de Janeiro, 1991.
- [5] Portland Cement Association. Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements. Illinois, USA 2010, 114 p.
- [6] Silva, P. F. A. Manual de Concreto Projetado. São Paulo: Editora Arte Ensaios, 2022, 176 p.

Métodos de transporte de cloretos em concreto – uma análise crítica e comparativa

OSWALDO CASCUO - DOUTOR, PROFESSOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1879-6396>);

RAYANE CAMPOS LOPES - MESTRE (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1862-8854>) (clopesrayane@gmail.com);

ANDRIELLI MORAIS DE OLIVEIRA - DOUTORA, PROFESSORA (ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8977-785X>) - PPGGECON-UFG

RESUMO

ENSAIOS QUE AVALIAM E QUANTIFICAM O TRANSPORTE DE AGENTES AGRESSIVOS NOS CONCRETOS, COMO OS CLORETOS, POR EXEMPLO, SÃO IMPORTANTES FERRAMENTAS PARA ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL NUMA ABORDAGEM BASEADA NO DESEMPENHO, ASSIM COMO PARA SUBSIDIAR MODELOS PREDITIVOS DE VIDA ÚTIL. O OBJETIVO DESTA ARTIGO É APRESENTAR QUATRO ENSAIOS DE TRANSPORTE DE CLORETOS EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS E COMPARAR AS SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS, A SABER: PERÍODO DE EXECUÇÃO, VANTAGENS, LIMITAÇÕES E APLICABILIDADE. OS MÉTODOS CONSIDERADOS, QUE APRESENTAM DIFERENTES PRINCÍPIOS E REGIMES, SÃO OS SEGUINTE: NT BUILD 443 (MÉTODO DE DIFUSÃO), NT BUILD 492, ASTM C1202 E TESTE LMDC (MÉTODOS DE MIGRAÇÃO). EXCETO PELO MÉTODO DA ASTM, QUE TEM COMO RESPOSTA A CARGA ELÉTRICA PASSANTE

NO CONCRETO, OS PARÂMETROS DE SAÍDA DOS DEMAIS MÉTODOS SÃO DADOS ASSOCIADOS DIRETAMENTE AO TRANSPORTE DE CLORETOS (COEFICIENTES DE DIFUSÃO OU MIGRAÇÃO). DE FORMA CRITERIOSA, OS PARÂMETROS DE TRANSPORTE PODEM SER EMPREGADOS EM MODELOS PREDITIVOS. DENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS, A NT BUILD 492 SE DESTACA POR SUA FÁCIL E RÁPIDA EXECUÇÃO, APRESENTANDO OS MELHORES ÍNDICES DE REPETIBILIDADE E REPRODUTIVIDADE.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO, DURABILIDADE, DIFUSÃO, MIGRAÇÃO, CLORETOS.

1. INTRODUÇÃO

Uma das formas de reduzir impactos ambientais das construções de concreto é conceber obras duráveis, que resistam aos agentes ambientais e de deterioração, con-

siderando a vida útil requerida. Dentro de uma abordagem baseada no desempenho, procura-se garantir que haja uma probabilidade aceitável de se alcançar a durabilidade prevista por meio do cumprimento da vida útil da estrutura. Os modelos preditivos de vida útil são, portanto, ferramentas importantes nessa linha da previsibilidade comportamental ao longo do tempo, uma vez que são capazes de simular a penetração de agentes agressivos no concreto, estimando o tempo para que mecanismos de degradação se instalem e determinem o fim das condições de serviço na estrutura ou em parte dela.

Existem diversos modelos preditivos de vida útil de estruturas de concreto sujeitas à iniciação da corrosão de armaduras por cloretos [1]. A maioria deles baseia-se na Segunda Lei de Fick, tendo como um dos principais parâmetros de entrada o coeficiente de difusão ou de migração de cloretos. Para obtenção desses parâmetros, os quais indicam (por conceito) uma menor ou maior velocidade de penetração dos cloretos no meio poroso cimentício, há, na literatura, diferentes métodos.

O objetivo deste artigo é apresentar quatro ensaios de transporte de cloretos em materiais cimentícios, tanto de migração quanto de difusão, e comparar as suas principais características. Dessa forma, um balanço sobre a praticidade e a sensibilidade desses métodos, em termos de aferir suas aptidões em qualificar concretos menos ou mais performantes quanto à penetração de cloretos, é realizado neste documento. O artigo, então, colabora com uma prática recomendada do IBRACON, recentemente editada no tema [2], contribuindo

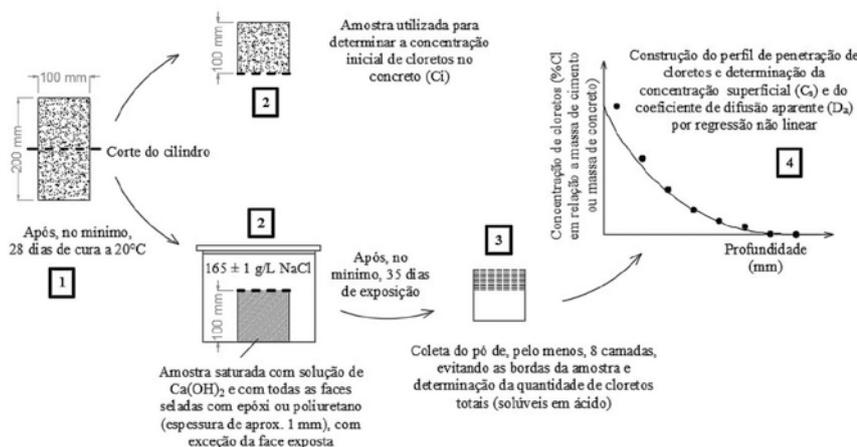


FIGURA 1
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO NT BUILD 443: 1995

FONTE: OS AUTORES



A



B



C

FIGURA 2

ENSAIO NT BUILD 443: (A) AMOSTRAS, APÓS PRECONDICIONAMENTO, SUBMERSAS EM SOLUÇÃO RICA EM CLORETOS, (B) EXTRAÇÃO DO PÓ, EM CAMADAS, COM O AUXÍLIO DE FURADEIRA DE BANCADA E (C) PARTE DA ETAPA DE DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CLORETOS SOLÚVEIS EM ÁCIDO PRESENTES NO PÓ DO CONCRETO – FILTRAÇÃO A VÁCUO DE SOLUÇÃO APÓS ATAQUE ÁCIDO

FONTE: OS AUTORES

assim, de forma geral, com um conteúdo voltado à normalização brasileira no escopo da durabilidade do concreto e de indicadores para produção de concretos duráveis. De maneira abrangente e complementar, mediante as discussões realizadas, o artigo agrega valor no campo da especificação de concretos duráveis e da previsão de vida útil, reforçando uma linha conceitual importante do desenvolvimento sustentável e da responsabilidade social.

2. MÉTODOS DE ENSAIO DE TRANSPORTE DE CLORETOS

Entre os mecanismos de transporte de cloretos no concreto, o mais recorrente é a difusão, que expressa o fluxo de íons partindo de regiões (porosas) de maior concentração em direção àquelas de menor concentração, em um meio aquoso, podendo ocorrer em estado estacionário ou não estacionário. Ensaio puros de difusão em estado estacionário (o fluxo de difusão é constante com o tempo e não há fixação de cloretos na matriz cimentícia) requerem muito tempo de execução, especialmente em amostras de concreto (na comparação com amostras de argamassa, que, em

geral, são mais porosas). Por isso, muitas vezes são empregados ensaios acelerados, os chamados ensaios de migração, que aplicam um campo elétrico visando acelerar o fluxo de cloretos.

Dentre os vários métodos existentes, apresentam-se, neste artigo, quatro deles, cujas descrições sumárias e principais informações constam a seguir:

- Ensaio de difusão em estado não estacionário, preconizado pela NT Build 443: 1995 [3];
- Ensaio de migração em estado não estacionário, preconizado pela NT Build 492: 1999 [4];
- Ensaio de penetração de cloretos (pela carga elétrica passante), preconizado pela ASTM C1202: 2022 [5];
- Ensaio de migração em estado estacionário - ensaio LMDC [6] - desenvolvido pelo Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), do INSA/Toulouse (Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse), na França.

Os referidos métodos são muito empregados em escala mundial por traduzirem, com certa praticidade, o transporte de cloretos no concreto, contribuindo tanto para que

se possa avaliar a capacidade (maior ou menor) do material em resistir à penetração dos cloretos, como para gerar parâmetros voltados a subsidiar modelos preditivos de vida útil. Nesse contexto, é importante destacar que não existe normalização técnica no país que contemple ensaios de cloretos em materiais cimentícios, sendo, então, o conteúdo deste artigo uma contribuição à discussão desses métodos, seguindo a linha da Prática Recomendada do IBRACON intitulada: "Procedimento de ensaios de difusão de difusão e migração de cloretos visando à estimativa de VUP em concretos" [2].

2.1 Esquemas ilustrativos dos métodos – principais etapas dos ensaios

A seguir, são descritos os 4 métodos de transporte de cloretos, objeto de discussão do presente artigo.

2.1.1 MÉTODO DE DIFUSÃO EM ESTADO NÃO ESTACIONÁRIO – NT BUILD 443

As Figuras 1 e 2 trazem a representação esquemática das principais etapas da

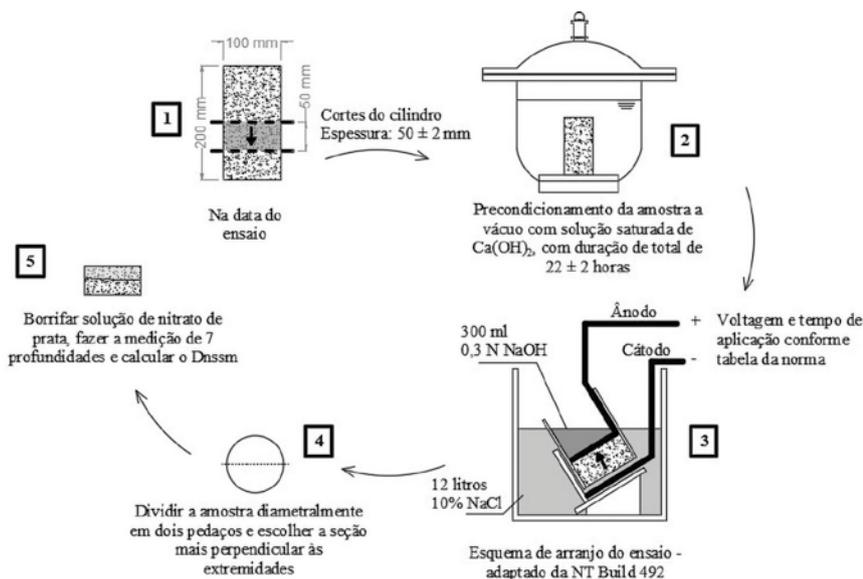


FIGURA 3
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO NT BUILD 492: 1999

FONTE: OS AUTORES

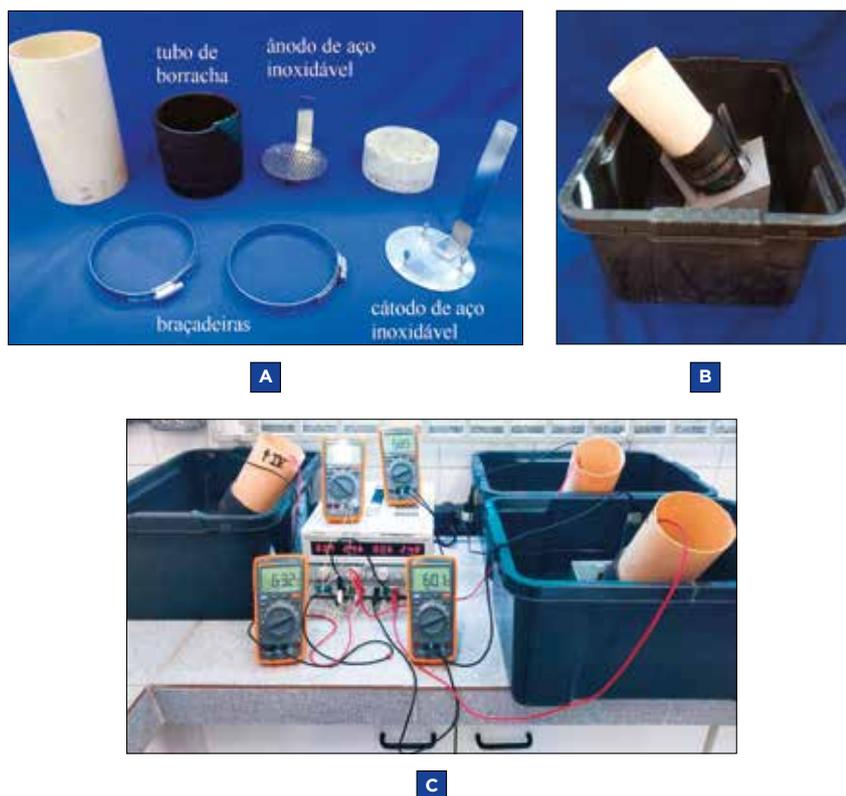


FIGURA 4
ENSAIO NT BUILD 492: 1999: (A) PARTE DOS ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA SUA REALIZAÇÃO, (B) APARATO MONTADO E (C) ENSAIO DE AMOSTRAS EM TRIPLICATA EM ANDAMENTO

FONTE: OS AUTORES

NT Build 443 e algumas fotos ilustrativas dessas etapas, respectivamente.

O ensaio de difusão em estado não estacionário (NT Build 443: 1995) consiste em submeter amostras de concreto, após acondicionamento, a uma solução rica em cloretos (concentração de 165 ± 1 g/L de NaCl) por, no mínimo, 35 dias. A temperatura dessa solução de exposição deve ser monitorada pelo menos uma vez por dia e deve estar entre 21°C e 25°C . A solução deve ser agitada uma vez por semana e trocada a cada 5 semanas.

Para se obter os parâmetros desejados, é necessária a construção do perfil de penetração de cloretos (concentração de cloretos com a profundidade da amostra de concreto) e a realização de uma regressão não linear dos dados experimentais com a Segunda Lei de Fick, apresentada na Equação 1:

$$[1] \quad C_{(x,t)} = C_s - (C_s - C_i) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4 D_a t}} \right) \right)$$

Em que:

$C_{(x,t)}$ = concentração de Cl^- medida na profundidade x e tempo de exposição t (% Cl^- em relação à massa de cimento ou massa de concreto);

C_s = condição de fronteira da superfície exposta (% massa), também chamada de concentração superficial de cloretos;

C_i = concentração inicial de cloretos (% massa);

x = profundidade de cada camada abaixo da superfície exposta (m);

t = tempo de exposição, com precisão melhor do que 5 horas (s);

D_a = coeficiente de difusão aparente (m^2/s);

erf = função de erro de Gauss.

2.1.2 MÉTODO DE MIGRAÇÃO EM ESTADO NÃO ESTACIONÁRIO - NT BUILD 492

Uma descrição sumária do método NT Build 492 pode ser vista nas Figuras 3 e 4.

O ensaio de migração em estado não estacionário da NT Build 492: 1999 consiste em, após acondicionamento das amostras, aplicar um campo elétrico externo, para acelerar a passagem do íon cloreto

¹ A NORMA NT BUILD 443 NOMEIA ESSE PARÂMETRO COMO COEFICIENTE DE TRANSPORTE EFETIVO DE CLORETOS. PORÉM, POR SE TRATAR DE UM ENSAIO DE DIFUSÃO EM ESTADO NÃO ESTACIONÁRIO, SEGUINDO A NOMENCLATURA MAIS USUAL ADOTADA, OPTOU-SE POR CHAMÁ-LO DE COEFICIENTE DE DIFUSÃO APARENTE.

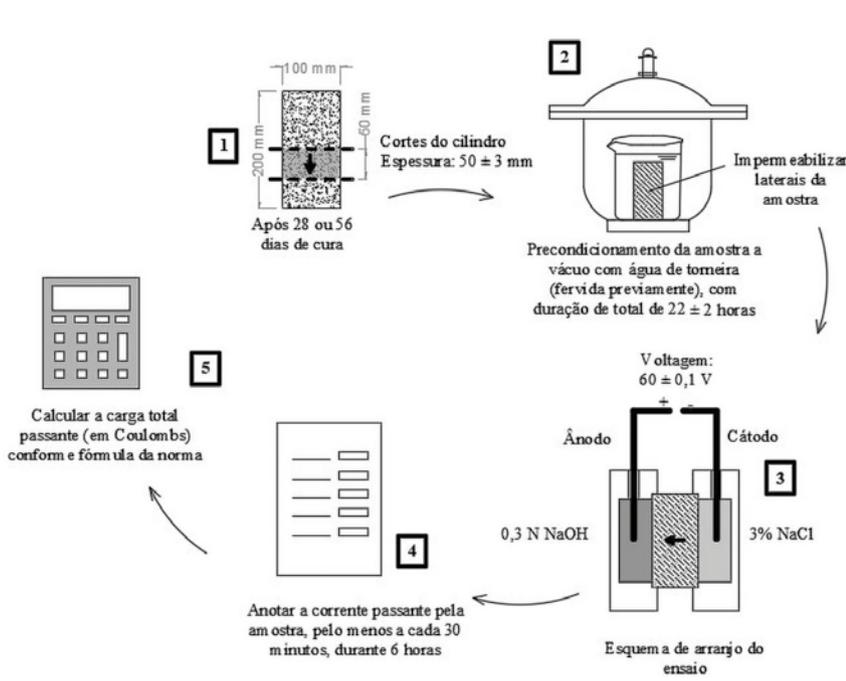


FIGURA 5
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO ASTM C1202: 2022

FONTE: OS AUTORES

da solução do cátodo para a solução do ânodo, através da amostra de concreto. A voltagem aplicada e o seu tempo de duração dependerão da corrente inicial obtida ao ligar a fonte em 30 V, seguindo tabela 1 da norma. O coeficiente de migração em estado não estacionário (D_{nssm}) é calculado conforme a Equação 2, a partir de uma média da profundidade de penetração de cloretos (x_d), sendo este parâmetro obtido por medição manual, após a aspersão de um indicador à base de nitrato de prata na seção fragmentada do corpo de prova ao final do ensaio (trata-se de método colorimétrico, que, por contraste de cores, indica o avanço da frente de cloretos).

$$[2] \quad D_{nssm} = \frac{0,0239 (273 + T)L}{(U - 2)t}$$

$$\left(x_d - 0,0238 \sqrt{\frac{(273 + T) L x_d}{U - 2}} \right)$$

Em que:

- D_{nssm} = coeficiente de migração em estado não estacionário ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$);
- U = valor absoluto da voltagem aplicada (V);
- T = média das temperaturas inicial e final da solução anódica (°C);

- L = espessura da amostra de concreto (mm) - média obtida de três medidas;
- x_d = valor médio da profundidade de penetração de cloretos (mm), obtido de 7 medidas individuais;
- t = tempo de duração do ensaio (horas).

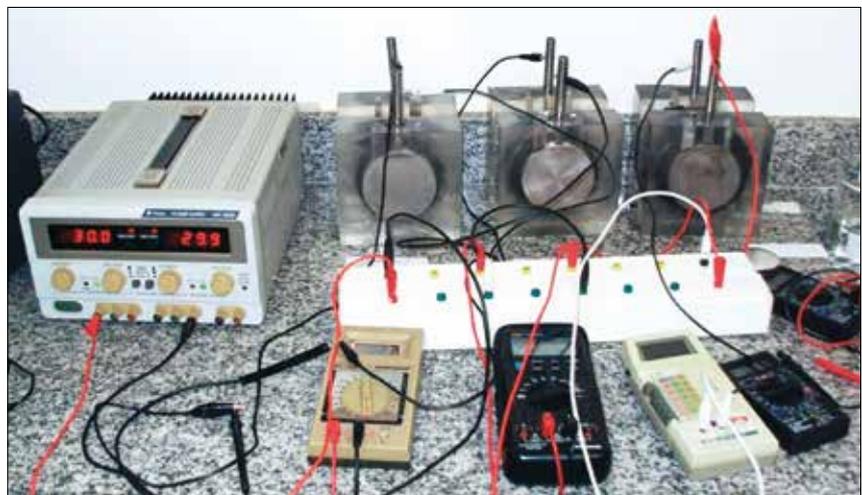


FIGURA 6
EXEMPLO DE ENSAIO ASTM C1202: 2022 EM TRIPPLICATA (EM ANDAMENTO)

FONTE: CARASEK ET AL. (2011) [7]

A NT Build 492: 1999 traz, como ação opcional, a determinação da concentração superficial de cloretos (totais solúveis em ácido) de uma fatia de 5 mm de espessura, retirada da outra amostra dividida axialmente, que não passou pela etapa 5 (destacada na Figura 3).

2.1.3 MÉTODO DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS PELA CARGA ELÉTRICA PASSANTE - ASTM C1202

O método da ASTM C1202 está destacado nas Figuras 5 e 6. Ele também é conhecido internacionalmente como RCPT (*Rapid Chloride Permeability Test*), traduzido como teste rápido de permeabilidade a cloretos.

Diferentemente dos demais ensaios apresentados, o teste da ASTM C1202 não resulta em um coeficiente de difusão ou de migração. Esse ensaio consiste em determinar a carga elétrica total que atravessa os concretos, como forma de indicar, indiretamente, a resistência desse material à penetração de cloretos. Há, portanto, uma associação entre a carga elétrica passante e o transporte de cloretos, já que estes íons são partículas carregadas eletricamente. Após processo de condicionamento, uma amostra cilíndrica de concreto com 50 mm de espessura é colocada entre duas células, sendo uma face exposta a uma

TABELA 1

PENETRABILIDADE DE CLORETOS BASEADA NA CARGA ELÉTRICA PASSANTE

Carga passante (coulombs)	Penetrabilidade de cloretos
> 4000	Alta
2000 - 4000	Moderada
1000 - 2000	Baixa
100 - 1000	Muito baixa
< 100	Insignificante

FONTE: TRADUZIDA DA ASTM C1202

solução de NaCl (3% em massa) e a outra a uma solução de NaOH (0,3 N). Aplica-se uma alta voltagem (60 V) durante 6 horas, monitorando, pelo menos a cada 30 minutos, a corrente medida. A carga passante é calculada conforme Equação 3.

$$[3] \quad Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360})$$

Em que:

Q = carga passante (C);

I_0 = corrente imediatamente após aplicação da voltagem no começo do ensaio (A);
 I_t = corrente a t minutos após o início da aplicação da voltagem (A).

De modo a auxiliar na interpretação dos resultados, a ASTM C1202 apresenta critérios de avaliação da penetrabilidade de cloretos com base nos valores de carga passante, como se pode observar na Tabela 1.

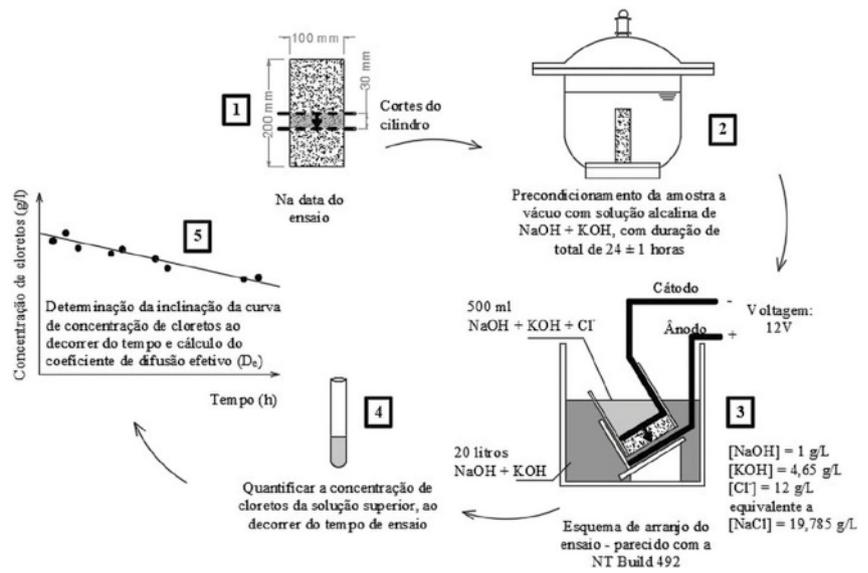


FIGURA 7

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO TESTE LMDC

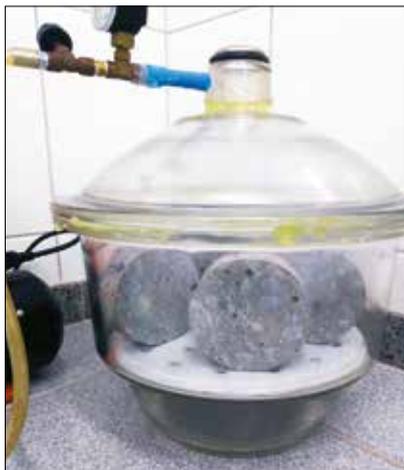
FONTE: OS AUTORES

2.1.4 MÉTODO DE MIGRAÇÃO EM ESTADO ESTACIONÁRIO - ENSAIO LMDC

O último ensaio a ser apresentado é o método LMDC, que pode ser visto nas Figuras 7 e 8.

O aparato utilizado no teste LMDC para aplicação da tensão pode ser o mesmo do ensaio NT Build 492, atentando-se para as diferenças entre os métodos. No teste LMDC, aplica-se uma voltagem de

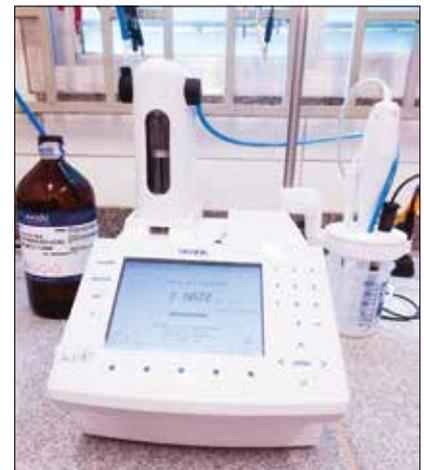
12 V para acelerar a migração de cloretos da solução superior para a solução inferior (soluções padronizadas de NaOH e KOH para simular a solução do poro), através de uma amostra preconditionada de concreto de 30 mm de espessura. Por ser um ensaio de migração em estado estacionário, o tempo do ensaio é bem maior do que os demais, em torno de 15 dias. Pelo monitoramento da diminuição da concentração de cloretos na solução superior (dado o processo migratório que



A



B



C

FIGURA 8

TESTE LMDC: (A) PARTE DO PRECONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS COM AUXÍLIO DE DESSECADOR, (B) ENSAIO DE AMOSTRAS EM DUPLICATA (EM ANDAMENTO) E (C) TITULAÇÃO FEITA POR TITULADOR AUTOMÁTICO PARA MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS DA SOLUÇÃO SUPERIOR

FONTE: OS AUTORES

TABELA 2

COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE ENSAIO

	NT Build 443	NT Build 492	ASTM C1202	Teste LMDC
Princípio do método	Difusão em estado não estacionário. Amostra submersa em solução de 165 ± 1 g/L de NaCl. Construção do perfil de penetração de cloretos. Regressão não linear.	Migração em estado não estacionário. Voltagem: 10 a 60 V, conforme tipo de material. Método colorimétrico. Profundidade de penetração de cloretos	Migração em estado não estacionário. Voltagem: 60 V. Monitoramento da corrente passante a cada 30 minutos.	Migração em estado estacionário. Voltagem: 12 V. Monitoramento da concentração de cloretos da solução superior.
Tratamento prévio da amostra	Saturação da amostra em solução saturada de Ca(OH) ₂ . Impermeabilização de todas as faces, com exceção da face a ser exposta à solução, com revestimento de epóxi ou poliuretano com espess. ≈ 1 mm. Saturação da amostra novamente em solução saturada de Ca(OH) ₂ .	Amostras no vácuo por 3 horas. Saturação por 19 ± 2 horas em solução saturada de Ca(OH) ₂ , sendo a primeira hora ainda a vácuo.	Impermeabilização das laterais das amostras. Vácuo por 3 horas, dentro de becker. Saturação por 19 ± 2 horas em água após ebulição, sendo a primeira hora ainda a vácuo.	Amostras no vácuo por 4 h. Saturação a vácuo por 20 ± 1 horas em solução de NaOH (1 g/L) e KOH (4,65 g/L).
Tamanho da amostra	Φ mínimo 75 mm e maior que 3 x DMC do agregado graúdo. Altura mín.: 100 mm.	Φ: 100 mm. Espessura: 50 ± 2 mm.	Φ: 100 mm. Espess.: 50 ± 3 mm.	Φ: 100/110 mm. Espess.: 30 mm.
Duração do ensaio	Precond.: ≈ 10 dias. Exposição/submersão: no mínimo 35 dias. Perfil de penetração de cloretos: ≈ 10 dias.	Precond.: 1 dia. Voltagem: 1 a 4 dias.	Precond.: ≈ 2 dias. Voltagem: 6 horas.	Precond.: 1 dia. Voltagem: ≈ 14 dias.
Parâmetros obtidos	D _a - coeficiente de difusão aparente. C _s - Concentração superficial de cloretos.	D _{nssm} - coeficiente de migração em estado não estacionário.	Q - carga passante.	D _e - coeficiente de difusão efetivo.
Vantagens	Processo de difusão (menos acelerado), o que aproxima o ensaio do fenômeno natural.	Ensaio de fácil execução Aparato simples. Boa repetibilidade e reprodutividade.	Ensaio rápido. Fácil execução. Boa repetibilidade e reprodutividade.	Ensaio sob estado estacionário (melhor caracterização do transporte efetivo).
Limitações	Ensaio demorado, com várias etapas, podendo acumular erros. Necessidade de bom conhecimento de química: titulação.	Método colorimétrico de indicação da frente de cloretos (x _d): forma indireta de medição, podendo acumular erros.	Resultado não pode ser usado em modelos preditivos. Aplica uma tensão muito elevada (60 V). Aumento da temperatura da solução, com risco de fervura.	Maior variabilidade de resultados. Necessidade de maior conhecimento de química: titulação.

FONTE: OS AUTORES

transporta cloretos), é possível calcular o coeficiente efetivo de difusão (D_e) pelas equações 4 e 5.

$$[4] J_{up} = \frac{\Delta C_{up} V}{\Delta t S}$$

Em que:

J_{up} = fluxo de cloretos que deixa a solução superior, catódica, rica em cloretos (mol/m².s);
ΔC_{up}/Δt = inclinação da curva obtida pelos dados de concentração de cloretos da solução catódica ao longo do tempo, determinada graficamente por meio de ajuste matemático dos pontos experimentais via regressão linear (mol/m³.s);

V = volume da solução catódica (m³);
S = área da amostra testada exposta à solução de cloretos (m²) - média obtida de duas medidas de diâmetro.

$$[5] D_e = \frac{RT J_{up}}{C_{up1} F E}$$

Em que:

D_e = coeficiente de difusão efetivo², obtido pelo ensaio LMDC (m²/s);
R = constante universal dos gases, R = 8,314 J/(K.mol);
T = temperatura média da solução catódica durante o ensaio (K);
C_{up1} = concentração inicial de cloretos (no

tempo zero), obtida pela curva originada da regressão linear (mol/m³);
F = constante de Faraday, F = 96.487 J/(V.mol);
E = campo elétrico aplicado (V/m), calculado a partir da média de quatro espessuras das amostras.

2.2 Comparação entre métodos

A Tabela 2 traz as principais características dos métodos descritos anteriormente, permitindo sua melhor comparação.

Como mostrado na Tabela 2, todos os ensaios precisam pré-condicionar as

² APESAR DO ENSAIO SER DE MIGRAÇÃO, OS COEFICIENTES OBTIDOS NA MIGRAÇÃO E NA DIFUSÃO, NO ESTADO ESTACIONÁRIO, SÃO IGUAIS. POR ISSO, O RESULTADO DO LMDC É CHAMADO DE COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO (D_e).

amostras, sendo mais demorado e trabalhoso o procedimento da NT Build 443. O ensaio de mais rápida execução é o da ASTM C1202, cujo tempo de aplicação de voltagem é o mais reduzido, em torno de 6 horas. Apesar dessa rapidez, esse ensaio tem como grande desvantagem o fato de não expressar de forma direta as propriedades de transporte dos cloretos, como, por exemplo, ocorre com os outros métodos, os quais resultam em parâmetros específicos de transporte de massa (coeficientes de difusão ou de migração). A carga elétrica passante obtida no método ASTM C1202 é, portanto, um parâmetro indireto da penetração de cloretos, que se associa muito mais à condutividade do meio poroso (dada pela presença de diferentes íons na solução do poro) do que ao mecanismo exclusivo do transporte iônico de cloreto. Por esta razão, principalmente, esse dado qualitativo de carga passante não se aplica a modelos preditivos de vida útil. Por outro lado, o método demonstra uma sensibilidade muito boa para diferenciar e classificar concretos quanto à sua capacidade de proteção em relação aos cloretos, como discutido por Carasek *et al.* (2011) [7].

Os diferentes coeficientes obtidos (difusão ou migração) podem ser usados em modelos preditivos, desde que as condições da situação analisada sejam semelhantes às condições de ensaio. Como todos os três ensaios tratados são acelerados (seja pela aplicação de campo elétrico externo ou pelo uso de alta concentração de cloretos), deve-se ter o cuidado de correlacionar esses coeficientes com os coeficientes obtidos de estruturas reais, procedendo-se às devidas correções e ajustes nos modelos. Cabe destacar que o coeficiente obtido em estado estacionário (D_e) é muito menor que os calculados em es-

tado não estacionário (D_a e D_{nssm}), sugerindo que os mecanismos de transporte em regime estacionário se aproximam muito mais do fenômeno natural. Entre estes três ensaios, o de mais fácil execução e o que apresenta os melhores índices de repetibilidade e reprodutibilidade é o NT Build 492.

De forma geral, independentemente de se apropriar parâmetros oriundos desses ensaios em modelos preditivos de vida útil, uma aplicabilidade inerente a todos os quatro métodos avaliados neste artigo reside na capacidade que eles têm de diferenciar concretos quanto ao seu desempenho frente à penetração de cloretos. Dessa forma, tais metodologias podem representar importantes meios voltados à concepção e ao controle de concretos performatos em ambientes contendo cloretos, contribuindo assim com a durabilidade de estruturas de concreto (notadamente em atmosferas marinhas).

3. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou as principais características de quatro ensaios de transporte de cloretos no concreto: principais etapas, princípio do método, tratamento prévio e tamanho das amostras, duração, parâmetros obtidos, vantagens e limitações. Os quatro métodos são baseados em princípios diferentes e a opção pelo mais adequado dependerá de alguns fatores como tempo disponível para realização do ensaio, aparato e objetivo da análise. De modo geral, o conteúdo deste artigo deixa uma contribuição voltada ao amadurecimento técnico e científico que deve ocorrer no âmbito de comissões de estudos, visando à normalização no campo da durabilidade do concreto.

O método de RCPT (ASTM C1202) é qualitativo e apresenta limitações importantes no tocante à descrição do transporte de cloretos, mas pode ser usado na comparação de diferentes concretos (com boa sensibilidade para isso), tendo como vantagem sua rápida execução.

Os testes nórdicos (NT Build 443 e NT Build 492) são métodos de difusão e migração no estado não estacionário, enquanto o teste LMDC é um ensaio de migração no regime estacionário. Os coeficientes obtidos por meio desses ensaios podem ser usados em modelos preditivos para estimar a vida útil de estruturas de concreto sujeitas à corrosão das armaduras induzida por cloretos, tomando-se os devidos cuidados com as hipóteses consideradas. Entre esses três métodos, o de mais fácil e rápida execução, e que apresenta os melhores índices de repetibilidade e reprodutibilidade, é o da NT Build 492. O ensaio do LMDC, por trabalhar em regime estacionário num processo de mais longa duração, gera um parâmetro de transporte mais próximo dos mecanismos reais de penetração de cloretos em estruturas de concreto.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto de P&D – PD. 0394-1704-2017, regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, desenvolvido pela Eletrobrás FURNAS e FUNAPE/UFMG/EECA/LABITECC. Os autores expressam agradecimento a todos esses parceiros, bem como ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelas bolsas concedidas aos pesquisadores autores deste artigo. ©

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LOPES, R. C.; OLIVEIRA, A. M.; CASCUDO, O. Modelos preditivos de vida útil de estruturas de concreto sujeitas à iniciação da corrosão de armaduras por cloretos: contribuição ao estado da arte por meio de revisão sistemática da literatura - Parte 1. Revista Matéria (UFRJ), v. 27, n. 2, p. 1-20, 2022.
- [2] MEIRA, G. R.; PINTO, S. A.; DIAS, C. M. R.; RIBEIRO, D. V.; MAGALHAES, F. C.; AMORIM JR, N. S.; CASCUDO, O. Procedimento de ensaios de difusão e migração de cloretos visando à estimativa de VUP em concretos. In: RIBEIRO, D. V.; MEIRA, G. R. (Orgs.). Prática Recomendada IBRACON (Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702). 1ed. São Paulo: IBRACON, 2021, v. 1, p. 1-48.
- [3] NORDTEST. NT BUILD 443. Concrete, Hardened: accelerated chloride penetration. Finland, 1995, 5 p.
- [4] NORDTEST. NT BUILD 492. Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Finland, 1999, 8 p.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. C1202 - Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2022, 8 p.
- [6] TRUC, O.; OLLIVIER, J. P.; CARCASSÈS, M. A new way for determining the chloride diffusion coefficient in concrete from steady state migration test. Cement and Concrete Research, v. 30, p. 217-226, 2000.
- [7] CARASEK, H.; CASCUDO, O.; FERREIRA, R. B.; CUBAYNES, M. P. Y.; OLLIVIER, J.-P. L'essai AASHTO T 277 et la protection des bétons contre la corrosion des armatures. European Journal of Environmental and Civil Engineering, v. 15, p. 49-75, 2011.

Seminário e protocolo **contribuem para metas do marco legal do saneamento**

O novo Marco Legal do Saneamento, vigente desde 15 de julho de 2020, tem como metas garantir que 99% da população brasileira tenha acesso a água potável e 95% à coleta e tratamento de esgoto até 2033.

Atualmente, cerca de 35 milhões de brasileiros vivem sem água tratada e cerca de 100 milhões não têm acesso à coleta de esgoto, sendo que apenas 50% do volume de esgoto gerado no país é tratado, segundo dados do Avanço do Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil 2022.

Este estudo aponta que, em média, cerca de 60% dos municípios brasileiros estão em situação regular quanto à capacidade econômico-financeira para a universalização dos serviços de água e esgotamento sanitário até 2033.

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico do Ministério do Desenvolvimento Regional, serão necessários investimentos da ordem de R\$ 507 bilhões para se atingir a universalização até 2033. Este montante implica o desembolso médio anual de cerca de R\$ 36 bilhões, isto é, o dobro do que vem sendo correntemente investido no setor.

Todo esse montante de investimento demandará a realização de muitas obras em várias cidades do país. O material concreto é consumido no setor de saneamento básico para a construção de estruturas de obras de transporte, armazenamento e tratamento de água e esgoto, tais como: estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgoto, reservatórios de água, estações elevatórias de água, emissários e interceptores de esgotos, entre outras.

Contudo, fazer um concreto para uma obra de saneamento não é o mesmo que para um edifício. Basicamente, para o edifício, o concreto precisa atingir um mínimo de resistência mecânica para ter sua conformidade aprovada. Mas, para um reservatório de água, por exemplo, além da resistência



O presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene (ao centro), com os diretores da AESabesp, e o coordenador do CT 901, Vinícius Caruso (dir.)

mecânica, é preciso garantir impermeabilidade, isto é, o concreto não pode apresentar fissuração quando endurecido.

Tendo isto em vista, o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e a Associação dos Engenheiros da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (AESabesp) assinaram, no último dia 15 de setembro, durante o 33º Encontro Técnico AE Sabesp/Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, no Expo Center Norte, em São Paulo, um protocolo de colaboração técnico-científica.

Tal protocolo prevê a realização conjunta de eventos, o intercâmbio de experiências para certificação de produtos e profissionais, e a participação de seus membros em comitês técnicos.

“Com o protocolo esperamos aproveitar o conhecimento difuso de cerca de 1500 associados da AESabesp de aplicação do concreto em obras de saneamento para elaboração de documentos de referência para os profissionais do setor”, esclarece o coordenador do Comitê Técnico 901 Aplicações do Concreto para Obras de Saneamento Básico, Eng. Vinícius Caruso, responsável pelas tratativas que culminou na assinatura do protocolo entre o presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, e seu diretor de relações institucionais, Eng. César Henrique

Daher, o presidente da AESabesp, Luciomar Santos Werneck, e seu diretor administrativo, João Augusto Poeta.

SEMINÁRIO CONCRETO APLICADO AO SANEAMENTO

Para garantir um bom concreto para uma obra de saneamento, capaz de atender a suas funcionalidades, maiores cuidados na sua composição, dosagem e controle da qualidade se fazem necessárias.

Além dos cuidados com a composição, dosagem, lançamento e cura do concreto, podem

ser necessários cuidados especiais de tratamento das superfícies das estruturas de concreto acabadas, com uso de impermeabilizantes, por exemplo, para resistirem a ataques de ácidos sulfúricos e biológicos.

Essas medidas tecnológicas são recomendadas para se assegurar o bom retorno dos investimentos em obras de saneamento, evitando-se patologias, paralisação de serviços, baixa qualidade e baixa durabilidade das obras.

Esses assuntos foram discutidos no Seminário “Concreto aplicado ao Saneamento”, realizado no Congresso Brasileiro do Concreto - Jubileu de Ouro, no dia 14 de outubro, em Brasília.

O Seminário reuniu especialistas que integram o CT 901, comitê técnico do IBRACON dedicado a produzir práticas recomendadas para a contratação, projeto, execução e manutenção de obras de concreto para saneamento básico.

A disseminação dessas boas práticas para os profissionais do setor contribui para que o projeto, construção e operação das obras de saneamento possam ser concluídas em tão curto prazo, de modo a atingir as metas do Marco Legal do Saneamento, com a qualidade construtiva esperada de obras para atender a população. 📍

Desenvolvimento de modelo matemático para a determinação do consumo de água de concretos secos

GETÚLIO CÉSAR SILVEIRA - ENG. CIVIL (getulio_cesar@live.com) - CAIBI ARTEFATOS DE CIMENTO;
ARTHUR MEDEIROS - DOUTOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2061-0108>) - UTFPR;
LUIZ ALBERTO TREVISOL JÚNIOR - MESTRE - Hobi S/A Mineração de Areia e Concreto

RESUMO

O CONCRETO SECO TEM DIVERSAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL, CONTUDO A DOSAGEM DE CONCRETO SECO NÃO É PADRONIZADA COMO EM CONCRETOS CONVENCIONAIS. AO LONGO DOS ANOS, VÁRIOS MÉTODOS DE DOSAGEM PARA CONCRETO SECO FORAM DESENVOLVIDOS, NO ENTANTO, A MAIORIA DESTES FORAM BASEADOS EM CURVAS ÓTIMAS DE AGREGADOS DESENVOLVIDAS COM UM TIPO ESPECÍFICO DE AGREGADO E VIBROPREENSA, SENDO ASSIM NÃO CONTEMPLAM A REALIDADE DE MUITAS EMPRESAS E DEMANDAM AJUSTES EM PRODUÇÃO. NESTE TRABALHO, FOI DESENVOLVIDO UM MODELO MATEMÁTICO QUE DETERMINA O CONSUMO DE ÁGUA POR METRO CÚBICO DE CONCRETOS SECOS COM TEMPO VÊBE ENTRE 18 E 32 SEGUNDOS, CUJA AS VARIÁVEIS SÃO O COEFICIENTE DE FORMA MÉDIO DOS GRÃOS, DEMANDA DE ÁGUA DOS MATERIAIS E EMPACOTAMENTO GRANULAR DA MISTURA SECA. FOI OBTIDO UM MODELO MATEMÁTICO QUE RETRATA A REALIDADE, COM VARIAÇÕES POUCO SIGNIFICANTES PARA UMA PRODUÇÃO (MENOS DE 6%). A CRIAÇÃO DESTES MODELO POSSIBILITA TESTAR O CONSUMO DE ÁGUA DE VÁRIOS MATERIAIS DE FORMA VIRTUAL, OBTENDO UMA OTIMIZAÇÃO DE FORMA MAIS RÁPIDA E MENOS ONEROSA.

PALAVRAS-CHAVE: EMPACOTAMENTO, DEMANDA DE ÁGUA, FORMATO DE GRÃO, DOSAGEM, OTIMIZAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

O concreto seco, assim como o concreto convencional é composto por aglomerante, agregados miúdos e graúdos, podendo ser adicionados aditivos e/ou adições. As propriedades deste concreto no estado fresco são fundamentais para o melhoramento das suas propriedades no estado endurecido. Se a trabalhabilidade for muito baixa, o concreto não vai obter

a sua máxima compactação, se for muito alta, o material vai aderir na vibroprensa durante o processo, impossibilitando a pro-

dução. Sendo assim, a influência é direta. A trabalhabilidade do concreto seco é avaliada pelo ensaio de Vêbe (ASTM 1170, 2020).

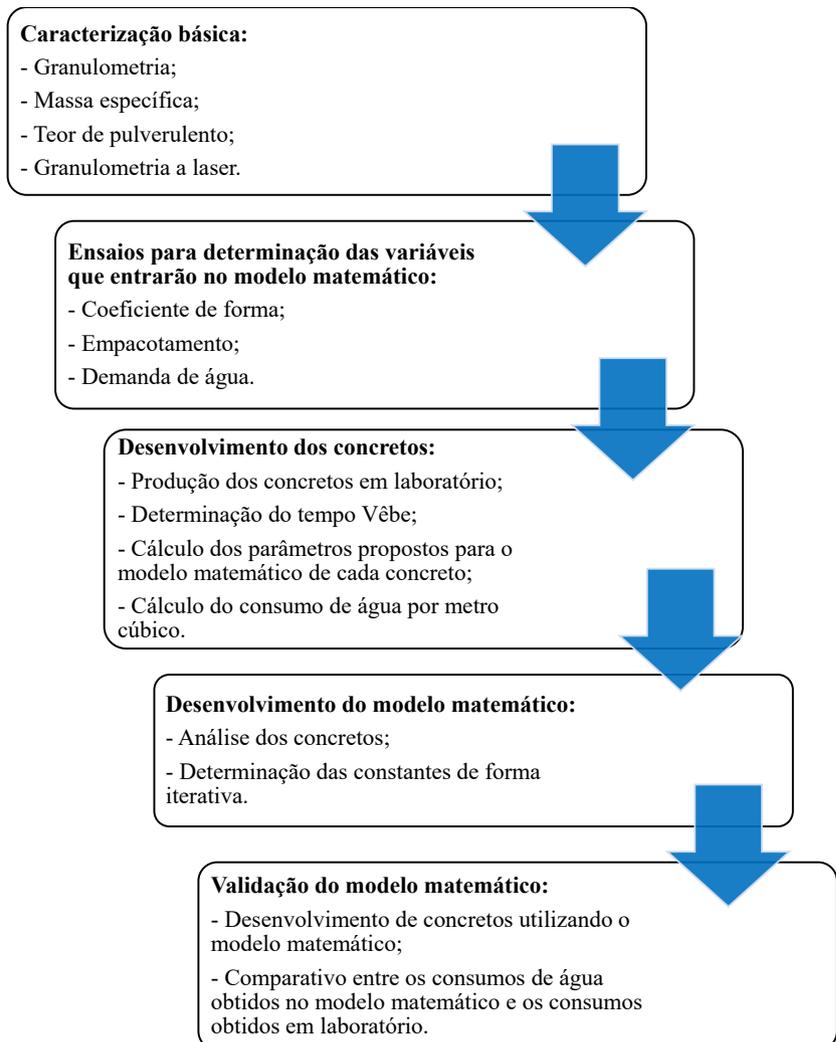


FIGURA 1
FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES

Apesar da importância do estudo do estado fresco deste tipo de concreto, a maioria dos métodos de dosagem possuem poucas considerações a respeito em sua formulação. Métodos clássicos, como o método de Columbia, método de Dowson e método de Besser, são baseados em curvas granulométricas idealizadas desenvolvidas para um tipo específico de material, não levando em consideração os diferentes formatos de grãos, empacotamentos granulares e superfícies específicas dos diferentes materiais.

Visto a importância das propriedades do concreto no estado fresco e que poucas são contabilizadas nos métodos de dosagem, foi desenvolvido um modelo matemático, baseado nas características dos materiais constituintes do concreto, para a determinação do consumo de água nos concretos secos, com ensaio de Vêbe entre 18 e 32 segundos. Este modelo tem como variáveis o consumo de cimento e de agregados por metro cúbico, o coeficiente de forma da mistura granular (método GTec-UFSC (WEIDMANN, 2008)), empacotamento da mistura granular seca (método do empacotamento compressível) e demanda de água dos materiais (ensaio desenvolvido neste trabalho).

O desenvolvimento desse modelo matemático pode colaborar para um maior entendimento da influência das características dos materiais no consumo de água e possibilita uma melhor otimização nos traços. De maneira virtual, é possível

testar várias proporções de agregados e verificar qual resultaria em um concreto com melhor empacotamento e menor consumo de água. Sendo estes indicativos de resistência, o modelo matemático proporciona um melhor aproveitamento de materiais, gerando assim uma economia financeira e ambiental pela redução no consumo de cimento.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

Nesta seção serão apresentados os ensaios realizados, os materiais e a metodologia para desenvolver os traços e o modelo matemático.

Na Figura 1, está apresentado o fluxograma seguido para desenvolver o modelo matemático.

2.1 Materiais

Nesta pesquisa foram utilizados nove agregados diferentes para a produção dos concretos conforme a Tabela 1.

As areias naturais de cava AN1 e AN2 são provenientes de cavas diferentes. A areia britada AB1 é obtida por britagem secundária e lavagem. As areias britadas AB2 e AB3 têm o material pulverulento separado por motovibradores de alta frequência. Os agregados produzidos em britador VSI resultam em grãos mais arredondados.

2.2 Coeficiente de forma

Para a análise do formato de grão, foi utilizado o método GTec-UFSC (WEID-

MANN, 2008), no qual calcula-se um coeficiente de forma (Cf) para cada fração do material com o auxílio de uma câmera fotográfica e o software ImageJ. Este coeficiente é a relação entre o volume de total da amostra e o volume teórico, considerando cada grão como uma esfera cujo diâmetro é a maior dimensão do mesmo. Para o cálculo do coeficiente de forma do agregado, foi feita uma média ponderada das porcentagens do material retido em cada peneira.

2.3 Empacotamento

A aplicação do Método do Empacotamento Compressível (MEC) depende da caracterização dos materiais. O cimento foi caracterizado pelo método para partículas finas ($d < 100 \mu\text{m}$) com utilização de água, descrito por De Larrard (1999). O empacotamento dos agregados foi determinado por meio do protocolo de pilonamento, com $k = 4,5$ (DE LARRARD, 1999). Para o cálculo dos agregados, foi realizado o ensaio de massa unitária compactada fração a fração do material e dividido o resultado pela massa específica.

2.4 Demanda de água

A granulometria dos materiais é um indicativo do consumo de água dos mesmos, porém o consumo de água do concreto está relacionado com a superfície específica da mistura granular. Segundo Carasek (2007), quanto maior for a superfície de grãos, maior será a área disponível para adsorção física de moléculas de água. Sendo assim, foi desenvolvido um ensaio para mensurar o consumo de água dos materiais por metro cúbico. O resultado desse ensaio entra como uma variável da equação do modelo proposto.

Os equipamentos utilizados, o procedimento de ensaio e o cálculo da demanda de água para agregados miúdos, grãos e cimento são os seguintes:

a) Equipamentos

- 1) Molde cilíndrico de 50 mm de diâmetro, 200 mm de altura, com fundo fechado e estanque;
- 2) Peso cilíndrico de 2 kg, com 48 mm

TABELA 1

ORIGEM DOS AGREGADOS

	Origem mineralógica	Localização	VSI*
AN1	Areia natural de cava	Restinga Seca/RS	—
AN2			—
AN3	Areia natural de encosta	União da Vitória-PR	—
AB1	Areia britada basáltica	Palmitos-SC	—
AB2		Iporã do Oeste-SC	Sim
AB3		Pinhalzinho-SC	Sim
PB	Pó de brita basáltica	Palmitos-SC	Sim
B0	Brita basáltica	Iporã do Oeste-SC	Sim
Granilha	Basáltica	Tenente Portel-RS	—

* VSI é o britador de impacto vertical

TABELA 2

PROPORÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS CONCRETOS EM VOLUME

Traço	AB1	PB	AN1	BO	AB2	AN2	Granelha	AB3	AN3	Consumo de cimento (kg/m ³)
Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto
CAN1	—	—	100%	—	—	—	—	—	—	300
CPB	—	100%	—	—	—	—	—	—	—	300
CAN1	100%	—	—	—	—	—	—	—	—	300
CAN1/PB	—	50%	50%	—	—	—	—	—	—	300
CAB1/AN1	50%	—	50%	—	—	—	—	—	—	300
CPB/Ab1	50%	50%	—	—	—	—	—	—	—	300
C50AN1/PB/AB1	25%	25%	50%	—	—	—	—	—	—	300
C50PB/AB1/AN1	25%	50%	25%	—	—	—	—	—	—	300
C50AB1/AN1/PB	50%	25%	25%	—	—	—	—	—	—	300
CC150	—	—	—	11%	44,5%	44,5%	—	—	—	150
CC200	—	—	—	11%	44,5%	44,5%	—	—	—	200
CC250	—	—	—	11%	44,5%	44,5%	—	—	—	250
CC300	—	—	—	11%	44,5%	44,5%	—	—	—	300
CC350	—	—	—	11%	44,5%	44,5%	—	—	—	350
Paver 1	—	—	—	—	50%	50%	—	—	—	300
Paver 2	—	—	—	10%	45%	45%	—	—	—	300
Bloco 1	—	—	—	50%	25%	25%	—	—	—	300
Bloco 2	—	—	—	—	—	—	34%	23%	43%	300
Paver 3	—	—	—	—	—	—	11%	46%	43%	300
Bloco 3	—	—	—	—	—	—	57%	11%	32%	300
Max empacotamento	—	—	—	—	—	—	43%	11%	46%	300

de diâmetro e 129 mm de altura;

3) Balança com precisão de 0,1 g;

4) Mesa vibratória de Vebe (ASTM 1170, 2020);

5) Suporte para prender o molde na mesa.

b) Procedimento

- 1) Separar uma amostra de 500 g do material seco e misturar com 20 g de água;
- 2) Separar 320 g dessa amostra úmida e colocar no molde 50 x 200 mm preso à mesa vibratória;
- 3) Colocar o peso dentro do cilindro e ligar a mesa vibratória por 3 minutos. Verificou-se experimentalmente que, em três minutos de vibração, obteve-se a compactação máxima;
- 4) Retirar-se o peso e observar se há a formação de uma película de água sobre o material. Caso não haja, repete-se o ensaio com uma nova amostra, porém com 5 g a mais de água. No ponto em que há a

formação de película de água, separa-se uma amostra de pelo menos 100 g para conferir a umidade da mistura.

c) Cálculo

No ponto de formação de película de água, calcula-se a relação volume de água (em m³) presente na mistura por volume de agregados (em m³). Esta relação é o fator demanda de água. Materiais mais finos e com maior superfície específica, demandarão mais água para a formação da película de água.

Para agregados graúdos, foi pesado 200 g de material seco e, em seguida, foi submerso o mesmo em água. Após 15 minutos, foi colocado o material sobre a peneira 0,15 mm e deixado o excesso de água escorrer. Por fim, foi pesado o material úmido, a diferença do peso do material úmido e o material seco é a água adsorvida em torno dos grãos. O volume de água adsorvida dividida (m³) pelo volume de agregado (m³) é o fator de de-

manda de água para agregados graúdos.

Para o cimento, foi utilizado o ponto de umidade ótima obtida no ensaio de empacotamento com uso de água, descrito por De Larrard (1999), empacotamento para materiais finos ($d < 100 \mu\text{m}$).

2.5 Desenvolvimento dos traços

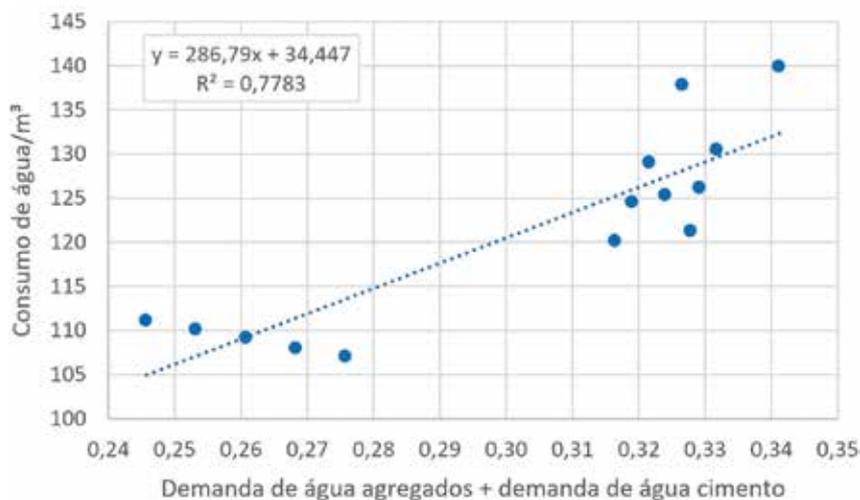
Foram produzidos vinte e um concretos diferentes. Os primeiros quatorze concretos foram desenvolvidos para ajustar o modelo matemático e os sete últimos foram desenvolvidos utilizando o modelo matemático pensando em concretos aplicáveis a uma produção de artefatos. Na Tabela 2, estão os consumos de cimento de cada concreto e a proporção de matérias utilizada.

Para cada um desses concretos produzidos, ter-se-á um valor de empacotamento, formato de grão, demanda de água dos agregados e do cimento, e um valor de consumo de água.

TABELA 3

PARÂMETROS DOS CONCRETOS PRODUZIDOS EM LABORATÓRIO

Traço	Demanda de água agregados (m³/m³)	Índice de vazios	Demanda de água cimento (m³/m³)	Índice de forma	Água (litros/m³)
CANI	0,2444	0,2851	0,0720	0,2800	120,00
CPB	0,2503	0,2307	0,0712	0,2200	128,92
CABI	0,2696	0,2635	0,0717	0,1200	139,74
CANI/PB	0,2472	0,2405	0,0720	0,2500	124,50
CABI/ANI	0,2571	0,2524	0,0720	0,2000	126,00
CPB/ANI	0,2597	0,2460	0,0720	0,1700	130,50
C50ANI/PB/ABI	0,2520	0,2461	0,0720	0,2250	125,25
C50PB/ABI/ANI	0,2554	0,2356	0,0725	0,2100	121,27
C50ABI/ANI/PB	0,2554	0,2418	0,0712	0,1850	137,75
CC150	0,2098	0,2467	0,0360	0,2491	111,00
CC200	0,2052	0,2395	0,0480	0,2490	110,00
CC250	0,2008	0,2332	0,0600	0,2489	109,00
CC300	0,1964	0,2284	0,0720	0,2488	108,00
CC350	0,1919	0,2251	0,0840	0,2486	107,00
Paver 1	0,2078	0,2392	0,0720	0,2550	114,00
Paver 2	0,1976	0,2293	0,0720	0,2495	109,05
Bloco 1	0,1555	0,2048	0,0720	0,2275	88,05
Bloco 2	0,1858	0,2221	0,0720	0,1830	111,00
Paver 3	0,2056	0,2293	0,0720	0,2005	117,00
Bloco 3	0,1600	0,2321	0,0720	0,1579	102,00
Max empacotamento	0,1838	0,2217	0,0720	0,1778	105,00

**GRÁFICO 1**

DEMANDA DE ÁGUA MATERIAIS

2.6 Desenvolvimento do modelo matemático

O modelo de matemático foi desenvolvido para calcular o consumo de água por metro cúbico de concretos secos, com Vebe entre 18 e 32 segundos (extremamente secos). A equação desenvolvida foi subdividida em quatro partes e cada parte tem um coeficiente ponderador da sua importância no consumo de água. As quatro partes são: demanda de água nos grãos dos agregados, índice de vazios da mistura granular, demanda de água nos grãos de cimento e a influência do formato de grão.

A demanda de água dos agregados e do cimento é calculada multiplicando o volume de cada material presente em um metro cúbico de concreto pelo fator demanda de água calculado.

O índice de vazios da mistura granular seca é calculado por meio do método do empacotamento compressível, utilizando o $k = 4,5$.

Por fim, o coeficiente de forma entra na equação no denominador - este índice provém do ensaio desenvolvido por Weidmann (2008). Na Equação 1, é mostrado o modelo matemático descrito.

$$[1] \quad V_{tt} = \frac{X_1 \sum_{i=1}^n V_{ai} \alpha_{ai} + X_2(e) + X_3 Vc \alpha c}{(X_4 + Cf)}$$

Onde:

X_1 é o coeficiente ponderador da água adsorvida na superfície dos agregados;

X_2 é o coeficiente ponderador da água livre;

X_3 é o coeficiente ponderador da água adsorvida na superfície dos grãos de cimento;

X_4 é o coeficiente ponderador do coeficiente de forma;

V_{ai} é o volume do agregado "i" por metro cúbico de concreto;

α_{ai} é o fator demanda de água por metro cúbico do agregado "i" (calculado de acordo com o item 2.4);

e é o índice de vazios da mistura granular seca;

Vc é o volume de cimento por metro cúbico de concreto;

αc é o fator demanda de água do cimento;

Cf é o coeficiente de forma médio da mistura de agregados.

Para a determinação dos coeficientes

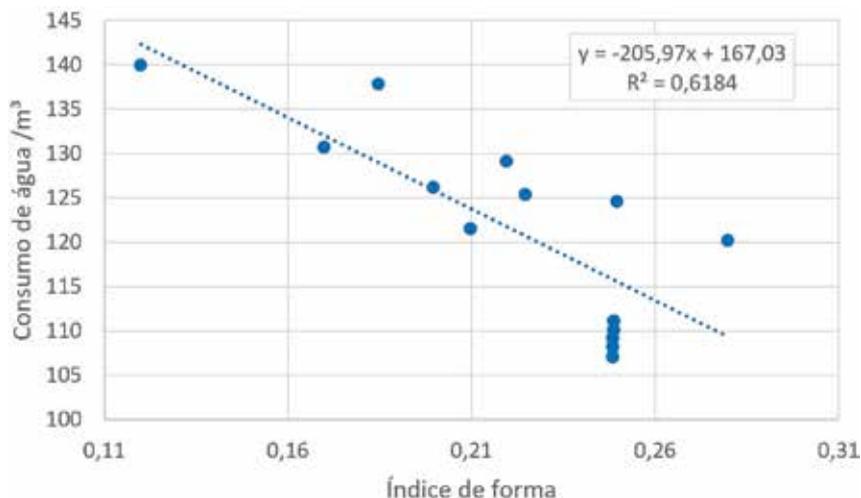


GRÁFICO 2
ÍNDICE DE FORMA

ponderadores, foi realizado um ajuste manual dos valores. Tendo em vista que um ajuste por métodos numéricos demandaria a definição de limites, o que tornaria o modelo proposto mais complexo, portanto, foi buscado ajustes das constantes minimizando o erro, levando em consideração o efeito físico das constantes.

3. ANÁLISE E RESULTADOS

3.1 Resultados dos concretos produzidos

Na Tabela 3, estão os resultados dos concretos produzidos no laboratório. O índice de vazios da mistura granular foi calculado, de forma virtual, por meio do método do empacotamento compressível. A água adsorvida e o coeficiente de forma dos agregados são uma média

TABELA 4
RESULTADO FINAL DAS CONSTANTES DO MODELO MATEMÁTICO

Parâmetro	Valor
X1	0,3782
X2	0,1956
X3	0,1565
X4	1,0000

ponderada pelo volume de cada agregado no concreto. O volume de água/m³ no concreto foi calculado dividindo o volume de água no traço de betoneira pelo volume de concreto rodado, foi considerado 7% de ar incorporado no concreto, valor compatível com concreto seco.

3.2 Análise dos parâmetros

Para a análise dos parâmetros propostos para o modelo matemático,

foram plotados gráficos que os relacionam com consumo de água por metro cúbico dos 14 primeiros concretos, os mesmos que foram utilizados para o desenvolvimento do modelo.

3.2.1 DEMANDA DE ÁGUA AGREGADOS E DEMANDA DE ÁGUA CIMENTO

Para verificar a eficácia do ensaio de demanda de água dos materiais e sua relação com o consumo de água dos concretos, foi desenvolvido um gráfico que os correlaciona. No Gráfico 1, é apresentada uma relação com a demanda de água do cimento e dos agregados em conjunto, devido à variação de consumo de cimento.

Observa-se que há uma tendência de aumento do consumo de água do concreto com o aumento da demanda de água dos materiais. Existem pontos que fogem da linha de tendência, isso se deve ao fato de o consumo de água depender de outras variáveis também. Por exemplo, o ponto (0,34; 139,74) apresentou um consumo de água acima da linha de tendência em decorrência de seu índice de forma ser muito abaixo dos demais concretos.

3.2.2 ÍNDICE DE FORMA

No Gráfico 2, é apresentada uma

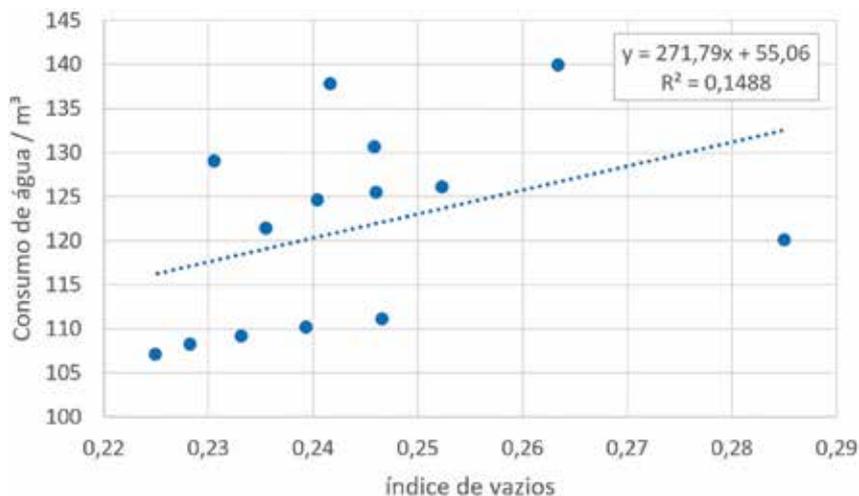


GRÁFICO 3
ÍNDICE DE VAZIOS

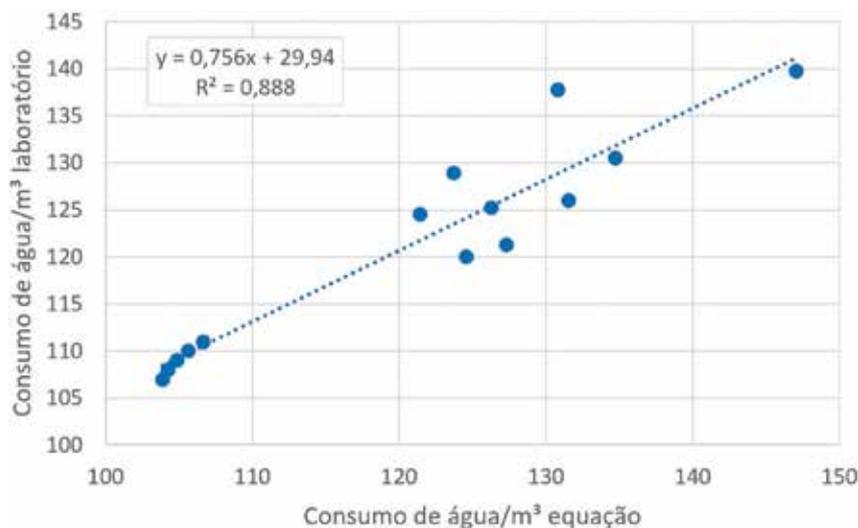


GRÁFICO 4
ÍNDICE DE VAZIOS

correlação entre o índice de forma dos concretos e o consumo de água por metro cúbico. Com esse resultado é possível

verificar se um formato de grão efetivamente contribui para reduzir água. Observa-se que formatos mais ar-

TABELA 5
ERRO ENCONTRADO NO MODELO MATEMÁTICO

Traço	Água (litros/m³) (Laboratório)	Água (litros/m³) (Equação)	Erro absoluto	Erro relativo
CAN1	0,120	0,125	-0,005	-3,83%
CPB	0,129	0,124	0,005	4,02%
CAB1	0,140	0,147	-0,007	-5,25%
CAN1/PB	0,125	0,121	0,003	2,46%
CAB1/ANI	0,126	0,132	-0,006	-4,42%
CPB/ANI	0,131	0,135	-0,004	-3,24%
C50ANI/PB/AB1	0,125	0,126	-0,001	-0,84%
C50PB/AB1/ANI	0,121	0,127	-0,006	-4,97%
C50AB1/ANI/PB	0,138	0,131	0,007	5,02%
CC150	0,114	0,109	0,005	4,50%
CC200	0,109	0,105	0,004	3,96%
CC250	0,088	0,090	-0,002	-1,90%
CC300	0,111	0,107	0,004	3,91%
CC350	0,110	0,106	0,004	3,95%
Paver 1	0,109	0,105	0,004	3,80%
Paver 2	0,108	0,104	0,004	3,45%
Bloco 1	0,107	0,104	0,003	2,89%
Bloco 2	0,111	0,106	0,005	4,83%
Paver 3	0,117	0,112	0,005	4,69%
Bloco 3	0,102	0,101	0,001	0,82%
Max empacotamento	0,105	0,105	0,000	-0,39%

redondados, maiores índices de forma, resultaram em concretos com menor consumo de água.

3.2.3 ÍNDICE DE VAZIOS

No Gráfico 3, é possível observar que há uma tendência de aumentar o consumo de água conforme aumenta o índice de vazios.

O índice de vazios da mistura granular seca apresentou pouca correlação com o consumo de água dos concretos, sendo assim é uma variável que apresenta menor influência no modelo matemático proposto.

3.3 Ajuste das constantes

A partir dos gráficos expostos, foi realizado um ajuste manual para as constantes buscando o menor erro e o menor R^2 , levando em consideração os efeitos físicos de cada constante. É apresentado na Tabela 4 o valor de cada constante, encontrado no ajuste.

A constante x_1 pondera a demanda de água dos agregados; x_2 pondera o índice de vazios; x_3 pondera a demanda de água do cimento; x_4 entra como um ponderador do formato de grão. Observa-se que x_1 obteve o maior valor entre as constantes do numerador da equação, isso se deve ao fato de a demanda de água dos materiais terem uma correlação melhor com o consumo de água do concreto, como é possível observar no Gráfico 1.

É apresentado no Gráfico 3 a correlação entre o consumo de água aplicando as constantes encontradas na equação proposta e o consumo de água obtido em laboratório para os concretos usados para o ajuste matemático. Observa-se que houve uma melhora no " R^2 " de 0,7783 (Gráfico 1) para 0,888, mostrando assim uma melhor correlação.

3.4 Validação do modelo matemático

Para a verificação da validade do modelo matemático, foram desenvolvidos 7 concretos com proporções próximas às utilizadas no mercado. Na Tabela 5,

estão os resultados de consumo de água obtido em laboratório e o consumo de água calculado pela equação 1, utilizando as constantes da Tabela 4, para todos os concretos produzidos.

Portanto, obteve-se um erro máximo de 7 litros de água por metro cúbico de concreto, o que, na prática, é um valor pequeno, representando um erro de no máximo 1,17 litros por betonada com 50 kg de cimento. A NBR 7212 (ABNT, 2021) sugere até 3% de variação no valor de água nominal para centrais dosa-

dora, sendo que o modelo obteve uma variação máxima de 5,25%.

4. CONCLUSÕES

Foi apresentado um modelo matemático para auxiliar na dosagem de concretos secos, visto que os atuais métodos de dosagem levam a dosagens demoradas e onerosas. Foi analisada a influência do empacotamento, demanda de água e coeficiente de forma no consumo de água para criar uma equação.

Analisando os concretos produzidos no laboratório, foi possível observar que os concretos com maior demanda de água também foram os concretos com maior consumo de água por metro cúbico.

Por fim, foi possível desenvolver um modelo matemático com erro pequeno para concreto rodado em betoneira. Contudo, para concretos produzidos em centrais ainda é necessário ajuste. Sendo assim, o modelo é válido, com suas limitações: tempo Vebe fixo e ausência de aditivo. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] American Society for Testing and Materials – ASTM, C1170 – Métodos de teste padrão para Determinação da Consistência e Densidade de Concreto Compactado com Rolo Usando mesa vibratória, 2020.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 7212 – Concreto dosado em central – Preparo, fornecimento e controle, 2021.
- [3] CARASEK, H. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2007.
- [4] DE LARRARD, F. Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach. Modern Concrete Technology Series, vol. 9, E&FN SPON, London, 1999.
- [5] WEIDMANN, D. F. Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland. Dissertação – UFSC, Florianópolis, 2008.

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 aos 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



Efeito de diferentes granulometrias normativas na resistência mecânica de concretos compactados com rolo para pavimentação

ANDRÉIA POSSER CARGNIN - DOUTORANDA (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1568-2756>) (andreiacargnin@usp.br);

JOSÉ TADEU BALBO - PROF. TITULAR (ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9235>);

LIÉDI L. B. BERNUCCI - PROF. TITULAR (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4768-0993>) - EPUSP

RESUMO

CONCRETOS COMPACTADOS COM ROLO, DIFERENTEMENTE DOS TRADICIONAIS CONCRETOS PLÁSTICOS, TEM SUA RESISTÊNCIA MECÂNICA DEFINIDA PELO EFEITO COMBINADO DA MATRIZ PÉTREA E CIMENTÍCIA, SENDO QUE UM ADEQUADO EMPACOTAMENTO É GARANTIDO PELO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO. NO PRESENTE ESTUDO AVALIAM-SE OS IMPACTOS DE TRÊS DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS, DO *AMERICAN CONCRETE INSTITUTE*, DO *COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION* E DO DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (USUÁRIO MAIS COMUM DE BASES CIMENTADAS EM PAVIMENTAÇÃO) NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE MISTURAS DE BRITA GRADUADA COM CIMENTO, PRODUZIDAS COM TEOR DE CIMENTO DE 4% EM PESO (CONSUMO DE APROXIMADAMENTE 95 kg/m³). AS MISTURAS PRODUZIDAS COM A DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA EN 14227-1 DO *COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION* APRESENTARAM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA APROXIMADAMENTE 20% SUPERIOR À MISTURA TÍPICA BRASILEIRA, BEM COMO A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO INDIRETA FOI SUPERIOR EM 10%, APONTANDO PARA A NECESSIDADE DE REVISÃO DOS CRITÉRIOS NORMATIVOS NACIONAIS PARA MAIOR EFICIÊNCIA DO MATERIAL ESTRUTURAL.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO, GRANULOMETRIA, DOSAGEM, RESISTÊNCIA MECÂNICA.

1. INTRODUÇÃO

As origens do concreto compactado com rolo (CCR) como material de pavimentação remontam à estabilização de solos e materiais granulares. Os franceses, por



A



B

FIGURA 1

COMPARAÇÃO EM TERMOS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE CONCRETOS: (A) CONCRETO PLÁSTICO; (B) CONCRETO COMPACTADO COM ROLO

exemplo, começaram a utilizar a partir da segunda metade do século XX, misturas de pedra britada com pequenas quantidades de cimento para aplicação como base de pavimentos. Adicionavam outrora pequenos consumos de ligante (3 a 5% em peso, correspondendo a um consumo de 70 a 110 kg/m³) à mistura de brita graduada buscando um maior empacotamento das partículas, observando mais tardiamente que tais adições, ainda que em pequenas quantidades, alteravam as propriedades do material, conferindo-lhe resistência e rigidez, alterando, por conseguinte, seu comportamento mecânico [1]. Àquela mistura deu-

-se o nome de *grave-ciment*, que, no Brasil, recebeu a nomenclatura de brita graduada tratada com cimento (BGTC). Recomendavam ainda que as propriedades mecânicas da BGTC fossem avaliadas após um ano da aplicação em campo - prática que persiste até hoje - podendo ser estimadas para idades de 28, 60 e 90 dias, em função na natureza do ligante hidráulico[2].

Já a escola inglesa registrou, por volta da década de 1930 a 1940, mesma época dos primeiros registros nos EUA, as primeiras aplicações dessa mistura, porém empregando percentuais maiores de cimento, partindo de 8% em peso (que corresponde a

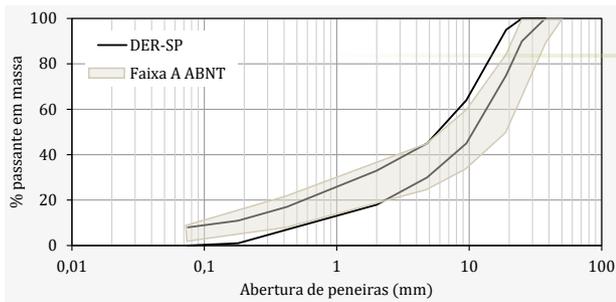


FIGURA 2
FAIXA DER-SP

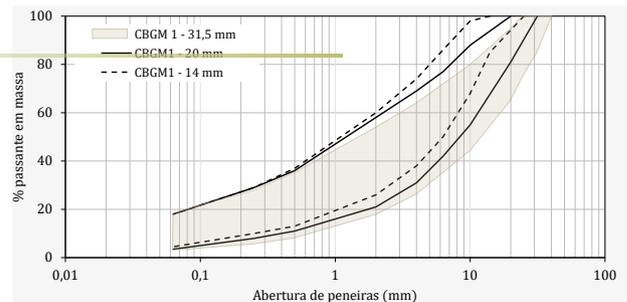


FIGURA 3
FAIXA CBGM 1 – EN 14227-1

um consumo de aproximadamente 200 kg/m³, podendo chegar até 13% [3], [4], sendo a mistura designada inicialmente por *lean concrete*, atualmente reconhecido por concreto compactado com rolo (CCR). Apesar de o CCR ter se popularizado na construção de barragens, suas aplicações enquanto material de pavimentação naquela época foram bem pontuais, disseminando-se para tal fim fortemente na década de 1970 no Canadá [5].

Cabe destacar que tanto a BGTC quanto o CCR são produzidos de maneira similar (exceto procedimento de mistura), considerando seu método de dosagem e construção (compactação com rolo liso vibratório na energia especificada), apresentando uma consistência seca (abatimento zero). Comparados aos tradicionais concretos plásticos, possuem menor consumo de agregados graúdos (em torno de 55% comparado a cerca de 85%, caso de concretos plásticos), ao passo que o percentual da fração miúda tende a ser maior, de tal sorte que preencham os vazios entre as partículas maiores, aumentando seu empacotamento [6], conforme evidencia-se na Figura 1.

Dessa forma, a resistência mecânica de tal material pouco argamassado é garantida pelo processo de compactação e efeito combinado do esqueleto pétreo – responsável pela estabilidade mecânica da estrutura através do intertravamento dos grãos e matriz cimentícia – responsável pelo desenvolvimento da resistência mecânica e rigidez por meio de pontes descontínuas de pasta e argamassa (ligações pontuais) entre as partículas granulares.

Sherwood [2] destaca que a resistência à compressão de um material estabilizado aumenta exponencialmente à medida que sua massa específica aparente seca aumenta e que o aumento de 1% neste último parâmetro representa incremento, em média, de até 10% na medida. Por essa razão, tais materiais deveriam ser compactados

na energia modificada, em detrimento da normal ou intermediária, prática atualmente adotada na grande maioria dos países que empregam o material na construção viária. Xuan *et al.* [3] destacam ainda que os efeitos do baixo grau de compactação poderiam ser compensados, em caso de compactação em energia inferior à modificada, aumentando o teor de cimento, em decorrência da maior disponibilidade de argamassa para recobrimento dos grãos (caso do CCR compactado na energia normal).

Isso pode ser observado em CCRs produzidos com consumos de cimento mais elevados (acima de 150 kg/m³), quando a maior disponibilidade de argamassa permite sua compactação na energia normal. Todavia, no caso de misturas produzidas com teores de cimento mais baixos (da ordem de 100 a 120 kg/m³), recomenda-se a compactação do material na energia modificada para garantir o entrosamento desejável entre as partículas, de tal sorte que a resistência mecânica desejada seja alcançada.

Em termos de distribuição granulométrica dos agregados, cabe destacar que um balanço adequado entre as frações de agregado graúdo e miúdo, com este último preenchendo os vazios existentes entre as partículas maiores é essencial para se garantir um bom empacotamento dos grãos e atendimento dos parâmetros de projeto.

1.1 Faixas granulométricas

No desenvolvimento do presente estudo, trabalhou-se com faixas granulométricas para misturas estabilizadas com cimento, estabelecidas pela norma europeia EN 14227-1 [4], que abarca tanto misturas que variam do tradicional solo-cimento ao CCR, com a faixa recomendada para CCR pelo *American Concrete Institute (ACI)* por Pittman e Ragan [5], bem como a faixa estabelecida na norma do Departamento de

Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP) [11] para BGTC, podendo-se delas inferir os seguintes comentários de natureza pragmática:

- ▶ A faixa granulométrica para BGTC do DER-SP [11] (Figura 2), idêntica à faixa A da ABNT NBR 11803 [6], deriva, tal como outras especificações brasileiras para o material, de faixas de especificação para brita graduada simples (BGS). O mesmo órgão possui também uma especificação para CCR, sem, todavia, estabelecer uma faixa granulométrica a ser seguida para a dosagem da mistura;
- ▶ A norma europeia EN 14227-1 [4] abrange cinco faixas granulométricas para materiais granulares estabilizados para pavimentação: CBGM 1 (*cement bound granular mixture 1*), CBGM 2, CBGM 3, CBGM 4 e CBGM 5. As misturas CBGM 1 (Figura 3) são divididas em três categorias em função da dimensão máxima dos agregados (31,5 mm, 20 mm e 14 mm), ao passo que as CBGM 2 (Figura 4), igualmente dividida em três categorias (diâmetro máximo de 20 mm, 14 mm ou 10 mm), devem apresentar uma compactidade mínima de 0,80 da máxima massa específica aparente seca obtida na energia modificada. As misturas CBGM 3, 4 e 5, por sua vez, são misturas associadas à estabilização de solos granulares com cimento;
- ▶ Pittman e Ragan [5] estudaram distribuições granulométricas para CCR com graduação graúda, média e fina (Figura 5), para avaliação da magnitude de retração por secagem no material. As misturas foram desenvolvidas de modo que apresentassem uma consistência adequada para compactação em pista e atendessem ao guia de especificações do *United States Army Corps of Engineers – USACE (Corps of Engineers guide specification – CEGS)*.

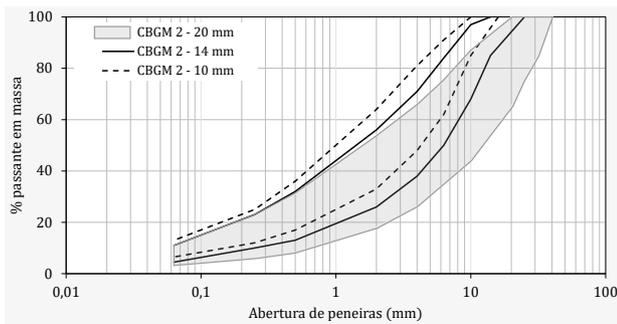


FIGURA 4
FAIXA CBGM 2 - EN 14227-1

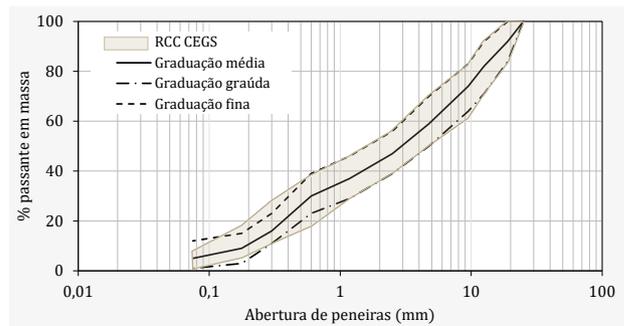


FIGURA 5
FAIXA PARA CCR (USACE)

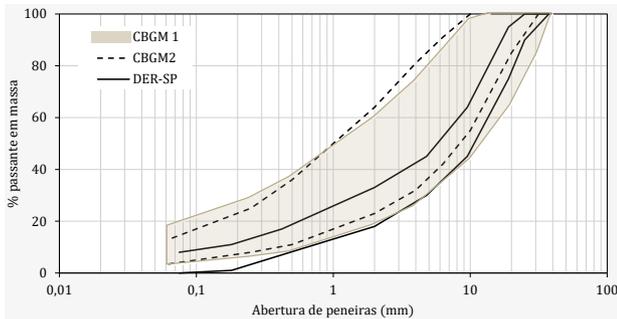


FIGURA 6
FAIXAS DER-SP x CBGM 1 E 2 DA EN 14227-1

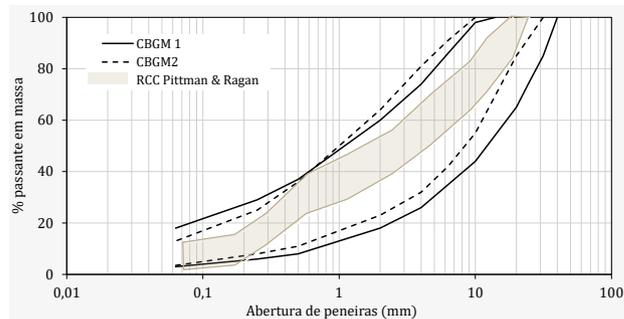


FIGURA 7
FAIXAS CCR (USACE-ACI) x CBGM 1 E 2 DA EN 14227-1

Dessa forma, a curva média de Pittman e Ragan, normalmente empregada nas dosagens de CCR, não necessariamente corresponde àquela de maior resistência, mas sim àquela cuja retração por secagem foi a menor verificada pelos autores em seu estudo;

- ▶ A faixa granulométrica do DER-SP enquadra-se na especificação europeia, com exceção das frações finas abaixo da #40 (0,42 mm). Observa-se também que o limite máximo de material passante na peneira 4,8 mm permitido pelo DER-SP é de 45%, enquanto a norma europeia, em seus limites mais finos, permite percentuais da ordem de 80% de agregado miúdo (passante na #4,8 mm). Além disso, o percentual passante na peneira 0,075 mm tolerado pela faixa do DER-SP é de 8%, ao passo que na EN-14227-1 são tolerados percentuais da ordem de 18% (Figura 6). Já, a faixa de CCR do USACE (mesma adotada pelo ACI) enquadra-se completamente dentro dos limites europeus, sendo mais restritiva no percentual máximo de finos (Figura 7). Enquanto a faixa de CCR permite um percentual de finos (passante na 0,075

mm) de 12%, a norma europeia permite até 18% de finos no limite inferior da faixa CBGM1 e 13% na graduação fina da faixa CBGM 2.

- ▶ Por fim, observa-se que a faixa granulométrica de BGTC do DER-SP difere bastante da faixa granulométrica de CCR do USACE (e do ACI). O limite inferior (graduação mais fina) da faixa brasileira encontra-se mais próximo do limite superior da faixa (graduação mais graúda) de CCR (frações entre 9,5 e 2,4 mm), evidenciando a graduação mais grossa da BGTC (Figura 8).

Em última análise, o tecnologista responsável pelo projeto de mistura, assim como o empreiteiro, devem ter em mente que o controle da granulometria consiste em um dos parâmetros cruciais para o desempenho da mistura, de modo que o empacotamento das partículas, a densidade do material e sua estabilidade sejam favorecidos. A escassez da fração miúda dificulta a compactação do material, que apresentará estabilidade apenas se confinado; por outro lado, o excesso da fração miúda acarretará perda de contato entre os grãos, afetando também sua estabilidade e resistência.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a definição das curvas granulométricas de interesse para a dosagem das misturas considerando as três faixas granulométricas selecionadas, realizou-se uma análise quanto aos coeficientes de Talbot (n) de seus limites superiores e inferiores. Tal procedimento foi adotado considerando-se que o desenvolvimento de misturas densas e bem graduadas são norteadas pelos estudos clássicos de Fuller e Thompson [7] e de Talbot e Richart [8], que desenvolveram faixas granulométricas bem graduadas para o proporcionamento de misturas de concreto, conforme a equação (1).

$$[1] \quad p = 100 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^n$$

Sendo:

- p – o percentual passante na peneira de diâmetro d;
- d – o diâmetro de uma dada peneira;
- D – o diâmetro máximo dos grãos que compõem a mistura; n o expoente da função.

As Figuras 9 a 12 ilustram as três faixas de interesse do estudo, bem como os valores do coeficiente de Talbot (n) calculados para os limites das faixas granulométricas estudadas.

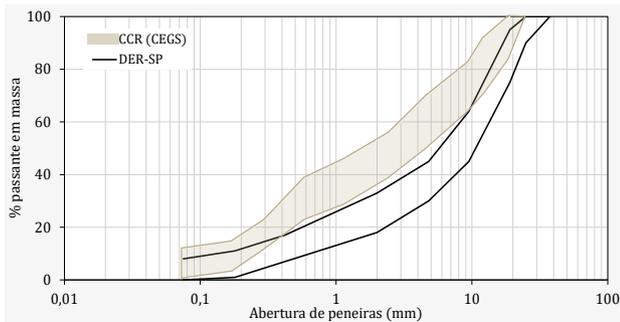


FIGURA 8
FAIXAS DE BGTC (DER-SP) x CCR (USACE-ACI)

Sabendo que as máximas densidades para misturas bem graduadas são obtidas para curvas com coeficiente de Talbot entre 0,40 e 0,60, as curvas selecionadas para o desenvolvimento do estudo laboratorial foram: (i) limite inferior do DER-SP; (ii) curva média para as misturas CBGM 2 da EN 14227-1, desconsiderando o limite máximo permitido pela norma, que permite um percentual mais elevado de fração fina, desde que não haja finos nocivos da rocha britada; (iii) curva média do USACE, representadas nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

álcali-agregado (RAA). Ensaios para determinação da massa específica real e aparente dos grãos e absorção foram realizados seguindo os procedimentos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 6458 [9] e DNER-ME 195/97 [10], cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

2.2 Cimento Portland

O cimento Portland empregado na produção das misturas de CCR foi CP III 40 RS, cuja resistência mecânica aos 28 dias é de 46,7 MPa e superfície Blaine de 4.812 cm²/g.

2.1 Agregados

A análise petrográfica do agregado empregado indicou ser originário de rocha metamórfica classificada como gnaiss, sendo potencialmente inócuo para reação

O teor de ligante empregado foi de 4% em relação à massa de agregado, correspondendo a um consumo de aproximadamente 95 kg/m³.

2.3 Dosagem das misturas

A dosagem das misturas de CCR foi pautada na determinação da umidade ótima de compactação para as três curvas granulométricas estudadas, seguindo os procedimentos balizados pela ABNT NBR 7182 [1] para misturas sem adição de cimento. Para tanto, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm (diâmetro x altura), compactados na energia modificada (soquete de Proctor grande com massa de 4,5 kg e altura de queda de 45,7 cm). Para tal energia, os CPs foram compactados em 8 camadas, aplicando-se 26 golpes por camada. Nas Figuras 16, 17 e 18 são apresentadas as curvas de compactação obtidas para as três graduações estudadas.

De posse das curvas de compactação para as misturas, a umidade de compactação foi definida com base nas recomendações

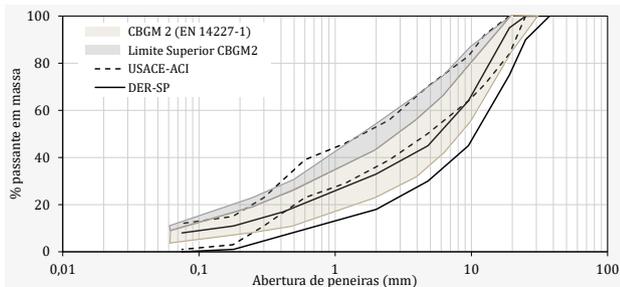


FIGURA 9
FAIXAS GRANULOMÉTRICAS ESTUDADAS

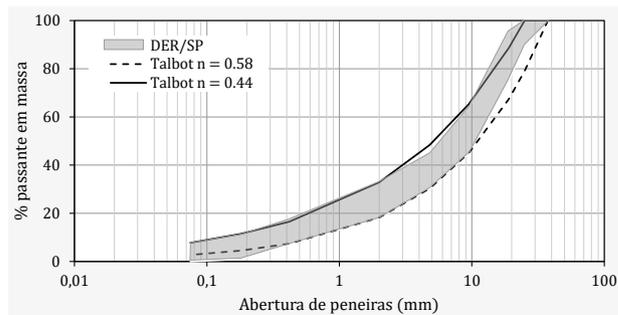


FIGURA 10
COEFICIENTES DE TALBOT PARA LIMITES DA FAIXA DER-SP

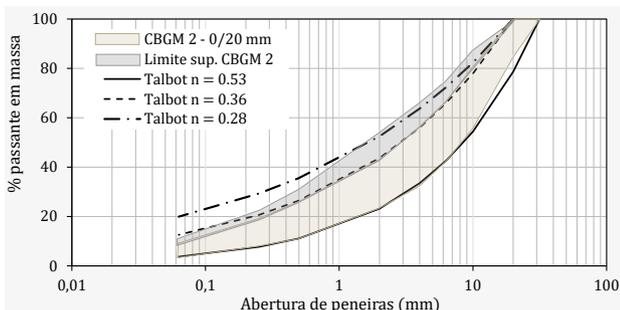


FIGURA 11
COEFICIENTES DE TALBOT PARA LIMITES DA FAIXA EN 14227-1

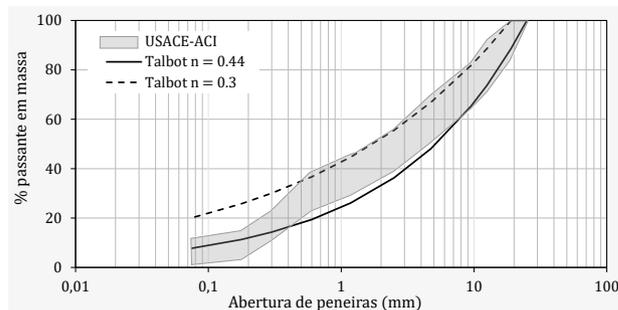


FIGURA 12
COEFICIENTES DE TALBOT PARA LIMITES DA FAIXA (USACE-ACI)

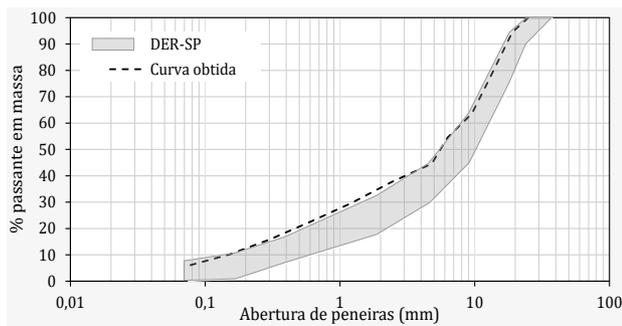


FIGURA 13

CURVA GRANULOMÉTRICA LIMITE SUPERIOR DER-SP

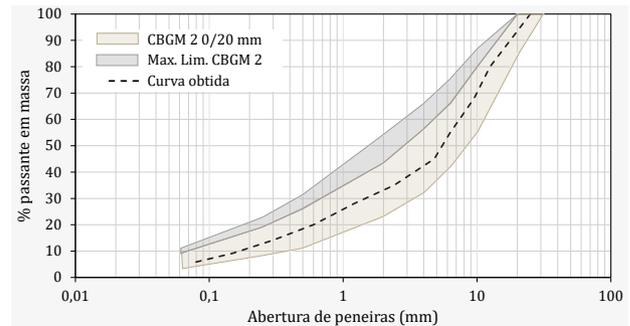


FIGURA 14

CURVA GRANULOMÉTRICA MÉDIA PARA EN 14227-1

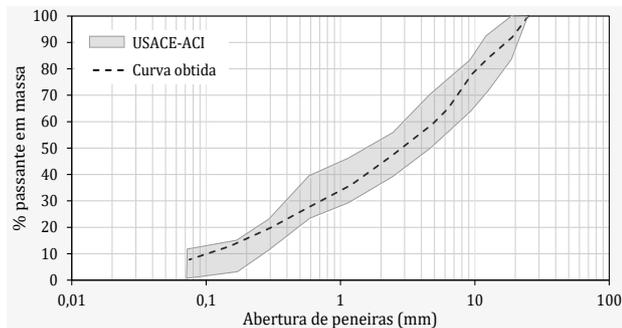


FIGURA 15

CURVA GRANULOMÉTRICA MÉDIA PARA CCR (USACE-ACI)

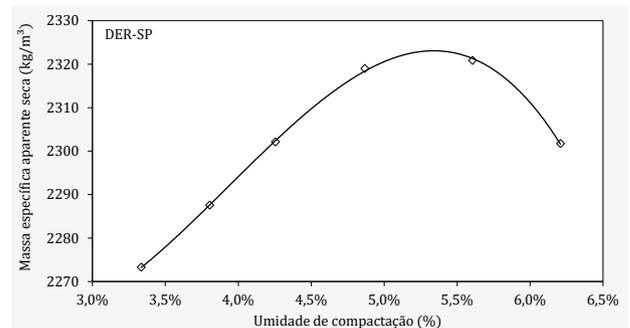


FIGURA 16

CURVA DE COMPACTAÇÃO DER-SP

de Balbo [1] para o preparo das amostras com cimento; considerando que a resistência do material é potencializada para compactações realizadas no ramo seco (umidade de compactação ligeiramente abaixo da ótima para favorecimento do encastelamento dos cristais de hidratação) e na energia modificada, as amostras ensaiadas foram compactadas na umidade correspondente a 1,5% abaixo da ótima. Assim, as umidades de compactação para as amostras produzidas com as curvas do DER-SP, EN 14227-1 e USACE-ACI foram de 3,9%, 4,7% e 4,0%, respectivamente.

Os CPs compactados foram extraídos dos moldes e armazenados em tubos de PVC com 100 mm de diâmetros, lacrados em sacos plásticos até as idades de ensaio

(28 dias), sendo acondicionados em uma câmara com condições de umidade e temperatura controladas (22°C e umidade de aproximadamente 80%).

2.4 Ensaios mecânicos

Foram realizados ensaios de resistência à compressão simples e tração indireta das amostras conforme os procedimentos preconizados pelas normas ABNT NBR 5739 [12] e ABNT NBR 7222 [13], respectivamente. Para esta finalidade, foram moldados seis CPs por mistura para avaliação de cada uma das resistências. Os ensaios de compressão uniaxial empregaram velocidade de aplicação de carga de 0,3 MPa/s (2,36 kN/s), ao passo que os ensaios em compressão diametral mantiveram taxa de aplicação de carga de 0,01 MPa/s (0,314 kN/s), seguindo os arranjos experimentais ilustrado pelas Figuras 19 e 20, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração indireta foram confrontados, consideradas

as três granulometrias estudadas, sendo apresentados na Figura 21.

Observa-se da Figura 21 que foram obtidos padrões de resistência (relação resistência à tração indireta x compressão simples) que diferem entre si, considerando cada uma das curvas granulométricas estudadas. Análises de variância de fator único (ANOVA) para confirmação das diferenças foram realizadas para um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), tanto para resistência à compressão como para resistência à tração indireta, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

A análise de variância foi conduzida assumindo como hipótese nula (H_0) que as médias de resistência (à compressão e tração indireta) para as três curvas seriam iguais e como hipótese alternativa (H_1) que ao menos uma delas difere das demais. Para ambos os casos, observa-se que as médias não podem ser consideradas iguais, uma vez que o valor de $F_{\text{calculado}}$ resultou maior do que $F_{\text{crítico}}$, devendo-se, portanto, rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa.

Para fins de comparação entre as médias de resistência, os resultados foram,

TABELA 1

PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO

Massa específica real (g/cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção (%)
2,675	2,652	0,33

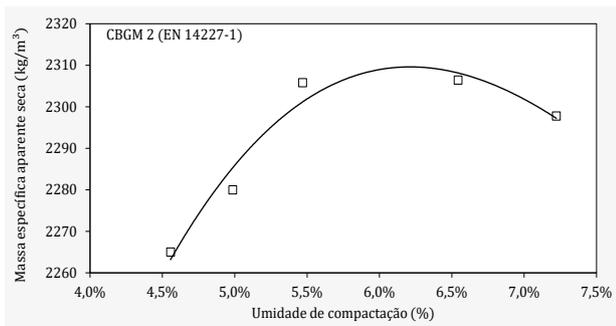


FIGURA 17

CURVA DE COMPACTAÇÃO EN 14227-1

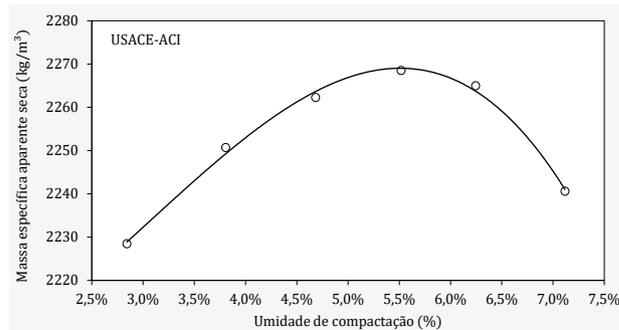


FIGURA 18

CURVA DE COMPACTAÇÃO CCR USACE-ACI

então, confrontados entre si em pares, tanto para resistência à compressão como em tração indireta por meio de testes de hipótese t-Student para médias, para um nível de confiança de 95%, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Para a resistência à compressão simples, os testes de hipótese revelaram, para os três cenários, que as médias são estatisticamente diferentes; a resistência à compressão simples aos 28 dias, para um consumo de cimento de 95 kg/m³ para a mistura elaborada com a curva média da faixa EN 14227-1 foi cerca de 20% maior do que a resistência obtida para a faixa coincidente com o limite superior da faixa do DER-SP. Já, em relação à curva média da faixa do ACI, a resistência à compressão para a curva EN 14227-1 foi em torno de 10% maior; comparando-se as curvas do ACI e do DER-SP, os testes de hipótese confirmaram que a média para a

curva média de Pittman e Ragan resultou cerca de 10% maior do que o limite inferior da curva DER-SP.

Considerando a resistência à tração indireta, os testes de hipótese revelaram que as médias entre as curvas DER-SP e EN 14227-1 e USACE-ACI e EN 14227-1 são estatisticamente diferentes para um nível de significância de 5%, ao passo que as médias entre as curvas DER-SP e USACE-ACI são estatisticamente iguais.

Tal comportamento é associado às diferenças observadas nas distribuições granulométricas estudadas; o primeiro indício de que as curvas possuem distinções importantes entre si está na umidade de compactação: enquanto as distribuições correspondentes ao limite superior da faixa DER-SP e CCR resultaram em umidade similares (5,4% e 5,5%, respectivamente), a curva média para a faixa CBGM 2 resultou em uma umidade ótima de 6,2%; mantido o teor de cimento em peso, a relação a/c naturalmente aumentou.

Mesmo com as misturas sendo compactadas no ramo seco (1,5% abaixo da umidade ótima), do ponto de vista da tecnologia de concreto tal aspecto seria prejudicial ao material em termos de desenvolvimento de resistência, uma vez que, para um mesmo consumo de cimento, uma maior umidade de compactação implica em maior relação água/cimento.

Contudo, vale ressaltar que em se tratando de um concreto seco, com baixo consumo de cimento, a resistência é baseada no efeito combinado da pasta de cimento (responsável por ligações pontuais entre as partículas de agregado) e principalmente pela compacidade e pelo empacotamento do esqueleto pétreo. Para verificação analisaram-se os valores do coeficiente de Talbot (n) obtidos para as três curvas, obtendo-se valores de n de

0,42 (Figura 22), 0,45 (Figura 23) e 0,33 (Figura 24) para as curvas DER-SP, CBGM 2 e ACI, respectivamente, confirmando que de fato, a curva média para a distribuição da norma europeia apresenta uma melhor distribuição em termos de empacotamento das partículas.

Fato comum às três curvas estudadas, todavia, é a limitação do diâmetro máximo dos agregados em 20 mm (caso na norma europeia) ou 19 mm (caso das curvas DER-SP e CCR), o que favorece o empacotamento das misturas. Destaca-se ainda a necessidade de revisão em critérios de distribuição granulométrica para misturas do tipo BGTC e CCR no Brasil, reorientando-se ao emprego de faixas mais bem graduadas. Além disso, o controle granulométrico na produção em usina de tais misturas revela-se essencial para fins de atendimento da resistência de projeto.



FIGURA 19

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES



FIGURA 20

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO INDIRETA

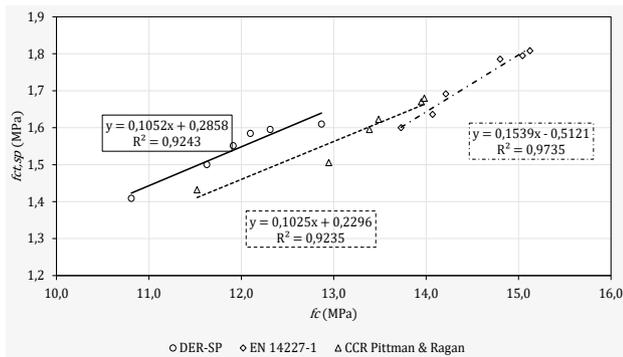


FIGURA 21

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO X RESISTÊNCIA À TRAÇÃO INDIRETA PARA DIFERENTES DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS

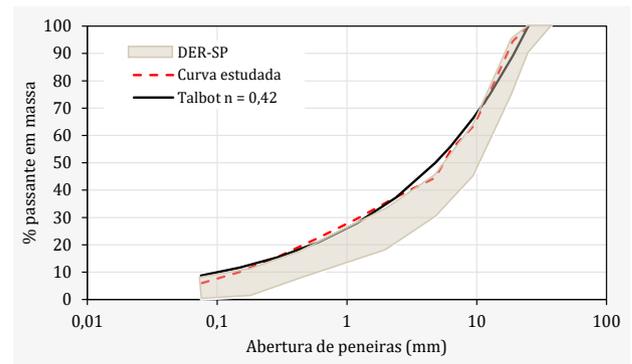


FIGURA 22

AJUSTE DO COEFICIENTE DE TALBOT PARA LIMITE SUPERIOR DER-SP

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve por objetivo avaliar os impactos de diferentes distribuições granulométricas na resistência de misturas de CCR (ou BGTC) produzidas com teor de cimento de 4% em peso (consumo de 95 kg/m³), ensejando as constatações e os comentários que se seguem:

- ▶ Apesar de receberem uma nomenclatura diferenciada, em função da escola que lhes deu origem, a BGTC (nomenclatura advinda da escola francesa) e o CCR (escola inglesa) são materiais similares, cujo procedimentos de dosagem e execução se assemelham; mesmo na escola francesa, uma das pioneiras na produção de misturas de britas estabilizadas com cimento, atualmente são empregadas misturas de BGTC com consumo de cimento entre 5 e 8%, aproximando-se definitivamente de CCRs;
- ▶ Considerando as curvas estudadas, as análises de variância e testes de hipóteses confirmaram para um nível de confiança de 95% que as distribuições granulométricas impactaram de forma significativa, tanto a resistência à compressão quanto a resistência à tração indireta (parâmetro de maior interesse no projeto estrutural de pavimentos); a curva média para a faixa de distribuição CBGM 2 (EN 14227-1) resultou em resistências de cerca de 20% e 10% maiores em compressão e tração indireta, respectivamente, em comparação às curvas DER-SP e CCR;
- ▶ A análise do coeficiente de Talbot (n) para as distribuições granulométricas estudadas confirmou que, de fato, a curva média para a faixa CBGM 2 da EN 14227-1 apresenta um melhor empacotamento (n = 0,45) em relação

às curvas do DER-SP (n = 0,42) e ACI (n = 0,33), corriqueiramente empregadas, lançando luzes sobre a necessidade de revisão das especificações granulométricas brasileiras

para misturas do tipo BGTC e CCR;

- ▶ Em última análise, destaca-se ainda a importância de se limitar a dimensão máxima dos agregados, de modo a facilitar o empacotamento das partículas

TABELA 2

RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA RESISTÊNCIA MECÂNICA

Parâmetro estatístico	Compressão simples			Tração indireta		
	DER-SP	EN14227-1	USACE	DER-SP	EN14227-1	USACE
Número de CPs	6	6	6	6	6	6
Média (MPa)	11,94	14,50	13,21	1,54	1,72	1,58
Desvio padrão (MPa)	0,693	0,572	0,913	0,076	0,089	0,097
Variância	0,480	0,328	0,833	0,0057	0,0079	0,0094
F _{calculado}	17,962			6,668		
F _{crítico}	3,682			3,682		
Valor-P	1,04E-04			0,0084		

TABELA 3

TESTES DE HIPÓTESE T-STUDENT PARA MÉDIAS DE DUAS AMOSTRAS

Parâmetro	DER-SP	EN14227-1	USACE	DER-SP	EN14227-1	USACE
Compressão simples						
Média	11,94	14,50	13,21	11,94	14,50	13,21
Variância	0,480	0,328	0,833	0,480	0,328	0,833
Stat t	6,976		2,723		2,922	
Valor-P	3,826E-05		0,0234		0,0192	
t _{crítico}	2,228		2,262		2,306	
Resultado	Rejeita H0. Médias diferentes		Rejeita H0. Médias diferentes		Rejeita H0. Médias diferentes	
Tração indireta						
Média	1,54	1,72	1,58	1,54	1,72	1,58
Variância	0,00574	0,00797	0,00949	0,00574	0,00797	0,00949
Stat t	3,715		0,846		2,502	
Valor-P	0,00401		0,419		0,0313	
t _{crítico}	2,228		2,621		2,228	
Resultado	Rejeita H0. Médias diferentes		Aceita H0. Médias iguais		Rejeita H0. Médias diferentes	

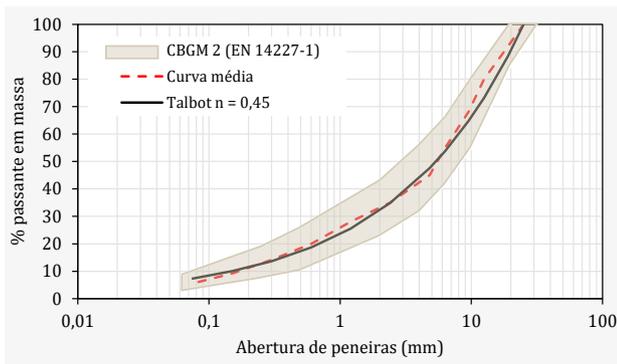


FIGURA 23

AJUSTE DO COEFICIENTE DE TALBOT PARA CURVA MÉDIA (CBGM2)

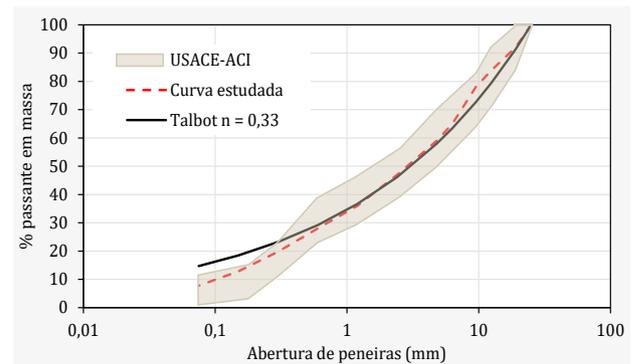


FIGURA 24

AJUSTE DO COEFICIENTE DE TALBOT PARA CURVA MÉDIA (USACE-ACI)

bem como o espalhamento e compactação do material em campo. No caso das misturas estudadas, a dimensão máxima foi limitada a 19 mm.

Como conclusão inevitável, tem-se que as faixas granulométricas apresentadas em especificações nacionais, como aquelas do DER-SP e da ABNT, necessitam revisão por não potencializar o ganho de resistência estática, que implica também em ganho de resistência à fadiga, dos materiais granulares

cimentados corriqueiramente empregados em rodovias e pistas de aeroportos nacionais. Ademais, as conclusões acima são válidas apenas considerando-se a energia de compactação modificada, que consiste no padrão adotado no exterior para materiais com consumo de cimento da ordem de 120 kg/m³, denotando a necessidade de revisão das normas brasileiras que recomendam a compactação de BGTC na energia intermediária.

Análises futuras sobre demais parâme-

tros relacionados à dosagem, propriedades mecânicas medidas em laboratório, bem como desempenho em campo, contribuirão para um melhor esclarecimento acerca do desempenho do material, ensejando recomendações práticas que contribuam para o desenvolvimento de projetos de bases cimentadas de pavimentos com um desempenho superior àquele que se tem registrado ao longo das últimas décadas em relação à BGTC no Brasil. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALBO, J. T. Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semi-rígidos. Doutorado (Tese). Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- [2] SETRA, Guide d'application des normes pour le reseau routier national. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), 1998.
- [3] ADASKA, W. S. Roller compacted concrete. PCA Research & Development Information, 2005. doi: 10.1201/9781420007657-25.
- [4] BRITPAVE, Guidelines for Design, Materials and Construction. BRITPAVE: The British Cementitious Paving Association, 2013.
- [5] ABOUABID, M.; CASEY, D.; JONES, M. Roller Compacted Concrete - Background to the Development of Highways England's Design Guidance and Specification. Highways England Specialist Professional and Technical Services, 2017.
- [6] HARRINGTON, D.; ABDO, F.; ADASKA, W.; HAZAREE, C. Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements, 2010. [Online]. Available: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1082276>
- [7] SHERWOOD, P. Soil stabilization with cement and lime: state of the art review. London: Transportation Research Laboratory (TRL), 1993.
- [8] XUAN, D. X.; HOUBEN, L. J. M.; MOLENAAR, A. A. A.; SHUI, Z. H. Mechanical properties of cement-treated aggregate material - A review. Materials and Design, vol. 33, no. 1, pp. 496-502, 2011. doi: 10.1016/j.matdes.2011.04.055.
- [9] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, EN 14227-1: Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 1: Cement bound granular mixtures. Brussels, 2013.
- [10] PITTMAN D. W.; RAGAN, S. A. Drying shrinkage of roller-compacted concrete for pavement applications, ACI Materials Journal, no. 95, pp. 19-26, 1998.
- [11] DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER-SP, ET-DE-P00/009: Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento - BGTC, São Paulo, 2005.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 11803: Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.
- [13] FULLER W. B.; THOMPSON, S. E. The laws of proportioning concrete. Transactions of the American Society of Civil Engineers, pp. 67-143, 1907.
- [14] TALBOT, A. N.; RICHART, F. E. The strength of concrete its relation to the cement aggregates and water, Bulletin no. 137. Engineering Experiment Station, University of Illinois, 1923.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.
- [16] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. DNER-ME 195/97: Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 1997.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7222 - compressão diametral. Rio de Janeiro, 2010.

Dosagem de *pavers* de concreto permeável com agregado reciclado misto (ARM)

BRUNA CAROLINE GODOY DE SOUZA – GRADUANDA (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5782-5332>) (brunacaroline.godoys@gmail.com);

ANA PAULA MORENO TRIGO – PROF. DOUTORA (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1374-7467>) (apmtrigo@ifsp.edu.br) – **IFSP**

RAFAELLA CORDARO BUCKER FURINI – ENG. CIVIL (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7384-4234>) (rafaellafurini@outlook.com) – **FEX ENGENHARIA**

MARIANA NUCCITELLI SIMÕES – MESTRANDA (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0400-3586>) (marianasimoes1607@hotmail.com) – **UFSCAR**

LARA GUIZI ANONI – MESTRANDA (ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5116-1507>) (laraanoni@usp.br) – **USP**

RESUMO

COMO FORMA DE ALIAR SOLUÇÕES PARA OS PROBLEMAS DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO E CRESCENTE VOLUME DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO SEM FINALIDADE DE REUTILIZAÇÃO BEM ESTABELECIDO, VÊM SENDO DESENVOLVIDOS PAVERS DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADO RECICLADO MISTO (ARM). NESTE TRABALHO, TRAÇOS DE CONCRETO PERMEÁVEL COM SUBSTITUIÇÕES DE 25%, 50% E 75% DO AGREGADO NATURAL PELO ARM FORAM DOSADOS COM O INTUITO DE ATENDEREM AS PROPRIEDADES HIDRÁULICAS E MECÂNICAS ESTABELECIDAS EM NORMA. O DESEMPENHO DO CONCRETO FOI VERIFICADO POR ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, TRAÇÃO NA FLEXÃO E PERMEABILIDADE. ALÉM DISSO, 1 m² DE PAVIMENTO PERMEÁVEL FOI CONSTRUÍDO PARA A VALIDAÇÃO, NA PRÁTICA, DOS RESULTADOS. OS RESULTADOS MOSTRAM A INFLUÊNCIA NEGATIVA DO AGREGADO RECICLADO NA RESISTÊNCIA E POSITIVA NA PERMEABILIDADE. DENTRE OS TRAÇOS PRODUZIDOS, 2 ATINGIRAM REQUISITOS MÍNIMOS, COMBINANDO TANTO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO QUANTO PERMEABILIDADE.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO DRENANTE, PAVIMENTO PERMEÁVEL, PAVER, AGREGADO RECICLADO, ARM.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana, aliado às necessidades de ampliação da infraestrutura, conduzem as cidades a enfrentarem problemas com drenagem superficial do solo e excesso de resíduos. Dentre as iniciativas sustentáveis, o uso dos chamados *pavers* permeáveis (peças de concreto para pavimento intertravado) é destaque como forma de permitir rápida percolação de água e redução do escoamento superficial, reduzindo a chance de alagamentos.

Em contrapartida, o volume crescente de resíduos da construção civil evidencia a necessidade de soluções para sua reincorporação no processo construtivo. Aliando as problemáticas discutidas, o uso do agregado reciclado misto (ARM) na produção de pavimentos permeáveis vem sendo avaliado em termos de desempenho e benefícios ambientais. Concretos permeáveis com substituição total do agregado natural pelo reciclado foram desenvolvidos por Junior (2019). A queda da resistência mecânica vem sendo observada em trabalhos. Finocchiaro e Girardi (2017) tiveram resultados satisfatórios quanto ao tempo de percolação da água, mas em contrapartida obtiveram queda na resistência à compressão. Recentemente, Strieder et al (2020) verificaram que a resistência à compressão diminui em 30% para teor total de substituição do agregado natural pelo reciclado.

Dessa forma, apesar de resultados vantajosos com relação à percolação da água, ainda há falhas na metodologia de dosagem ideal para o desenvolvimento de *pavers* reciclados que aliem desempenho mecânico ao hidráulico nas peças. De acordo a ABNT NBR 16416:2015, peças de concreto permeável para tráfego leve ou de pedestres devem atingir, no mínimo, 20 MPa de resistência à compressão e coeficiente de permeabilidade (k) maior que 0,1 cm/s. Quanto à resistência à tração, a norma apresenta exigências apenas para placas.

O intuito do estudo é desenvolver traços de concreto permeável com substituição do agregado natural pelo ARM, avaliar os desempenhos mecânico e hidráulico das misturas e, ao final, produzir um pavimento

de blocos intertravados do concreto permeável com o resíduo. Com o trabalho, almeja-se apresentar os *pavers* permeáveis de ARM como uma solução sustentável, tanto do ponto de vista de otimização do uso do solo como do reaproveitamento de materiais da própria indústria da construção.

2. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Instituto Federal de São Paulo, *campus* Votuporanga. O pedrisco reciclado foi fornecido por uma empresa de Votuporanga.

2.1 Caracterização dos materiais

A caracterização respeitou as normativas brasileiras. Para os agregados, foram realizados os ensaios de Análise Granulométrica: ABNT NBR 17054:2022, Massa Específica: ABNT NBR 16917:2021, Massa Unitária: ABNT NBR 16972:2021 e Absorção de Água: ABNT NBR 16917:2021. O cimento teve as características fornecidas pelo fabricante. Cabe destacar que o agregado reciclado não foi caracterizado de acordo à norma atualizada (ABNT NBR 15116:2022), pois a parte experimental do estudo foi finalizada em 2021.

2.2 Dosagem dos concretos permeáveis

A metodologia de dosagem adotada no estudo, baseada no método IPT/EPUSP, tem como ponto de partida o estudo de um traço rico (1:3,5) e um traço médio (1:5). A partir da proporção de massa total do agregado (neste caso somente pedrisco),

estudou-se a melhor relação água/cimento (a/c) para atender as misturas com substituições de 25%, 50% e 75% do pedrisco natural pelo reciclado. As relações a/c verificadas contemplam o intervalo de 0,5 a 0,8 para o traço rico e de 0,55 a 0,65 para o traço médio, ambos com amplitude de 0,05.

Semelhante à avaliação do teor de argamassa para concretos comuns no método IPT/EPUSP, a validação das relações a/c foi alcançada ao se submeter cada traço à análise tátil-visual, de forma a se obter concretos que formassem uma “bola na mão” e cujas partículas estivessem revestidas pela pasta de cimento, verificadas pela existência de brilho. YAP *et al.* (2018) apontam essa técnica como o método mais assertivo ao concreto permeável, uma vez que as misturas não produzem *slump* significativo.

Sendo uma das prioridades na confecção de peças permeáveis a boa drenagem, uma segunda verificação foi estabelecida, a análise visual do escoamento de água corrente pelas amostras de concreto endurecido. Isso auxiliou na confirmação da eficácia de percolação para cada relação a/c. Definida a relação ótima, 8 traços foram adotados e apresentados na Tabela 1.

2.3 Procedimentos de mistura

O processo inicial de mistura se deu pela confecção da pasta de cimento com

TABELA 1

NOMENCLATURA DOS TRAÇOS DESENVOLVIDOS

Nome	Descrição
1:3,5/TC	Traço rico controle, 100% de pedrisco natural
1:3,5/T25	Traço rico, 25% de pedrisco reciclado
1:3,5/T50	Traço rico, 50% de pedrisco reciclado
1:3,5/T75	Traço rico, 75% de pedrisco reciclado
1:5,0/TC	Traço médio controle, 100% de pedrisco natural
1:5,0/T25	Traço médio, 25% de pedrisco reciclado
1:5,0/T50	Traço médio, 50% de pedrisco reciclado
1:5,0/T75	Traço médio, 75% de pedrisco reciclado

FONTE: FURINI (2021)

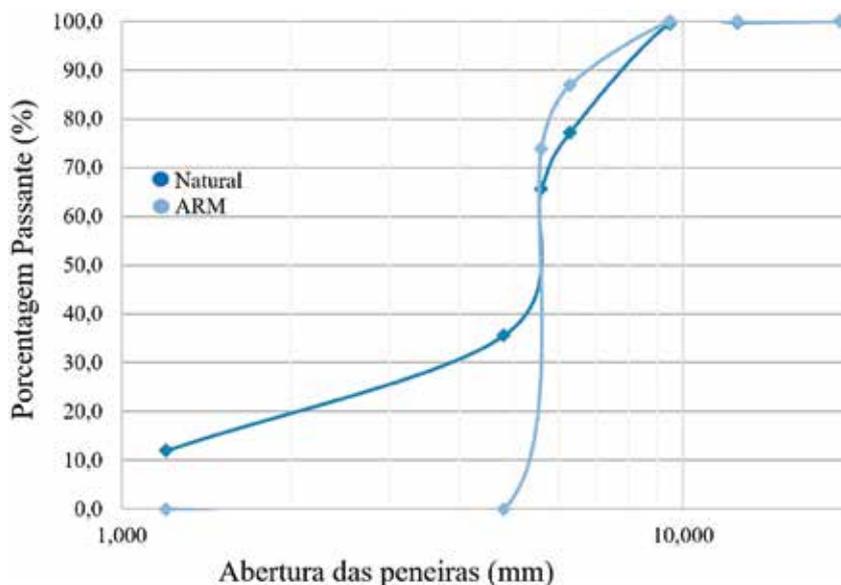


FIGURA 1

CURVAS GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS

FONTE: FURINI (2021)

adição de 70% da água, a fim de garantir a hidratação devida dos grãos, já que o ARM apresenta alta taxa de absorção de água intrínseca. Em seguida, metade da massa do agregado foi adicionada, possibilitando maior preenchimento de área superficial com nata. Por fim, o restante do agregado e da água foram adicionados. Foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos para cada traço, sendo 5 compactados com haste metálica e 5 com o pilão utilizado no ensaio de Proctor, a fim de comparar a influência da energia de compactação na resistência.

2.4 Validação dos traços

Para análise das propriedades dos concretos, foram realizados ensaios de: massa específica no estado fresco (ABNT NBR 9833:2008), resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2018), resistência à tração na flexão (ABNT NBR 12142:2010) e permeabilidade (ABNT NBR 16416:2015), aos 28 dias.

2.5 Confecção do pavimento permeável

A aplicabilidade do trabalho em situações próximas da real se deu com a produção de *pavers* de concreto, seguindo as recomendações da dosagem estabelecida.

Os blocos foram assentados constituindo um “pavimento teste” nas dependências do IFSP/Votuporanga.

Atividades de limpeza, compactação e nivelamento do solo foram desenvolvidas, buscando atender a declividade mínima de 1% recomendada pela ABNT NBR 16416:2015. Após execução do pavimento, com intuito de determinar a taxa de infiltração da água *in situ*, o ensaio de permeabilidade foi realizado conforme a ABNT NBR 16416:2015.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização dos materiais

Os resultados de caracterização (Tabela 2) permitem identificar a absorção de água como o parâmetro de maior discrepância entre agregados natural e reciclado, o que é explicado pela heterogeneidade em sua composição. Comparando as curvas granulométricas (Figura 1), nota-se que o agregado natural é mais bem graduado que o ARM. Assim, infere-se que mistura com ARM será deficiente na questão de empacotamento das partículas, refletindo em menores resistências. Entretanto, pode ser positiva nos resultados de permeabilidade.

TABELA 2

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS

	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária solta (g/cm³)	Massa unitária compactada (g/cm³)	Absorção de água (%)	Índice de material fino (%)
Agregado natural	9,5	6	2,90	1,654	1,690	0	3,9
ARM	9,5	6	2,42	1,130	1,200	8,0	5,3
Especificações CP V ARI	Tempo de pega (mín.)			Resistência à compressão (MPa)			
	Início	Fim	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
	≥ 113	≤ 148	26,1	≥ 41,4	≥ 47,9	≥ 53,7	

FONTE: FURINI (2021)

3.2 Dosagem dos concretos permeáveis

A partir das porcentagens de substituição do agregado natural pelo ARM definidas, além das diferentes relações a/c estudadas, realizou-se a análise de consistência das misturas por meio da técnica “bola na mão”, procedimento visualizado na Figura 2.

Além da técnica tátil-visual, pequenas amostras de material foram produzidas para cada traço (Figura 3) para verificar o aspecto das misturas e o seu potencial drenante, sendo possível analisar a relação a/c, de modo a evitar excesso ou falta de pasta no conjunto. A falta de pasta resulta em misturas esfarelentas, por não ter adequada adesividade entre as partículas de agregado, e o excesso escorre para o fundo do molde, comprometendo a permeabilidade.

O traço rico (1:3,5) com 75% de substituição, nas relações a/c 0,50 e 0,55, proporcionaram boa drenagem. A partir da relação a/c de 0,60, houve excesso



FIGURA 2

VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA COM A TÉCNICA “BOLA NA MÃO”

FONTE: FURINI (2021)



FIGURA 3

VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DAS MISTURAS: COESÃO E PERMEABILIDADE

FONTE: FURINI (2021)

de pasta e, assim, diminuição do potencial drenante. As outras porcentagens de substituição de ARM (25% e 50%) e a mistura controle tiveram o mesmo comportamento. Desta forma, considerando os resultados prévios de permeabilidade e compacidade das misturas e, a fim de manter a menor relação a/c, garantindo impacto positivo na resistência, a relação

a/c adotada para o traço rico foi de 0,55. Seguindo a mesma análise, adotou-se relação a/c de 0,65 para o traço médio. Assim, o consumo dos materiais das misturas é visualizado na Tabela 3.

3.3 Massa específica no estado fresco

Os resultados de massa específica no estado fresco das misturas estão na Tabela 4. Em comparação à prescrição da ABNT NBR 16416:2015, que especifica valores para concretos permeáveis na ordem de 1 600 kg/m³, constata-se que os traços 1:3,5/T75, 1:5,0/T50 e 1:5,0/T75 com método de compactação pela haste metálica não atendem o valor normativo. Porém, quando o método de adensamento é com o pilão, todas as misturas superam o valor especificado.

3.4 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão dos traços estão na Tabela 5. Verifica-se que, quando avaliadas as misturas adensadas pela haste, apenas o traço 1:3,5/TC, cuja resistência foi de

TABELA 3

CONSUMO DE MATERIAIS (KG/M³)

Traço	Pedrisco		Cimento	Água	a/c
	Natural	ARM			
1:3,5/TC	1 698,10	—			
1:3,5/T25	1 273,58	424,52			
1:3,5/T50	849,05	737,79	485,17	266,84	0,55
1:3,5/T75	424,53	1 106,70			
1:5,0/TC	1 869,30	—			
1:5,0/T25	1 401,98	403,31			
1:5,0/T50	934,65	806,61	373,86	243,01	0,65
1:5,0/T75	467,33	1 209,92			

FONTE: FURINI (2021)

TABELA 4

VALORES DE MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO POR TRAÇO (KG/M³)

Traço	Massa específica	
	(Haste)	(Pilão)
1:3,5/TC	2 479,90	2 415,97
1:3,5/T25	2 331,91	2 278,46
1:3,5/T50	2 304,02	2 188,06
1:3,5/T75	1 390,45	2 093,21
1:5,0/TC	1 711,06	2 346,58
1:5,0/T25	1 670,85	2 346,58
1:5,0/T50	1 463,32	2 093,84
1:5,0/T75	1 399,50	1 890,12

FONTE: SIMÕES (2021)

25,67 MPa, atende o valor mínimo exigido pela ABNT NBR 16416:2015, de 20 MPa. Já as misturas adensadas com pilão, todos os teores de substituição no traço 1:3,5 satisfazem a norma.

O comportamento normal das misturas é de redução da resistência à medida que se aumenta a proporção de substituição do agregado natural pelo reciclado. Em uma única situação, no traço 1:5,0/T25, a incorporação do resíduo contribuiu benéficamente para o ganho de resistência. Isso pode ser explicado pelo possível efeito de empacotamento da mistura, dada à alta presença de finos no ARM. Com relação à energia de compactação, há um incremento médio de 60% na resistência quando a compactação é feita com o pilão.

3.5 Resistência à tração na flexão

Considerando os resultados de resistência à compressão, optou-se por realizar o ensaio de tração na flexão somente nos traços adensados com o pilão. Apesar da norma brasileira não apresentar valores limites para a resistência à tração na flexão de peças de concreto permeável, os ensaios foram realizados a fim de verificar o possível uso do concreto em placas permeáveis. Tendo em vista as recomendações da ABNT NBR 16416:2015, que aponta valores de resistência à tração na flexão mínima, para placas de concreto permeável, de 1,0 MPa, para tráfego de pedestre, e de 2,0 MPa, para tráfego leve, os resultados obtidos (variando de 0,45 a 1,12 MPa) não condizem com o desempenho necessário. A influência do agregado reciclado é prejudicial à resistência à flexão, tornando inviável a aceitação do concreto para a confecção de placas.

TABELA 5

VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO CARACTERÍSTICA (MPa)

Traço	Resistência à compressão (Haste)	Desvio padrão	Resistência à compressão (Pilão)	Desvio padrão
1:3,5/TC	25,67	2,26	31,77	2,15
1:3,5/T25	18,21	1,07	23,38	2,78
1:3,5/T50	13,58	0,14	22,77	2,18
1:3,5/T75	9,12	0,26	19,82	1,68
1:5,0/TC	12,18	0,31	14,30	1,43
1:5,0/T25	11,44	0,21	22,42	2,28
1:5,0/T50	8,00	0,12	16,95	1,05
1:5,0/T75	6,24	0,15	10,34	0,85

FONTE: SIMÕES (2021)

3.6 Permeabilidade

Os resultados de coeficiente de permeabilidade dos traços podem ser visualizados na Tabela 7. Considerando o valor mínimo estabelecido normativamente (0,1 cm/s), é possível afirmar que a dosagem alcançou a meta definida, já que a grande maioria das misturas apresenta permeabilidade superior ao mínimo. Fica evidente a evolução da permeabilidade à medida que o teor de substituição do agregado natural pelo natural aumenta.

Os traços médios apresentam maior permeabilidade quando comparados aos ricos, o que se explica pela maior proporção de agregado na mistura. Outra diferença está na energia de compactação, demonstrando que o uso de menor energia (adensamento pela haste) acarreta maiores coeficientes de permeabilidade, explicado pelo menor fechamento dos vazios.

3.7 Confecção do pavimento permeável

Para a confecção dos *pavers* permeáveis, o traço rico (1:3,5) foi escolhido, por seu melhor desempenho nos requisitos mecânicos e hidráulico analisados. Uma mistura controle serviu de base comparativa para uma mistura contendo 40% de ARM em substituição ao agregado natural. Apesar deste teor de substituição não ter sido efetivamente estudado, a interpolação das resistências obtidas entre as porcentagens de substituição 25% e 50% permitiu encontrar uma porcentagem na qual a resistência atenderia ao valor mínimo preestabelecido com a máxima substituição do agregado. Foram moldadas 50 peças de concreto retangulares (20 x 10 x 6 cm³) por traço, a fim de revestir uma área total de 1,0 m².

Após as atividades de limpeza e nivelamento do terreno, uma sub-base

(25 cm) foi produzida, composta por duas camadas, uma de brita 1 (20 cm) e a outra de areia grossa (5) com granulometria contínua e média, capaz de passar totalmente pela peneira de 9,5 mm. Essa preparação do terreno é essencial para contribuir com o papel drenante do pavimento e foi seguida pelo assentamento e arranjo dos blocos de concreto de forma intertravada.

Para verificar o desempenho hidráulico, requisitos normativos foram seguidos e o desenvolvimento do ensaio com o anel de infiltração pode ser visualizado na Figura 5. Dessa forma, obteve-se a taxa de infiltração (*k*) *in situ* de 7,17 cm/s para o *paver* com ARM e de 5,09 cm/s para a mistura controle; valores bem acima do 1,6 cm/s encontrado por interpolação nos corpos de prova estudados, fato também apontado por Junior (2019). Deve-se notar também a eficiência com relação à permeabilidade dos pavimentos com ARM, que supera em aproximadamente 40% o pavimento comum.

TABELA 6

VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)

Traço	Resistência à tração na flexão	Desvio padrão
1:3,5/TC	1,12	0,030
1:3,5/T25	0,81	0,030
1:3,5/T50	0,83	0,030
1:3,5/T75	0,84	0,100
1:5,0/TC	0,72	0,065
1:5,0/T25	0,63	0,005
1:5,0/T50	0,50	0,030
1:5,0/T75	0,45	0,050

FONTE: SIMÕES (2021)

TABELA 7

VALORES DO COEFICIENTE K DE PERMEABILIDADE (CM/S)

Traço	Permeabilidade média (haste)	Desvio padrão	Permeabilidade média (pilão)	Desvio padrão
1:3,5/TC	1,04	0,058	0,07	0,000
1:3,5/T25	1,42	0,005	0,47	0,011
1:3,5/T50	1,71	0,099	2,14	0,167
1:3,5/T75	2,62	0,100	2,49	0,068
1:5,0/TC	1,60	0,024	0,74	0,169
1:5,0/T25	1,85	0,144	1,94	0,167
1:5,0/T50	3,04	0,405	2,09	0,405
1:5,0/T75	3,85	0,146	3,30	0,088

FONTE: SIMÕES (2021)

e 1:5,0/T25). Além disso, dentre esses três traços, dois deles também atendem aos requisitos mínimo de desempenho hidráulico (1:3,5/T50 e 1:5,0/T25). Apesar de não ter sido possível alcançar a resistência à tração mínima, este não era um requisito prescrito para peças, apenas para placas, o que possibilita o uso de peças de concreto permeável com as misturas desenvolvidas. Finalmente, a produção do pavimento permeável possibilitou verificar a eficácia do *paver* reciclado no quesito percolação de água. Além disso, nota-se a contribuição da correta preparação da base que receberá o *paver* para que a permeabilidade se mantenha elevada.

4. CONCLUSÕES

A incorporação do ARM na produção de *pavers* de concreto é vantajosa para seu desempenho hidráulico, uma vez que as misturas com substituições mais elevadas conseguiram superar em mais que 100% o coeficiente de permeabilidade das mistu-

ras controle. Os resultados de desempenho mecânico reafirmaram as proposições da literatura, visto que as resistências desejadas não foram facilmente alcançadas. Porém, foi possível desenvolver misturas, compactadas com o pilão, que atingiram a resistência prescrita por norma (1:3,5/T25, 1:3,5/T50

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (PIBIFSP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). ☺

**FIGURA 4**

ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

FONTE: AUTORES (2022)

**FIGURA 5**

ENSAIO PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE K

FONTE: AUTORES (2022)

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FINOCCHIARO, Pedro S.; GIRARDI, Ricardo (2017). Concreto permeável produzido com agregado reciclado. Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana, Macaé, v. 5, n. 1, p. 19-26, jan. 2017.
- [2] JUNIOR, Adilson Campos de Paula. Estudo do potencial de aplicação de resíduo de concreto em substituição ao agregado graúdo para concretos permeáveis. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.
- [3] STRIEDER, H. L.; SASSI, L. M.; MERTEN, F. R. M.; SCHARDOSIM, J. M.; DUTRA, V. F. P.; GRAEFF, A. G. Avaliação do comportamento mecânico de concreto permeável com agregados de concreto reciclado. Anais: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2020.
- [4] YAP, SoonPoh *et al.* Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. Journal of Cleaner Production, v. 181, p. 155-165, 2018.

Proposta para determinação do tempo de resistência ao fogo em alvenaria estrutural quanto à isolamento térmica

CLEBER EDUARDO FERNANDES LEAL - DOUTORANDO (ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8280-0447>) (CLEBER.EFL@HOTMAIL.COM) - PPGECIV/UFSCAR
WALLISON ANGELIM MEDEIROS - PROF. SUBSTITUTO (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2033-3788>) - CTU/UESPI
GUILHERME ARIS PARSEKIAN - PROF. ASSOCIADO (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5939-2032>) - PPGECIV/UFSCAR
ARMANDO LOPES MORENO JÚNIOR - PROF. ASSOCIADO (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7660-050X>) - FEC/UNICAMP

RESUMO

A NORMALIZAÇÃO NACIONAL AINDA NÃO CONTEMPLA PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRF) EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO QUE SE REFERE À ISOLAÇÃO TÉRMICA. CONTUDO, A APLICAÇÃO DIRETA DE NORMAS ESTRANGEIRAS, SEM PRÉVIA ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE ÀS CONSTRUÇÕES BRASILEIRAS, PODE ORIGINAR MÉTODOS NÃO SEGUROS. NESTE TRABALHO, INVESTIGOU-SE A APLICAÇÃO DO MÉTODO ACI/TMS 216.1 A RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS NACIONAIS E PROPÔS-SE, COMO SUGESTÃO PARA FUTURA PARTE 4 DA ABNT NBR 16868, UM PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO. AO TODO, 12 ENSAIOS FORAM INVESTIGADOS, DETALHANDO-SE CARACTERÍSTICAS DA DISPOSIÇÃO DAS UNIDADES, DAS PAREDES EM SI E DOS REVESTIMENTOS. OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS FORAM COMPARADOS COM OS CALCULADOS E AS SITUAÇÕES RELEVANTES FORAM ANALISADAS. EM FUNÇÃO DOS POUCOS ENSAIOS EXISTENTES E DAS DIFERENÇAS ASSOCIADAS AOS MATERIAIS E PRÁTICAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS INTERNACIONALMENTE, ADAPTAÇÕES A FAVOR DA SEGURANÇA FORAM REALIZADAS, CULMINANDO EM UMA PROPOSTA COERENTE COM OS RESULTADOS OBTIDOS PARA VERIFICAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO EM UM CONTEXTO NACIONAL.

PALAVRAS-CHAVE: ALVENARIA ESTRUTURAL, TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO, ISOLAÇÃO TÉRMICA.

1. INTRODUÇÃO

Após a unificação das normas de alvenaria estrutural que deu origem à ABNT NBR 16868:2020, a comissão de estudo

ABNT/CE-002:123.010 observou a necessidade de estudos brasileiros sobre segurança das estruturas de alvenaria estrutural em situação de incêndio para dar origem à Parte 4 da norma de alvenaria estrutural vigente (ABNT NBR 16868-1, 2020). Para tanto, o grupo de trabalho Alvenaria Estrutural em Situação de Incêndio foi criado.

Concebe-se que a aplicação direta de normas internacionais, sem prévia análise de compatibilidade às construções brasileiras, pode originar métodos não seguros para verificações em incêndio. São significativas as diferenças associadas à geometria, à composição e às práticas construtivas adotadas no Brasil e em outros países. Dessa forma, este trabalho apresenta como sugestão para futura Parte 4 da ABNT NBR 16868, um procedimento simplificado para determinar o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) no que diz respeito ao critério de isolamento térmica, baseando-se na proposta original apresentada por Leite, Moreno Júnior e Torres (2016), na análise de resultados experimentais nacionais e em uma adaptação do código norte-americano ACI/TMS 216.1:2014.

Neste sentido, a grande contribuição do artigo ao meio técnico-científico e à indústria da construção civil é a proposta, para futura Parte 4 da ABNT NBR 16868, de um procedimento simplificado de cálculo no que se ao critério de isolamento térmica.

2. CONCEITOS: RESISTÊNCIA AO FOGO E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

O Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) representa, em minutos, a capacidade limi-

te de um elemento construtivo submetido ao incêndio. É definido para cada critério avaliado, tais como: capacidade portante, integridade, isolamento térmica. Este tempo está diretamente associado à composição do elemento de construção e às propriedades físico-químicas de seus materiais constituintes. O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) corresponde a um período mínimo (em minutos) estabelecido pela ABNT NBR 14432: 2001 durante o qual os elementos construtivos sujeitos a um incêndio-padrão (Equação 1, segundo ABNT NBR 16965: 2021) devem manter-se resistentes ao fogo. A determinação do TRRF está relacionada ao tempo requerido para conclusão segura do trabalho das brigadas de combate ao incêndio e eventuais desocupações. Não depende diretamente dos materiais empregados na edificação, mas sim de características gerais atreladas ao tipo de lotação e à dificuldade de acesso/evacuação do local, como, por exemplo, as condições de uso e ocupação, altura e profundidade de subsolo.

$$[1] \quad T = 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) + 20$$

Onde:

T = temperatura dos gases quentes no compartimento incendiado (°C);

t = tempo (em minutos).

2.1 Critérios de desempenho para determinação da resistência ao fogo

De acordo com a ABNT NBR 16945: 2021, elemento construtivo é toda parte

TABELA 1

FATOR MULTIPLICADOR DA ESPESSURA DE REVESTIMENTOS APLICADOS NO LADO NÃO EXPOSTO AO FOGO

Substrato	Revestimento com argamassa cimentícia	Revestimento de gesso
Alvenaria com blocos de concreto	1,00	1,25
Alvenaria com tijolos maciços	1,00	1,25
Alvenaria com blocos cerâmicos	0,75	1,00

FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

que compõe a edificação (ex.: paredes, divisórias, tetos, vigas ou pilares). Revisadas recentemente, as normas ABNT NBR 5628: 2022 e ABNT NBR 10636: 2022 fornecem diretrizes para realização do ensaio de resistência ao fogo em elementos construtivos estruturais e não estruturais, respectivamente. Elementos do sistema alvenaria estrutural devem, portanto, ser testados segundo a primeira norma.

A resistência ao fogo de um elemento construtivo pode ser determinada segundo critérios de desempenho. No caso da Alvenaria Estrutural, onde as paredes suportam cargas verticais e podem exercer a função de compartimentação, aplicam-se, sobretudo, os seguintes critérios: Capacidade Portante - R, Integridade - E, Isolamento Térmico - I, Redução da Radiação Térmica - W e Ação Mecânica - M, conforme ABNT NBR 16945: 2021. Critérios adicionais e específicos também podem ser avaliados. Para cada critério, determina-se um valor de TRF. Para paredes de alvenaria, na grande maioria das situações, o critério de isolamento térmico é o primeiro a ser atingido e, conseqüentemente, tende a apontar o menor valor de TRF.

3. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA ISOLAÇÃO TÉRMICA: MÉTODO ACI/TMS 216.1 (2014)

O código norte-americano apresenta um método analítico tabular que leva em consideração a contribuição do revestimento no lado exposto ou no lado protegido do fogo. São consideradas geometria e composição das unidades, espessura e composição dos materiais de revestimento, bem como eventual preenchimento das unidades com graute ou outros materiais.

A verificação pelo método normativo baseia-se na determinação de “espessuras equivalentes”. O parâmetro é obtido para a unidade — T_e (bloco ou tijolo maciço), para o revestimento — T_{ef} , e, por fim, para a parede de alvenaria como uma composição de ambos — T_{ea} . As espessuras equivalentes para a UNIDADE e para a PAREDE de alvenaria estrutural são determinadas pela Equação 2 e pela Equação 3, respectivamente:

$$[2] T_e = \frac{Vn}{LH}$$

$$[3] T_{ea} = T_e + T_{ef}$$

Onde:

T_{ea} é a espessura equivalente da parede de alvenaria;

T_e é a espessura equivalente da unidade;

T_{ef} é a espessura equivalente do revestimento;

V_n é o volume líquido da unidade;

L é o comprimento nominal da unidade e;

H é a altura nominal da unidade.

Cabe destacar que a definição de “espessura equivalente” apresentada pela ABNT NBR 6136 para blocos vazados de concreto está equivocada. O cálculo da propriedade segundo a norma brasileira não condiz com o que é posto pela normalização internacional (ASTM C140/C140M-14, ACI/TMS 216.1) e não deve, portanto, ser utilizado. A definição correta e que consta no texto preliminar do projeto de norma ABNT/CE-002:123.010 - PN 002:123.010-001/4 é: “espessura equivalente - dimensão equivalente ao volume líquido do bloco ou tijolo pela sua área da face lateral exposta ao fogo”.

Em blocos vazados totalmente preenchidos com material solto, o valor de T_e também será igual a própria espessura do bloco, desde que o material de preenchi-

mento seja areia, pedrisco ou brita 1, argila expandida, cinzas volantes expandidas, cinzas, perlita ou vermiculita.

Em paredes revestidas, no lado não exposto ao fogo, a espessura equivalente T_{ef} é o resultado da multiplicação entre a espessura real da camada de revestimento e um fator de correção, em função do material de acabamento utilizado (ex.: gesso ou argamassa de cimento Portland) e do substrato onde é aplicado (ex.: tipo de agregado usado no concreto do bloco, tipo de alvenaria cerâmica), conforme existe a Tabela 1.

Nas paredes com acabamento aplicado sobre o lado exposto ao fogo, a contribuição do revestimento é computada ao final, como um acréscimo direto de tempo ao valor do TRF. A Tabela 2 apresenta os acréscimos correspondentes.

A contribuição dos acabamentos (em ambas as faces) para a resistência ao fogo do conjunto deve ser limitada à metade da contribuição atribuída à parede sem acabamento.

Por fim, o resultado da Equação 3 (T_{ea}) deve ser comparado a valores mínimos de

TABELA 2

TEMPO ATRIBUÍDO AOS REVESTIMENTOS APLICADOS NA FACE EXPOSTA AO FOGO

Tipo de revestimento	Tempo (min)
Argamassa de cimento Portland e areia aplicada diretamente*	
Argamassa de cimento Portland e areia sobre tela metálica	
3/4 pol. (1,9 cm)	20
7/8 pol. (2,22 cm)	25
1 pol. (2,54 cm)	30
Argamassa de gesso e areia sobre ripas de gesso de 3/8 pol. (9,5 mm)	
1/2 pol. (1,27 cm)	35
5/8 pol. (1,59 cm)	40
3/4 pol. (1,9 cm)	50
Argamassa de gesso e areia sobre tela metálica	
3/4 pol. (1,9 cm)	50
7/8 pol. (2,22 cm)	60
1 pol. (2,54 cm)	80

* PARA CONSIDERAR A CONTRIBUIÇÃO DA ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND E AREIA COM O USO DE TABELA QUE RELACIONE ESPESSURAS EQUIVALENTES MÍNIMAS DE ALVENARIA E O TRF (TABELA 3), PERMITE-SE CONSIDERAR A ESPESSURA REAL DA ARGAMASSA, NÃO ULTRAPASSANDO O VALOR DE TEMPO CORRESPONDENTE A 5/8 POL. (1,59 CM).

FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

TABELA 3

ESPESSURA EQUIVALENTE MÍNIMA (T_{ea}) DA PAREDE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (EM CM)

Tipo de bloco e agregado empregado	Espessura equivalente mínima T_{ea} (cm) para TRF (min)						
	30	45	60	90	120	180	240
Bloco de concreto com agregado silicoso	5,1	6,1	7,1	9,1	10,7	13,5	15,7
Bloco de concreto com agregado calcário	4,8	5,8	6,9	8,6	10,2	12,7	15,0
Tijolo cerâmico maciço	5,5*	6,2*	6,9	8,3*	9,7	12,4	15,2
Bloco cerâmico vazado, sem preenchimento	5,0*	5,5*	5,8	7,2*	8,6	10,9	12,7
Bloco cerâmico vazado, grauteado ou preenchido com materiais específicos	6,3*	7,1*	7,6	9,4*	11,2	14,0	16,8

* VALORES OBTIDOS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR — FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

espessura equivalente e Tempos de Resistência ao Fogo correspondentes, por meio da Tabela 3.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS: NACIONAIS E ANÁLISE PELO MÉTODO AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

Medeiros, Parsekian e Moreno Jr. (2021) pontuaram que o código americano (ACI) se atém aos critérios de isolamento térmica

TABELA 4

RESULTADOS OBTIDOS DE ENSAIOS EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO

Linha tabela	Id. do ensaio ^B	Unidade ^A			Parede			Revestimento			Resultado do ensaio		
		LxC (cm) ^C	Vn (cm ³) ^D	Classe de aplicação (f_{bk})	CxA (m) ^E	Carga	Arg. assent. ^F	Face exposta (interna) ^G	Face não exposta (externa) ^G	Houve queda? ^H	I (min) ^I	E (min) ^J	R (min) ^K
1	1123 380-203	14 x 39	5244	A (12,4 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Ind. (1 cm)	Não	Não	Não	80	> 120	> 120
2	1107 993-203	14 x 39	5244	B (7,5 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Mold. in-loco 1:2:9 (1 cm)	Gesso (1cm)	Gesso (1 cm)	Não	> 120	> 120	> 120
3	1072 608-203	14 x 39	3790,5	C (4,6 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2 cm)	Não	Não	106	> 120	> 120
4	1050 328-203	19 x 39	4674	C (4,0 MPa)	2,70 x 2,62	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2cm)	Não	Não	151	> 180	> 180
5	1081 659-203	19 x 39	4674 L	C (4,2 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2 cm)	Não	Não	> 240	> 240	> 240
6	1097 722-203	14 x 39	5244	B (7,2 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Ind. (1 cm)	Chapisco Ind. + Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	Face exposta (12 min)	101	> 120	> 120
7	1076 540-203	14 x 39	3790,5	C (4,6 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Face exposta (9 min)	98	90	> 120
8	1076 555-203	14 x 39	5244	B (5,1 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Face exposta (9 min)	107	> 120	> 120
9	0874/2015	14 x 39	5244	A (9,0 MPa)	3,05 x 2,80 ^m	9.174 kgf/m	Ind.	Chapisco Mold. in loco 1:4 + Arg. Ind. (2 cm)	Chapisco Mold. in loco 1:4 + Arg. Ind. (2 cm)	Não	180,5	> 240	> 240
10	RE 855 139	14 x 39	3790,5	C	2,60 x 2,80	Não	Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	150	> 180	> 180
11	RE 855 138	19 x 39	4674	C	2,60 x 2,80	Não	Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	220	> 240	> 240
12	RE 868 255	19 x 39	4674	C	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	> 240	> 240	> 240

LEGENDA: **A** = Considerando blocos de concreto produzidos com agregados silicosos; **B** = Identificação do ensaio - número do relatório; **C** = Largura (L) e Comprimento (C) da unidade em centímetros. Todas as unidades com 19 cm de altura nominal; **D** = Volume líquido da unidade em centímetros cúbicos. Igual ao volume bruto (LxCxA), descontando-se os furos; **E** = Comprimento (C) e Altura (A) da parede de alvenaria, em metros; **F** = Tipo da argamassa de assentamento (industrializada ou moldada in loco) e espessura da junta em centímetros; **G** = Material utilizado no revestimento e espessura da camada, em centímetros; **H** = Face da parede e momento do ensaio em que foi constatada queda do revestimento; **I** = Momento em que o critério de Isolamento Térmico foi atingido. Quando presente, o símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse aferido; **J** = Momento em que o critério de Integridade foi atingido. Quando presente, o símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse aferido; **K** = Momento em que o critério de Capacidade Portante foi atingido. Quando presente, o símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse aferido; **L** = Preenchimento total dos furos com graute 25 MPa; **M** = A região voltada ao forno compreende 2,5 m x 2,5 m.

FONTE: BLOCOBRASIL (2021)

TABELA 5

RESULTADOS OBTIDOS DE ENSAIOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO PELO MÉTODO ACI/TMS 216.1

Linha tabela	Identificação do ensaio ^A	Isolação térmica (I): cálculo conforme ACI/TMS 216.1						
		Unidade - T _e (cm) ^B	Lado exposto - T _{ef} (min) ^C	Lado não exposto - T _{ef} (cm) ^D	Parede - T _{ea} (cm) ^E	TRF (I) - calculado (min) ^F	TRF (I) - calculado - sem lado exposto (min) ^G	TRF (I) ensaio (min) ^H
1	1123 380-203	7,1	Não	Não	7,1	60	60	80
2	1107 993-203	7,1	11	1,25	8,3	89	78	>120
3	1072 608-203	5,1	22	Não	5,1	52	30	106
4	1050 328-203	6,3	22	Não	6,3	70	48	151
5	1081 659-203	19,0 ^I	22	Não	19,0	347	325	>240
6	1097 722-203	7,1	29	Não	7,1	89	60	101
7	1076 540-203	5,1	14	1,5	6,6	66	52	98
8	1076 555-203	7,1	14	1,5	8,6	96	82	107
9	0874/2015	7,1	22	2	9,1	111	89	180,5
10	RE 855 139	5,1	6	2,5	7,6	73	67	150
11	RE 855 138	6,3	6	2,5	8,8	91	85	220
12	RE 868 255	6,3	6	2,5	8,8	91	85	>240

LEGENDA: **A** = Identificação do ensaio - número do relatório; **B** = Espessura equivalente da unidade (Calculada pela Equação 2); **C** = Contribuição do revestimento no LADO EXPOSTO. Acréscimo direto de tempo (em minutos) no valor do TRF (I); **D** = Contribuição do revestimento no LADO NÃO EXPOSTO. Espessura equivalente do revestimento (T_{ef}) a ser somada à espessura equivalente da unidade (T_e), conforme Equação 3; **E** = Espessura equivalente da parede de alvenaria (T_{ea}) obtida conforme Equação 3; **F** = TRF calculado pelo método ACI/TMS 216.1 para o critério de Isolação Térmica; **G** = TRF calculado pelo método ACI/TMS 216.1 para o critério de Isolação Térmica desconsiderando a contribuição de revestimento na face exposta ao fogo; **H** = TRF obtido no ensaio para o critério de Isolação Térmica (Tabela 4). O símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse auferido; **I** = Preenchimento total dos furos com graute 25 MPa. * = Não é possível determinar a relação, uma vez que o ensaio foi interrompido.

e integridade e que a consideração de diferentes tipos de revestimentos, embora detalhada, não contempla exatamente a prática usual das construções brasileiras como, por exemplo, revestimentos de gesso com 0,5 cm de espessura e revestimentos de argamassa com 1 cm de espessura.

Neste item, apresentam-se os resultados da aplicabilidade do método proposto pelo ACI/TMS 216.1 aos resultados nacionais de resistência ao fogo para alvenarias produzidas com blocos de concreto. Foram reunidos 12 resultados, ensaiados conforme as diretrizes da ABNT NBR 5628 (paredes com carga) ou da ABNT NBR 10636 (paredes sem carga).

A Tabela 4 apresenta as principais informações dos resultados de ensaio de resistência ao fogo em paredes com blocos de concreto. Na grande maioria das situações, o critério de isolação térmica foi o primeiro a ser atingido. A Tabela 5 apresenta o cálculo do TRF para o critério de Isolação Térmica segundo o método ACI/TMS 216.1.

A comparação entre os resultados da 4ª e 5ª linha da Tabela 4 demonstra um aumento significativo no valor de TRF quando, entre paredes de características semelhantes, varia-se apenas o preen-

chimento total dos furos com graute. No primeiro ensaio, com blocos ocios, o TRF foi de 151 minutos. No segundo ensaio, com preenchimento de graute com 25 MPa, o TRF foi ao menos 240 min quando o ensaio foi interrompido. O aumento da espessura efetiva da alvenaria, como resultado do preenchimento dos furos,

refletiu em um aumento significativo do TRF.

Entre os resultados apresentados na Tabela 4, destacam-se os das linhas 6, 7 e 8 de argamassas cimentícias industrializadas. Nesses três ensaios relatou-se a ocorrência de deslocamento do revestimento aplicado nas faces das paredes expostas ao fogo (Figura 1).



FIGURA 1

DESLOCAMENTO DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA INDUSTRIALIZADA NA FACE EXPOSTA DA PAREDE

FONTE: BLOCOPRASIL (2021)

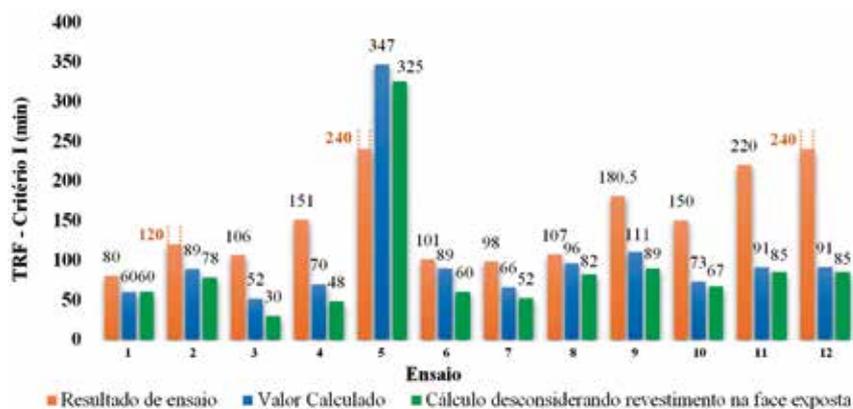


FIGURA 2

ISOLAÇÃO TÉRMICA: COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS OBTIDOS E OS CALCULADOS PELO MÉTODO ACI/TMS 216.1 PARA ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO NAS 12 SITUAÇÕES DE ESTUDO

O método ACI considera a contribuição de revestimentos na face quente como acréscimos diretos de tempo ao TRF da parede. No entanto, existirão situações nas quais o revestimento se desprenderá (mesmo que parcialmente) em tempos menores às contribuições previstas. O acréscimo estimado pelo método ACI para uma parede com 2,5 cm de revestimento argamassado na face exposta é de 29 minutos. No ensaio da mesma parede, registrou-se o deslocamento do revestimento aos 12 minutos e um TRF de 101 min (6ª linha da Tabela 5). Comparando o TRF obtido neste ensaio com o TRF de 80 min. obtido em uma parede testada sem revestimento (1ª linha da Tabela 5), tem-se uma diferença de 21 minutos. Essa diferença proporcionada pela

presença dos 2,5 cm de argamassa na face exposta, na prática, é menor que a previsão estimada pelo método ACI em 8 min.

O gráfico contido na Figura 2 apresenta, para o critério de Isolamento Térmico, os resultados experimentais de TRF e aqueles calculados, para as mesmas condições, pelo Método ACI/TMS 216.1. As colunas com trechos pontilhados representam os ensaios que foram interrompidos. A terceira coluna adicionada ao gráfico indica valores calculados sem a contribuição do revestimento na face exposta.

O gráfico da Figura 3 expressa as relações entre os valores do TRF(I) obtidos em laboratório e os calculados pelo Método ACI/TMS 216.1 considerando e não considerando o revestimento na face exposta.

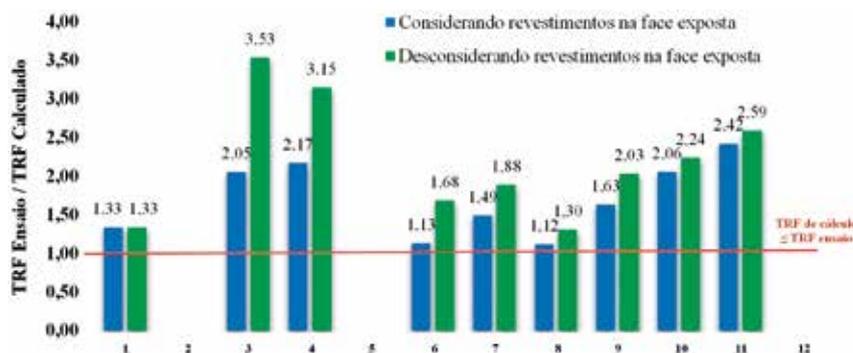


FIGURA 3

RELAÇÕES ENTRE RESULTADOS REAIS E CALCULADOS PELO MÉTODO ACI/TMS 216.1 PARA ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO

Na Figura 3, observa-se que os valores para a relação entre os resultados experimentais e os calculados vão de 1,12 a 2,42. Nota-se que a diferença entre o valor de TRF obtido em laboratório e o estimado aumenta à medida que o revestimento é inserido e, de forma mais pronunciada, quando isto ocorre na face não exposta ao fogo.

De modo geral, o Método ACI/TMS 216.1 mostra-se a favor da segurança para alvenaria estrutural em blocos de concreto, quando aplicado às mesmas circunstâncias reproduzidas nos ensaios. Essa segurança, no entanto, tende a diminuir para situações em que há o deslocamento do revestimento. Com exceção da relação 1,33, que corresponde a uma parede não revestida (ensaio 1, conforme Figura 2), as menores relações (1,13 e 1,12) advêm de testes onde o deslocamento do revestimento na face exposta foi registrado.

Cabe considerar que as curvas do ACI foram obtidas com base em um volume de resultados de ensaios que não corresponde à realidade brasileira. Além disso, os procedimentos de execução do revestimento no Brasil e nos Estados Unidos são diferentes. Desse modo, recomenda-se a não consideração do revestimento na face exposta para o cálculo de TRF (I).

5. RECOMENDAÇÃO PARA PROJETO QUANTO AO CRITÉRIO DE ISOLAÇÃO TÉRMICA (I)

Os autores propõem a seguinte recomendação para elaboração de projeto no que tange à resistência ao fogo de paredes de alvenaria, quanto ao critério de isolamento térmico (I).

A espessura equivalente de uma parede de alvenaria, T_{ea} , é a soma entre a espessura equivalente da unidade, T_e , e a espessura equivalente de seu acabamento, T_{ef} , conforme apresentado na Equação 3. Sendo a espessura equivalente da unidade (T_e) calculada pela Equação 2.

Destacando-se que:

- ▶ Em paredes não grauteadas ou parcialmente grauteadas, a espessura equivalente, T_e , deverá ser determinada pela Equação 3, em função do volume líquido do bloco, V_n ;
- ▶ Em blocos vazados totalmente preenchidos com material solto, a espessura equivalente, T_e , deverá ser a própria espessura do bloco quando o material de preenchimento for graute, areia, brita 0 ou brita 1, argila expandida, cinzas

TABELA 6

COMPARATIVO ENTRE A ESPESSURA EQUIVALENTE PARA BLOCOS DE CONCRETO INDICADA PELA ABNT NBR 6136 E OS VALORES CALCULADOS NO PRESENTE ARTIGO

Classe	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Espessura equivalente	
			ABNT NBR 6136	Valores calculados ¹
A/B	190	390	188	88,2
A/B	140	390	188	67,3
A/B	140	290	188	73,3
C	190	390	135	57,3
C	140	390	135	50,4
C	140	290	135	55,4
C	115	390	135	46,9
C	115	240	135	53,8
C	115	365	135	47,7
C	90	390	135	43,5
C	90	290	135	46,1
C	65	390	113	34,0

¹ CONSIDERANDO AS ESPESSURAS MÍNIMAS DAS PAREDES DO BLOCO DE CONCRETO PRISMÁTICO

volantes expandidas, cinzas, perlita ou vermiculita.

Os blocos de concreto seguem as especificações da ABNT NBR 6136. Na Tabela 6, comparam-se os valores de espessura equivalente indicados pela ABNT NBR 6136 e os valores calculados de acordo com a Equação 2, considerando as dimensões normativas mínimas para paredes do bloco.

Para o cálculo da espessura equivalente do acabamento, T_{ef} , deve-se considerar o tipo de substrato (blocos de concreto, cerâmicas) e se o acabamento é aplicado sobre a face exposta ao fogo ou sobre a face não exposta.

Quando o acabamento se encontra na face não exposta ao fogo, sua espessura deve ser ajustada por um fator multiplicador, que se encontra na Tabela 1. Essa espessura ajustada (T_{ef}) deverá ser somada à espessura equivalente da unidade (T_e) para que a espessura equivalente da parede (T_{ea}) seja encontrada.

Quando o acabamento se encontra na face exposta ao fogo, a espessura equivalente da parede (T_{ea}) será igual à espessura equivalente do bloco (T_e). Os autores consideram prudente não se considerar a contribuição dessa face, mesmo acreditando que exista colaboração.

A partir espessura equivalente da parede (T_{ea}), o valor de TRF pode ser determinado a partir da Tabela 3.

6. CONCLUSÕES

O critério de Isolamento Térmico mostra-se relevante por ser, na maioria

das situações, o primeiro a ser alcançado.

Entre as características da parede que mais influenciam na resistência ao fogo para o referido critério estão a geometria das unidades (mais especificamente, seu volume líquido), composição e espessura do revestimento na face não exposta ao fogo. O preenchimento dos furos também se mostra eficiente, mesmo para unidades de menores espessuras.

De uma forma geral, a aplicação do Método ACI/TMS 2016.1 apresenta-se adequado para as circunstâncias em que são realizados os ensaios brasileiros. Contudo, a pouca quantidade de resultados nacionais aliada à diferença entre os procedimentos construtivos adotados localmente e em outros países recomenda, nesta

primeira proposta, a não consideração do revestimento nas faces expostas ao fogo. Diante das diferentes geometrias das unidades disponíveis em território nacional, também se propõe que, na falta de ensaio específico para o bloco a ser utilizado, dimensões normativas mínimas sejam adotadas para a determinação das espessuras equivalentes (T_e).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Projeto No: 2018/19748-9) pelo fomento às pesquisas dos autores deste trabalho. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-1: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020. 70p.
- [2] LEITE, H. A. L., MORENO JÚNIOR, A. L., TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n.2, p.89-107, abr./jun. 2016.
- [3] ACI, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE; TMS, THE MASONRY SOCIETY. ACI/TMS 216.1-14: Code requirements for determining fire resistance of concrete and masonry construction assemblies. Farmington Hills, 2014.
- [4] ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14p.
- [5] _____. NBR 16965: Ensaio de resistência ao fogo de elementos construtivos - Diretrizes gerais. Rio de Janeiro, 2021. 47p.
- [6] _____. NBR 16945: Classificação da resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro, 2021. 69p.
- [7] _____. NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Ensaio de resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2022. 65p.
- [8] _____. NBR 10636-1: Componentes construtivos não estruturais - Ensaio de resistência ao fogo - Parte 1: Paredes e divisórias de compartimentação. Rio de Janeiro, 2022. 46p.
- [9] _____. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10p.
- [10] ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C140/C140M-14: Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms and Related Units. West Conshohocken, 2014.
- [12] MEDEIROS, W. A., PARSEKIAN, G. A., MORENO JÚNIOR, A. L. Critical analysis of the use of international codes and standards to design Brazilian structural masonry in fire situation. International Journal of Masonry Research and Innovation, v. 6, n.3, 2021.
- [13] ASSOCIAÇÃO BLOCOPRASIL. Manual de Desempenho: Alvenaria com Blocos de Concreto. São Paulo, 2021.

Tendências para o uso de fibras no reforço estrutural de tubos de concreto

RENATA MONTE - DOUTORA (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3555-4655>) (renata.monte@usp.br)

ANTONIO D. DE FIGUEIREDO - PROFESSOR (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4658-3355>)

EPUSP

RESUMO

OS TUBOS DE CONCRETO COM FIBRAS TÊM VANTAGENS TECNOLÓGICAS, COMO O GANHO DE PRODUTIVIDADE, E, DO PONTO DE VISTA DE DESEMPENHO ESTRUTURAL, O REFORÇO DISTRIBUÍDO EM TODA ESPESURA QUE RESULTA MAIOR CONTROLE DA FISSURAÇÃO NAS CONDIÇÕES DE SERVIÇO. NESTE CONTEXTO, ESTE TRABALHO TEM COMO OBJETIVO DISCUTIR O IMPACTO DA REVISÃO DA ABNT NBR 8890:2020 E DA PUBLICAÇÃO DE NORMAS BRASILEIRAS PARA FIBRAS NÃO METÁLICAS NO DESENVOLVIMENTO DO MERCADO DE TUBOS DE CONCRETO COM FIBRAS. A ABNT 8890:2020 AUMENTOU O RIGOR NA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL. ATUALMENTE, INDEPENDENTEMENTE DO TIPO DE REFORÇO, O TUBO NÃO PODE APRESENTAR FISSURAS NO NÍVEL DE CARREGAMENTO ASSOCIADO ÀS CONDIÇÕES DE SERVIÇO, AMPLIANDO O POTENCIAL DE DURABILIDADE DESSES COMPONENTES E TORNANDO O REFORÇO DE FIBRAS MAIS COMPETITIVO. APESAR DE A NORMA AINDA RECOMENDAR APENAS FIBRAS METÁLICAS, A RECENTE NORMALIZAÇÃO NO BRASIL DA FIBRA POLIMÉRICA E DE VIDRO AR DEVE FOMENTAR NOVOS ESTUDOS E A INTRODUÇÃO DE FIBRAS NÃO METÁLICAS NA NORMA DE TUBOS DE CONCRETO EM UMA FUTURA REVISÃO. O ENSAIO DE DUPLO PUNÇONAMENTO, NORMALIZADO NO BRASIL PARA O CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM FIBRAS, É FACTÍVEL PARA O CONTROLE DO CONCRETO SECO COM FIBRAS TÍPICAMENTE UTILIZADO NA PRODUÇÃO DOS TUBOS, DESDE QUE SEJAM GARANTIDOS OS CUIDADOS NA COMPACTAÇÃO. ASSIM, ESTE ENSAIO PODE SER UTILIZADO COMO UMA FERRAMENTA DE CONTROLE CONTÍNUO DE PRODUÇÃO E UM INSTRUMENTO AUXILIAR PARA PARÂMETROS DE PROJETO DESSES COMPONENTES OU COMO ANÁLISE PRELIMINAR DE VIABILIDADE.

PALAVRAS-CHAVE: TUBOS DE CONCRETO, CONCRETO COM FIBRAS, CONCRETO SECO, CONTROLE TECNOLÓGICO, NORMALIZAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

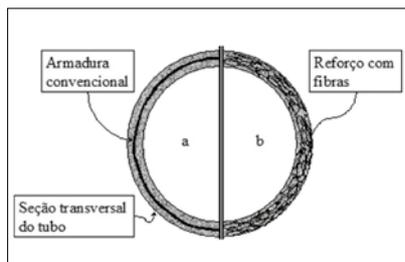
O Brasil precisa de profundo investimento tanto em infraestrutura como em saneamento, transporte, energia e telecomunicação. Essa carência dificulta o crescimento do país, a atração de investimentos, a competitividade das empresas e a geração de novos empregos. O investimento em infraestrutura adequada é essencial para a redução da desigualdade social (JOSA, AGUADO, 2019). No que se refere ao saneamento, o problema é ainda mais crítico por abarcar um problema de saúde pública. O Instituto Trata Brasil e GO Associados publicaram em março de 2022 a 14ª edição do Ranking do Saneamento com o foco nos 100 maiores municípios brasileiros, analisando os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2020. O documento evidencia que a falta de acesso à água tratada atinge quase 35 milhões de pessoas e um número ainda mais alarmante diz respeito ao acesso a coleta de esgoto. No Brasil, segundo o Instituto, mais de 100 milhões de brasileiros não têm coleta de esgoto e apenas 50,8% do esgoto gerado é tratado. Isto representa o despejo diário na natureza de mais de 5,3 mil piscinas olímpicas de esgoto sem o devi-

do tratamento. Para suprir essa demanda são necessários milhares de quilômetros de tubulações, distribuídas em um país de dimensões continentais, demandando um investimento de grande vulto e longo prazo. O Marco Legal do Saneamento Básico (lei nº 14.026/2020) aprovado em 2020, estabelece ao país metas a para universalizar o acesso a água e ao atendimento à coleta e tratamento de esgoto para a população brasileira. Segundo a lei, o país deve até 2033 atender 99% da população com abastecimento de água tratada e 90% da população com coleta dos esgotos.

A utilização dos tubos de concreto enterrados neste tipo de obra apresenta uma série de vantagens. Entre elas, estão a relação custo-benefício, o domínio técnico das propriedades do concreto, a flexibilidade diâmetros que podem ser produzidos, entre outras vantagens técnicas e de sustentabilidade em relação aos tubos flexíveis (VIÑOLAS, 2011). Porém, o concreto tem limitada capacidade de resistir a esforços de tração associada à baixa capacidade de deformação e à ruptura frágil. Por isso, o uso de tubos de

do tratamento. Para suprir essa demanda são necessários milhares de quilômetros de tubulações, distribuídas em um país de dimensões continentais, demandando um investimento de grande vulto e longo prazo. O Marco Legal do Saneamento Básico (lei nº 14.026/2020) aprovado em 2020, estabelece ao país metas a para universalizar o acesso a água e ao atendimento à coleta e tratamento de esgoto para a população brasileira. Segundo a lei, o país deve até 2033 atender 99% da população com abastecimento de água tratada e 90% da população com coleta dos esgotos.

A utilização dos tubos de concreto enterrados neste tipo de obra apresenta uma série de vantagens. Entre elas, estão a relação custo-benefício, o domínio técnico das propriedades do concreto, a flexibilidade diâmetros que podem ser produzidos, entre outras vantagens técnicas e de sustentabilidade em relação aos tubos flexíveis (VIÑOLAS, 2011). Porém, o concreto tem limitada capacidade de resistir a esforços de tração associada à baixa capacidade de deformação e à ruptura frágil. Por isso, o uso de tubos de



A



B

FIGURA 1

DISTRIBUIÇÃO DE REFORÇOS NA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS TUBOS: A) DE ARMADURA CONVENCIONAL OU FIBRAS; B) TESTEMUNHO EXTRAÍDO MOSTRANDO A POSIÇÃO CENTRAL DA ARMADURA CONVENCIONAL NO TUBO

FONTE: A) FIGUEIREDO ET AL (2010); B) MONTE (2015)

concreto simples é limitado a diâmetros inferiores a 600 mm. Para diâmetros maiores, que receberão esforços mais intensos, se faz necessário o uso do concreto com reforços com fios, telas ou fibras.

Do ponto de vista da produção dos tubos, o uso de fibras traz como vantagem a eliminação da etapa de preparação da armadura, que resulta na aceleração do processo produtivo, com ganho de produtividade, menor gasto de energia e menor desgaste do equipamento. Em relação ao desempenho do componente, a distribuição aleatória das fibras por todo o volume do componente possibilita um reforço nas bordas, reduzindo o risco de quebra e perdas de peças. Além disso, por reforçar toda a espessura do tubo (Figura 1a), as fibras contribuem para maior capacidade de reforço para baixos níveis de deformação e fissuração, aumentando a segurança em serviço. Nos tubos armados, o posicionamento da armadura tende a ser aproximadamente no centro da espessura do tubo (Figura 1b) para garantia do cobrimento mínimo, especialmente para tubos de menor espessura, necessitando que ocorra certa abertura de fissura até que a armadura seja mobilizada.

A eficiência das fibras no reforço dos tubos a baixos níveis de deformação, quando comparadas ao reforço convencional, pode ser percebida na Figura 2. Nesta Figura, são apresentados os resultados médios de tubos de concreto de 600 mm de diâmetro no ensaio de compressão diametral segundo a ABNT NBR 8890:2020, com reforço de fibras de aço ou polipropileno com baixos teores, em comparação com a armadura de tela metálica.

Nota-se, na Figura 2, que, mesmo utilizando baixos teores de fibras, inferiores a 20 kg/m³ de aço e 4,6 kg/m³ de polipropileno, as curvas dos tubos com fibras foram superiores em relação à curva média do tubo armado com tela metálica até deslocamentos da ordem de 0,4%. Assim, pode-se afirmar que os tubos com fibras apresentam melhor desempenho para a condição de serviço. Porém, para maiores deslocamentos, a armadura é mobilizada e a carga resistente segue aumento do deslocamento diametral dos tubos.

Apesar das vantagens apresentadas, os tubos de concreto com fibras não se tornaram uma prática consolidada, especialmente devido às condições comerciais menos favoráveis que elevaram o preço das fibras, cujos

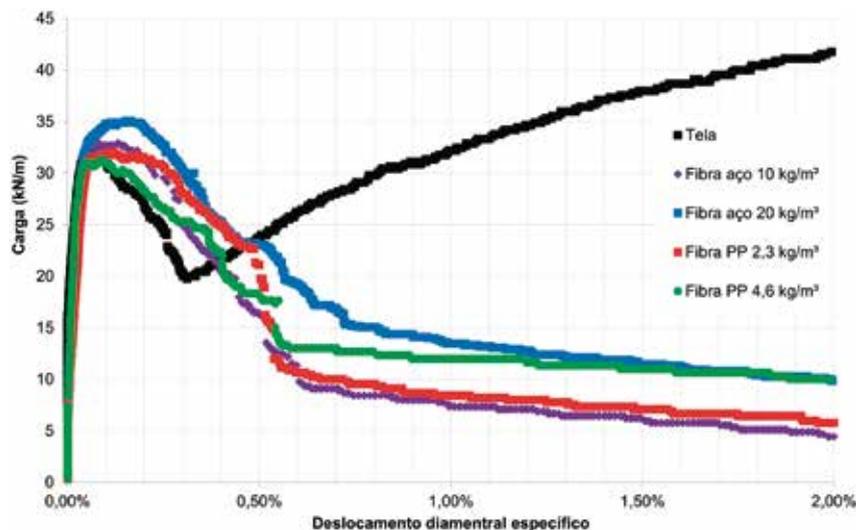


FIGURA 2

CURVAS MÉDIAS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DOS TUBOS COM DIFERENTES REFORÇOS

FONTE: ADAPTADO DE MONTE (2015)

fabricantes têm menor competitividade, dificultando essa disseminação.

Diante deste cenário, o presente artigo pretende discutir as perspectivas futuras para a utilização de fibras em tubos de concreto considerando os avanços normativos já realizados e os obstáculos para essa consolidação.

2. ATUALIZAÇÃO DA NORMA BRASILEIRA DE TUBOS DE CONCRETO

Desde 2007, a norma brasileira de tubos de concreto, a ABNT NBR 8890, contempla o uso de fibras de aço como reforço do concreto. Porém, os procedimentos de ensaio previstos nessa norma para os tubos convencionalmente armados ou reforçados com fibras eram distintos, bem como os critérios de verificação de conformidade. O problema é que havia um desequilíbrio de exigência que era complacente em relação ao uso de reforço convencional. Isto porque no reforço com fibras era exigido que o tubo quando ensaiado à compressão diametral resistisse a uma determinada carga, denominada carga mínima isenta de dano, sem a ocorrência de qualquer fissura visível. Já, os tubos convencionalmente armados, para o mesmo nível de carga, neste caso denominada carga de fissura, era permitido que apresentassem uma fissura com abertura de 0,25 mm em um comprimento de 300 mm, medida com uma lâmina-padrão. Dessa forma, tornava os tubos com armadura convencional mais susceptíveis a problemas de durabilidade.

A norma ABNT NBR 8890 sofreu uma importante revisão em 2020 (ABNT, 2020). Um dos aspectos modificados foi incluir os tubos com reforço híbrido de armadura e fibras. Ainda que nesse caso a fibra seja denominada um reforço secundário, a inclusão dessa possibilidade abre caminho para avançar na busca por alternativas de reforço otimizados. Figueiredo e Escariz (2011) mostraram o potencial do uso do reforço híbrido de fibras para obter um desempenho mecânico aprimorado tanto para baixos quanto altos níveis de deslocamento dos tubos. Outra alteração significativa na norma é no procedimento de controle do comportamento mecânico dos tubos, o ensaio de compressão diametral. O novo procedimento exige requisitos únicos independentemente do tipo de reforço, a força mínima isenta de fissura e a força mínima de ruptura. Assim, não é mais tolerado certo nível de fissuração aos tubos armados durante a realização do ensaio, o que eleva a expectativa de durabilidade dos sistemas, tornando-os mais sustentáveis. No caso de tubos de concreto armados e armados com reforço secundário de fibras, o procedimento de carregamento segue o esquema apresentado na Figura 3. Já, no caso de tubos de concreto reforçados exclusivamente com fibras de aço, o procedimento de carregamento segue o esquema apresentado na Figura 4.

Para melhorar a qualidade do controle nos ensaios de compressão diametral, a norma ABNT NBR 8890:2020 passou a exigir a

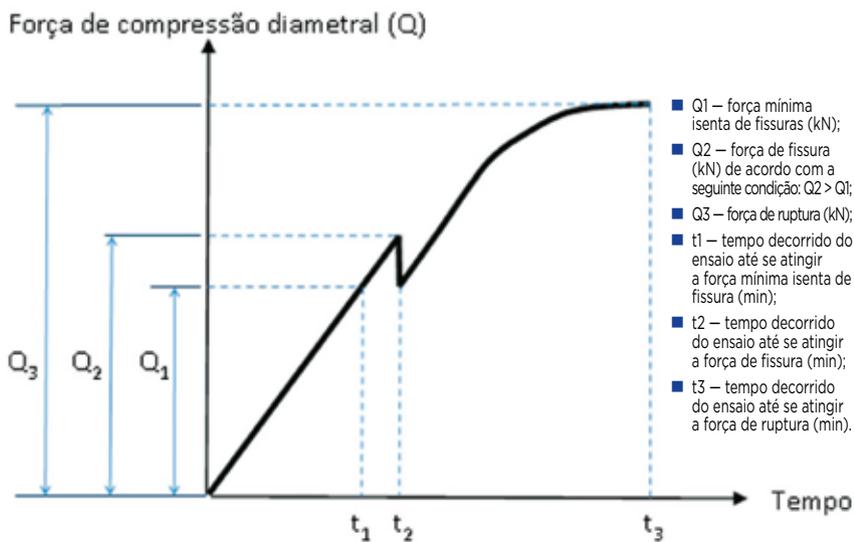


FIGURA 3

GRÁFICO ESQUEMÁTICO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DE TUBOS DE CONCRETO ARMADO E ARMADO COM REFORÇO SECUNDÁRIO DE FIBRAS

FONTE: ADAPTADO DE ABNT NBR 8890:2020

de aço à época, o que trazia insegurança na utilização de outras fibras nos tubos. Esse cenário foi alterado em fevereiro de 2021 com a publicação de duas normas, uma para fibras de vidro álcali resistentes AR (ABNT NBR 16941:2021) e outra para fibras poliméricas (ABNT NBR 16942:2021). Essas normas técnicas procuram garantir que as fibras que estejam em conformidade com os requisitos por elas estabelecidos tenham potencial para proporcionar um desempenho adequado ao CRF, desde que sejam observados os cuidados com a dosagem e controle do material. Nesse sentido, as condições de obtenção de um reforço eficiente com o uso de fibras poliméricas já foram avaliadas em estudos anteriores (de la FUENTE et al., 2013). No entanto, as fibras de vidro ainda necessitam de estudos para a sua adequada aplicação. A publicação dessas normas traz um horizonte promissor para que a próxima revisão da norma ABNT NBR 8890:2020 incorpore a possibilidade do uso dessas fibras.

O controle tecnológico do CRF era um ponto de preocupação do meio técnico para a utilização do material. Isto porque não havia normalização nacional e muito menos preparo dos laboratórios para a realização de ensaios com os cuidados que o material demanda. Entretanto, o Brasil agora conta com uma norma técnica para controle da qualidade do CRF e duas normas técnicas de métodos de ensaio para parametrização

utilização de prensas hidráulicas equipadas com célula de carga ou dispositivos eletrônicos que permitam a construção do gráfico das forças de compressão diametral em função do tempo. Isto permite verificar com exatidão os valores das forças-limite de não abertura de fissura e das forças de ruptura.

É importante ressaltar que, levando-se em consideração o maior potencial que a fibra fornece para o sistema de reforço no que se refere ao controle da fissuração, tubos com este tipo de reforço têm maior potencial de atendimento das exigências de norma associadas à força mínima isenta de fissura. Com isso, há uma potencialização da viabilização das fibras, que se tornam mais competitivas quanto ao atendimento das exigências associadas às condições de serviço.

3. NOVO CENÁRIO NORMATIVO PARA O USO DE FIBRAS

Há uma tendência internacional de buscar abordagem consensual e de embasamento técnico científico para potencializar o uso do concreto com fibras (CRF) como material estrutural. Esta tendência foi confirmada por códigos modelo internacionais, com a introdução de diretrizes de projeto baseadas na parametrização do comportamento pós-fissuração, associando-se às capacidades resistentes ao estado limite de serviço e ao estado limite último (di Prisco et al., 2009). Esta abordagem ainda não foi empregada para o caso dos tubos de concreto, mas já há estudos indicando que se pode aprimorar o controle do ensaio

de compressão diametral não se baseando em critérios subjetivos de abertura de fissura (YOUNIS et al., 2020), por exemplo.

No caso brasileiro, a introdução do uso das fibras como reforço dos tubos tem sido feita de modo cauteloso, preocupada com a garantia do desempenho estrutural do componente e em evitar o uso inadequado do material. Ainda assim, a norma ABNT NBR 8890:2007 foi pioneira por tratar-se da primeira norma nacional a introduzir o uso de fibras como reforço estrutural. Ela, porém, abordou apenas o uso das fibras de aço. Isto deveu-se à existência de norma nacional apenas para as fibras

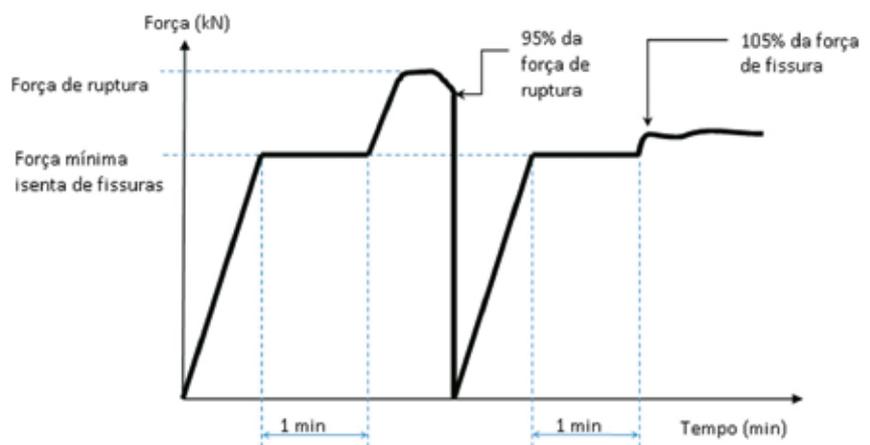


FIGURA 4

ESQUEMA DO PLANO DE CARREGAMENTO PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DE TUBOS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

FONTE: ADAPTADO DE ABNT NBR 8890:2020

do seu comportamento mecânico, o ensaio de flexão em três pontos com entalhe e o ensaio de duplo puncionamento.

Para a produção de tubos, utiliza-se o concreto com consistência seca e, por isso, a moldagem de corpos de prova prismáticos para ensaios de flexão, usualmente adotados na caracterização do comportamento mecânico do CRF, não é uma tarefa simples. No entanto, a pesquisa de MONTE (2015) mostrou que o ensaio de duplo puncionamento (também denominado ensaio Barcelona) pode ser considerado como alternativa para avaliação e parametrização do comportamento mecânico do concreto com fibras utilizado para produção de tubos. Porém, a característica seca do concreto dos tubos demanda maior energia no processo de moldagem dos corpos de prova. Isto pode ser alcançado com o uso conjugado de uma mesa vibratória e um soquete, conforme o ilustrado na Figura 5a. O puncionamento é feito através de discos de carga, produzidos em aço inoxidável, cujas dimensões dependem do diâmetro e altura do corpo de prova utilizado. A Figura 5b mostra o ensaio de duplo puncionamento sendo realizado em cilindros produzidos na fábrica de tubos durante a produção dos tubos de concreto com fibras. Dessa forma, realiza-se uma reprodução das condições de moldagem dos tubos, especialmente no caso dos vibro-prensados, garantindo-se a qualidade de produção dos corpos de prova, bem como sua representatividade.

No ensaio de duplo puncionamento, agora normalizado pela ABNT NBR 16939:2021, são determinadas a resistência à tração (calculada a partir da carga de fissuração, P_f) e as resistências residuais para diferentes níveis de fissuração (calculadas a partir das cargas residuais P_i , com deslocamentos i iguais a 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm e 3,5 mm), conforme ilustra a Figura 6.

O ensaio de duplo puncionamento pode ser utilizado tanto para o controle regular do concreto utilizado na produção dos tubos, como também como base para a obtenção de parâmetros que verifiquem o potencial de reforço que a fibra pode garantir para os elementos (MONTE, 2015). É uma ferramenta de controle possível de ser implementada em laboratórios de canteiros de obras de infraestrutura, como ficou demonstrado na Nova Serra da Tamoios com o controle do concreto

projetado com fibras (NOVA SERRA DA TAMOIOS - UMA OBRA DE DESAFIOS E CONQUISTAS, 2022). No caso das fábricas de tubos, o uso de corpos de prova cilíndricos na rotina de controle tecnológico do concreto simples já existe, o que facilita a implantação do ensaio de duplo puncionamento para o concreto com fibras. Além disso, este ensaio pode ser utilizado como ferramenta auxiliar na análise preliminar de viabilidade do reforço de fibras, seja ele feito de maneira isolada ou como sistema complementar de reforço para atendimento das exigências associadas à força mínima isenta de fissura.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

A revisão da ABNT NBR 8890:2020 trouxe importante evolução para o controle de produção dos tubos de concreto para obras de saneamento. Aumentou o rigor na execução do ensaio de compressão diametral, principal mecanismo para validação do desempenho estrutural do componente. A nova proposta de ensaio uniformizou as exigências para tubos com reforço de armadura convencional ou fibras, permitindo igualar as exigências associadas à condição de serviço. Atualmente, inde-

pendentemente do tipo de reforço, o tubo não pode apresentar fissuras no nível de carregamento associado à classificação da categoria do tubo. Isto trouxe a grande vantagem geral de ampliar o potencial de durabilidade desses componentes independentemente do tipo de reforço. Essa mudança trouxe também a exigência de sistemas de ensaio com célula de carga ou outro dispositivo, o que possibilita maior acurácia na determinação das cargas de fissuração e máxima dos tubos. Introduziu a possibilidade do uso de reforço híbrido de armadura e fibras, que permite a produção de componentes com desempenho mecânico maximizado em condições de serviço, onde a fibra tem maior contribuição, e mesmo para o estado limite último, onde os vergalhões apresentam melhores resultados.

O cenário atual de normalização para o concreto com fibras é favorável e pode ajudar a alavancar seu uso na produção de tubos. Isto porque, além da fibra de aço, o Brasil agora tem a fibra polimérica e de vidro AR normalizadas, permitindo que essas sejam introduzidas com segurança em uma futura revisão da ABNT NBR 8890:2020. No entanto, é fundamental que essa introdução seja



A



B

FIGURA 5

ENSAIO DE DUPLO PUNCIAMENTO DO CONCRETO COM FIBRAS PARA TUBOS.
A) MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA CILÍNDRICO COM MESA VIBRATÓRIA E SOQUETE DE COMPACTAÇÃO; B) ENSAIO DE DUPLO PUNCIAMENTO EM ANDAMENTO

FONTE: MONTE *et al.* (2016)

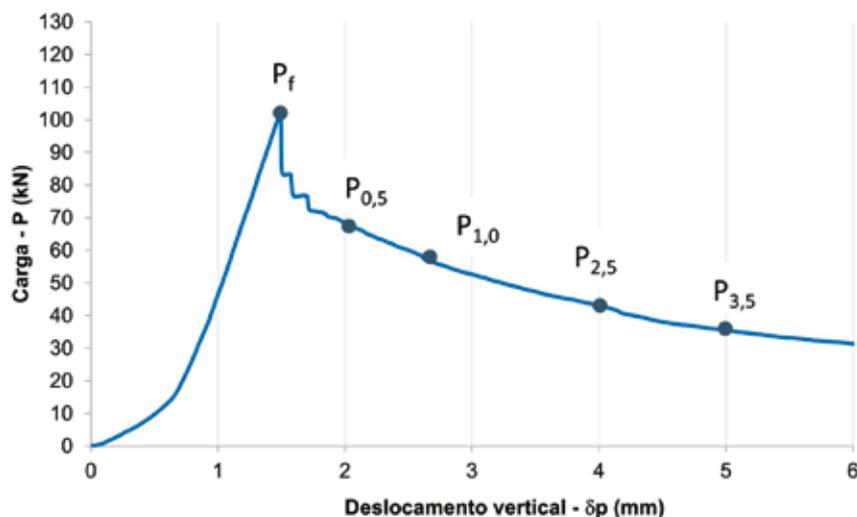


FIGURA 6

EXEMPLO DE DIAGRAMA OBTIDO NO ENSAIO DE DUPLO PUNCIAMENTO COM DESTAQUE PARA OS PONTOS DE CARGA NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE INTERESSE

Fonte: ABNT NBR 16939:2021

validada por meio de campanhas experimentais que demonstrem a efetiva contribuição desses outros tipos de fibras.

As perspectivas para o controle do concreto com fibras também foram renovadas com a publicação de uma norma específica

no tema e com duas normas de método de ensaio para caracterização do comportamento mecânico. Um desses métodos de ensaio é o duplo puncionamento que se mostrou factível para o concreto seco utilizado nos tubos quando os cuidados específicos na

moldagem dos mesmos são observados. Isto porque a moldagem de corpos de prova cilíndricos é capaz de reproduzir minimamente a condição de compactação do material, ao contrário do que acontecia com os prismas em pesquisas anteriores. Essa moldagem já é prática nas fábricas de tubos para o controle da resistência à compressão do concreto, o que permite uma disseminação mais rápida da tecnologia. O ensaio de duplo puncionamento pode ser uma ferramenta de controle contínuo durante a produção, como também um instrumento auxiliar para o fornecimento de parâmetros que serão utilizados no projeto desses componentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio da FAPESP recebido através do projeto de auxílio à pesquisa 2013/03260-3 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo projeto 437143/2018-0 (Renata Monte) e 305055/2019-4 (Antonio D. de Figueiredo). ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8890: tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário - requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2020. 35p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16939: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT. 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16941: Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT. 2021.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT. 2021.
- [3] de la FUENTE, A. et al. Design of macro-synthetic fibre reinforced concrete pipes. *Construction & Building Materials*, v. 43, p. 523-532, 2013.
- [4] di Prisco, M., Plizzari, G. & Vandewalle, L. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. *Mater Struct* 42, 1261-1281, 2009.
- [5] FIGUEIREDO, A. D. et al. Análise de Viabilidade do Uso de Fibras Metálicas em Tubos de Concreto. Parte 1: Campanha Experimental. In: 52o Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza. Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010.
- [6] FIGUEIREDO, A. D.; ESCARIZ, R. C. Drainage concrete pipes with hybrid reinforcement. In: Second RILEM International Conference on Strain Hardening Cementitious Composites, 2011, Rio de Janeiro. Strain Hardening Cementitious Composites (SHCC2-Rio). Babneux: RILEM Publications S.A.R.L., 2011. p. 391-398.
- [7] YOUNIS, A-A; RAMADAN, A.S.; WONG, L.S.; NEHDI, M.L. New rational test for reinforced-concrete pipe eliminating subjective crack-width criteria. *Structures*, Volume 28, 2020.
- [8] JOSA, I.; AGUADO, A. Infrastructure, innovation, and industry as solutions for breaking inequality vicious cycles. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume 297, Issue 1, 2 September 2019, Sustainable Built Environment Conference, SBE 2019; Helsinki; Finland; 22 May 2019 through 24 May 2019.
- [9] MONTE, R. Caracterização e controle do comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras para tubos. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- [10] MONTE, R. et al. Barcelona Test as an Alternative Method to Control and Design Fiber-Reinforced Concrete Pipes. *ACI Structural Journal*. Nov./Dec. 2016.
- [11] NOVA SERRA DA TAMOIOS - UMA OBRA DE DESAFIOS E CONQUISTAS - ÁLYA CONSTRUTORA S.A. 1. ed. Santo André, SP: Ipsis, 2022
- [12] VIÑOLAS B. Applications and advances of the MIVES methodology in multicriteria decision analysis. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, Barcelona (Spain), 2011.

CCR e sua contribuição para energia renovável sustentável – aplicação na UHE Serra do Facão

FLÁVIO MAMEDE PEREIRA GOMES – MSc., ENGENHEIRO CIVIL (fmpegomes@furnas.com.br); ALFREDO SANTOS LIDUÁRIO – MSc., ENGENHEIRO CIVIL (alfredo@furnas.com.br)
FURNAS

RESUMO

O CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) UTILIZADO EM BARRAGENS DE GRAVIDADE TEM POR NATUREZA UM CONSUMO BAIXO DE CIMENTO QUE, DEPENDENDO DO NÍVEL DE RESISTÊNCIA, É PRÓXIMO DE 120 KG/M³. NA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) SERRA DO FACÃO FOI POSSÍVEL APLICAR UM CONCRETO COM CONSUMO DE CIMENTO DE 70 KG/M³, TRAZENDO UM GANHO SIGNIFICATIVO EM TERMOS DE SUSTENTABILIDADE PELA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ AO MEIO AMBIENTE. ESSA EFICIÊNCIA FOI ALCANÇADA PELAS BOAS PRÁTICAS DE TECNOLOGIA DO CONCRETO APLICADAS NA FORMULAÇÃO DA DOSAGEM E PELA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE CONTROLE E DE CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES REQUERIDAS EM PROJETO. ALÉM DA ALUSÃO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, ESTE ARTIGO APRESENTA AS CARACTERÍSTICAS, ENSAIOS E PROPRIEDADES DO CCR APLICADO NESTA UHE.

PALAVRAS-CHAVE: BARRAGEM, CCR, CIMENTO, TEMPO DE VIBRAÇÃO, DMA.

1. INTRODUÇÃO

Enquanto, por um lado, o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo pelo seu baixo custo, flexibilidade de uso, durabilidade e segurança (MEHTA; MONTEIRO, 2014), por outro, a indústria de cimento no mundo é responsável por cerca de 6% das emissões mundiais de carbono. Fundamental para o desenvolvimento das cidades, da mobilidade urbana e da expansão energética renovável, um esforço mundial é feito em prol da redução das emissões de carbono, conhecido como CSI (*Cement Sustainability Initiative, WBCSD, 2002*). Alinhado às melhores práticas internacionais, FURNAS desenvolveu durante a construção da Usina Hidrelétrica (UHE) Serra do Facão um concreto do tipo

CCR (concreto compactado com rolo) que propiciou redução significativa de custos e, principalmente, redução das emissões de carbono geradas pela construção da barragem, a ponto de ser ela a primeira obra de hidrelétrica certificada pela baixa emissão de carbono total.

Dentro desse contexto, este artigo apresenta as características, ensaios e propriedades de um CCR especial aplicado na UHE Serra do Facão, com baixo consumo de cimento, como contribuição à execução de uma grande obra de infraestrutura pautada em requisitos do desenvolvimento sustentável.

2. APRESENTAÇÃO DA UHE SERRA DO FACÃO E DADOS GERAIS DA OBRA

A Usina Hidrelétrica Serra do Facão (Figuras 1 e 2) possui 210 MW de potência e 81m de altura. Foi construída no Rio

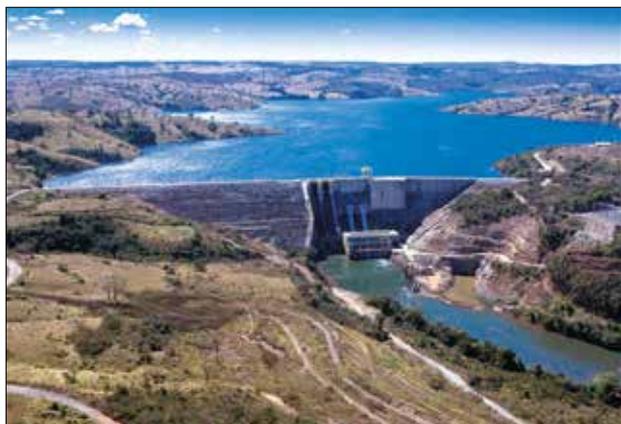


FIGURA 1

VISÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO: UHE SERRA DO FACÃO

FONTE: <https://revistaoe.com.br/usina-hidreletrica-serra-do-facao/>. ACESSADO EM 6/10/2022

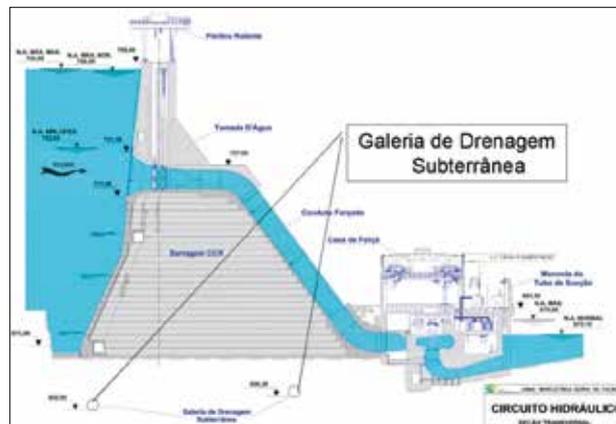


FIGURA 2

SEÇÃO TRANSVERSAL MOSTRANDO O CIRCUITO HIDRÁULICO DA UHE SERRA DO FACÃO

FONTE: <https://revistaoe.com.br/usina-hidreletrica-serra-do-facao/>. ACESSADO EM 6/10/2022



FIGURA 3
BARRAGEM DE CCR – UHE SERRA DO FACÃO

FONTE: FURNAS (RELATÓRIO INTERNO DCT.C.CT.001.2008A)



FIGURA 4
BARRAGEM DE CCR E TÚNEL DE DESVIO

FONTE: FURNAS (RELATÓRIO INTERNO DCT.C.CT.001.2008A)

São Marcos, em Goiás, entre os municípios de Catalão e Davinópolis. É uma barragem do tipo gravidade executada com CCR (Figuras 3 e 4). O CCR é um tipo de concreto comumente utilizado em barragens de gravidade, cuja principal característica é a forma de adensamento, em que é utilizado um rolo compactador vibratório para se obter o grau de compactação requerido em projeto. A energia de compactação, sendo muito mais elevada que nos adensamentos vibratórios normais, torna possível a utilização de uma quantidade de água muito menor que o concreto convencional. Portanto, é um concreto de aspecto seco/úmido (não plástico), capaz de ser adensado pelo peso de um rolo compactador sobre ele. Assim, é possível produzir concretos com reduzida quantidade de água e cimento, o que o torna um material econômico e viável para a utilização em barragens, sub-base ou mesmo a camada final de pavimentos. O grau de compactação, a resistência de projeto e a massa específica são os principais parâmetros de qualidade do material. Entretanto, ensaios especiais podem ser exigidos para se verificar o atendimento a condições específicas de projeto. Tal foi o caso dos ensaios realizados de módulo de elasticidade, permeabilidade por percolação de água, resistência à compressão e à tração em testemunhos extraídos, tanto de pista experimental de CCR em laboratório, quanto do concreto lançado em campo.

Dos 710.000 m³ de concreto da obra, aproximadamente 610.000 m³ foram de CCR. O consumo de cimento foi de apenas 70 kg/m³, dos quais apenas 40% (28 kg/m³) eram cimento propriamente dito (clínquer); o restante era adição de escória de alto-forno. A escória granulada de alto-forno (em inglês *ground granulated blast furnace slag*, sigla GGBS ou GGBFS) é um subproduto da produção de ferro-gusa, cujo aproveitamento no concreto a partir de um processo simples de moagem (baixa necessidade de energia) insere-se no contexto do aproveitamento de rejeito, que reduz custos e impactos ambientais, tais como disposição em aterros. A adição de escória de alto-forno melhora ainda a durabilidade do concreto (quanto à penetração de cloretos, por exemplo) e controla a reatividade potencial álcali-agregado. O concreto com essas características reduziu a emissão de 41.000 ton CO₂ em relação

ao concreto convencional. A produção do concreto requer também consumo de água na mistura, que foi reduzida proporcionalmente à redução de consumo de cimento, da ordem de 1 milhão de litros. Por preocupação ambiental, e uma vez que as condições técnicas permitiram, foi eliminada a areia natural da dosagem, que seria obtida por meio de dragagem do rio, utilizando-se somente areia artificial a partir do agregado, contendo 14% de material pulverulento passante pela peneira #200 (0,075 mm).

3. CCR APLICADO NA BARRAGEM - CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES

Na Tabela 1, apresenta-se a composição do CCR empregado na UHE Serra do Facão. Na sequência, itens 3.1 e 3.2, são apresentadas as propriedades nos estados fresco e endurecido, bem como os

TABELA 1

COMPOSIÇÃO DO CCR – UHE SERRA DO FACÃO

Material	Composição (kg/m ³)	Material	Composição (kg/m ³)
Cimento CP III - 32	70	Brita 1	536
Água	130	Brita 2	665
Areia artificial	1234	Aditivos	Retardador e superplastificante (sais sulfonados e carboidratos)

FONTE: BRAGA E MARCHI (2012)

TABELA 2

CCR E SUAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO – UHE SERRA DO FACÃO

	Tempo de vibração (s)	Umidade (%)	Massa específica (kg/m ³)	Grau de compactação (%)
Média	12,6	5,5	2607	99,7
Desvio-padrão	1,0	0,8	27,4	1
Coef. de variação (%)	8,2	14,0	1,1	1
Número de amostras	163	163	163	163

FONTE: BRAGA E MARCHI (2012)

ensaios de controle de qualidade, conforme a ABNT NBR 16312: 2015.

3.1 Propriedades no estado fresco

As principais propriedades do CCR no estado fresco estão organizadas na Tabela 2. Nos subitens 3.1.1 a 3.1.3, são tecidas considerações sobre os ensaios de caracterização e controle realizados com o CCR no estado fresco.

3.1.1 TEMPO DE VIBRAÇÃO E MASSA ESPECÍFICA – ABNT NBR 16312: 2015

O ensaio que mede a trabalhabilidade do CCR no estado fresco é o tempo de vibração com a utilização do consistômetro VeBê modificado. Este ensaio consiste em colocar o CCR no estado solto em um recipiente com peso e volume conhecidos, submetê-lo a uma vibração controlada em mesa vibratória e, assim, determinar o tempo para que a argamassa do concreto preencha os vazios na lateral do recipiente e aflore na superfície da amostra. Por este recipiente, após o ensaio de tempo de vibração, também é possível obter a massa específica do CCR compactado, também chamada de “massa unitária prática”. Os aditivos plastificante, retardador e superplastificante são comumente utilizados no CCR para se reduzir a água unitária do traço e, assim, reduzir proporcionalmente o consumo de cimento (FARIAS, 2006). O

efeito dos aditivos no CCR são os mesmos que no concreto convencional. O critério para se considerar uma trabalhabilidade adequada, em estudos de laboratório, é que o tempo de vibração esteja entre 10 s e 15 s. Em campo, pode ser admitido no local de lançamento até 35 s a 45 s, ou mais, desde que se atinja o grau de compactação. Acima desse tempo, as operações de adensamento requerem um número muito grande de passadas com o rolo compactador e tendem a não alcançar o grau de compactação desejado. Por outro lado, um tempo de vibração menor que 10 s implica risco de atolamento do rolo compactador. Na Figura 5, está apresentado o CCR durante o ensaio.

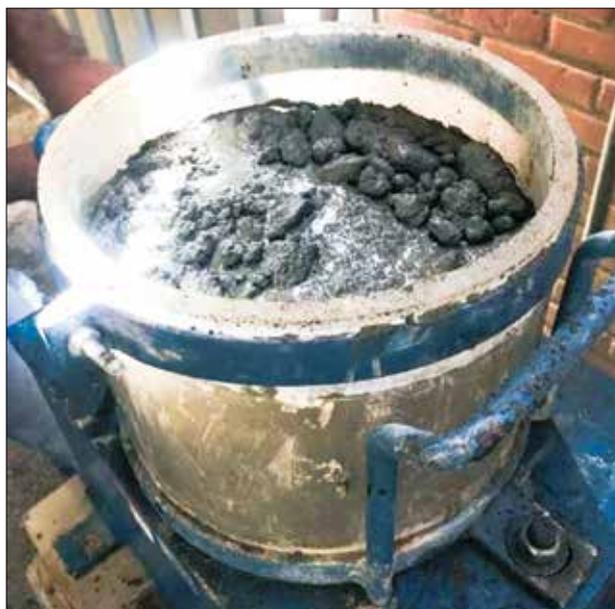


FIGURA 5

DISPOSIÇÃO DO CONSISTÔMETRO VE BÊ PARA O ENSAIO DE TEMPO DE VIBRAÇÃO

FONTE: FURNAS (RELATÓRIO INTERNO DCT.C.TC.028.2008b)

Essas propriedades no estado fresco (tempo de vibração e massa específica), além da umidade e grau de compactação, são apresentadas a seguir, na Tabela 2.

3.1.2 ENSAIO DE DMA – ABNT NBR 16312: 2015

Também foi realizado o ensaio para determinação da massa específica do CCR pelo aparelho DMA (dispositivo medidor de água), similar à massa específica teórica do CCR, ou seja, com grau de compactação 100%. O início do ensaio se dá com a determinação do volume da água de equilíbrio. O aparelho DMA é colocado sobre uma balança e, após zerada, o dispositivo é preenchido com água até o nível do sifão. A massa registrada na balança corresponde ao volume de água de equilíbrio. Com o sifão fechado, é adicionada uma massa de concreto (de aprox. $8,0 \pm 1$ kg) e, em seguida, a água de equilíbrio, que preenche os vazios do CCR com uma pequena agitação. A massa total do recipiente e as massas de CCR e de água são anotadas. Após breve repouso por 5 minutos, para sedimentar o material fino em suspensão, o excesso de água acima

do volume de equilíbrio corresponde ao volume de concreto da amostra sem vazios de ar aprisionado, que é medido pela balança abrindo-se o sifão para escoar o excesso de água. Conhecendo-se o valor da massa e do volume do concreto, tem-se a massa específica do material, atentando-se para seu significado de se correlacionar à massa específica teórica, ou seja, sem vazios de ar aprisionado. A Figura 6 ilustra e resume esse procedimento descrito.

A importância de se determinar de forma prática a massa específica teórica do CCR consiste na possibilidade de estimar a água unitária do traço. É possível estabelecer um gráfico com a correlação linear entre a massa específica e a água unitária da dosagem, para se determinar esta em função daquela medida pelo ensaio de DMA (ANDRADE, 2003).



FIGURA 6

DISPOSITIVO DMA NA SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO: A) DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE EQUILÍBRIO; B) COLOCAÇÃO DA AMOSTRA DE CCR; C) PREENCHIMENTO COM A ÁGUA DO VOLUME DE EQUILÍBRIO; D) DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA COMPLEMENTAR AO CCR

FONTE: FURNAS (RELATÓRIO INTERNO DCT.C.TC.028.2008b)

3.1.3 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA E UMIDADE POR DENSÍMETRO NUCLEAR

A utilização de densímetro nuclear (Figura 7) para a determinação *in situ* da massa específica, água unitária e umidade do concreto lançado permite o controle de qualidade do processo de produção e execução com rapidez e confiabilidade, já que se trata de um método efetivo e confiável para controle do grau de compactação do CCR. Aperfeiçoado desde o final dos anos 50, tem sido comprovado, na prática, que ele é mais rápido que os métodos tradicionais (método da membrana plástica, etc), possibilitando economia em obra. Seu princípio de funcionamento consiste na emissão de uma fonte radio ativa de Césio 137, uma de Americio (Am 241) e uma de Belírio (Be). Estes raios são contados por um detector, após terem atravessado o material, sendo maior ou menor dependendo da densidade. Com isso, obtém-se correlação com o grau de compactação do concreto.

A Tabela 3 destaca os resultados *in situ* de massa específica, umidade e grau de compactação, empregando-se o densímetro nuclear, como forma de controle de qualidade da execução do CCR.

3.2 Propriedades no estado endurecido

A caracterização do CCR foi realizada previamente dentro do laboratório (Tabelas 1, 2 e 4) e confirmada depois a partir de testemunhos extraídos em campo (Tabela 5). Dessa forma, têm-se os resultados obtidos

em laboratório das propriedades do concreto no estado endurecido (Tabela 4), assim como os resultados oriundos dos testemunhos extraídos (Tabela 5).

É possível observar que as propriedades estudadas dos testemunhos retirados na UHE Serra do facão, na sua ordem de grandeza, estão condizentes com as determinadas em laboratório, conforme observadas nas Tabelas 4 e 5, principalmente, no âmbito da resistência à compressão. Ainda é possível observar que as medidas de massa específica *in situ* determinadas pelo controle da densidade (Tabela 3) apresentaram-se coerentes com as observadas nos testemunhos (Tabela 5). Os ensaios com o CCR endurecido atendem a propósitos específicos de projeto, sendo que os principais parâmetros para uma barragem de gravidade são a massa específica final, após a compactação, e a resistência à compressão. A resistência à tração é importante quando se avalia a integridade das juntas entre camadas, sendo que todo o processo construtivo é determinado a evitar a formação de junta (TRABOULSI, 2007). Por vezes, em caso de interrupção no lançamento contínuo de camadas, é necessário acrescentar uma argamassa de ligação para dar continuidade ao processo executivo. Tanto o intervalo de lançamento quanto o traço da argamassa de ligação são determinados experimentalmente por meio de pistas experimentais, em laboratório ou *in situ* (MARQUES FILHO, 2005).



FIGURA 7

DENSÍMETRO NUCLEAR – MÉTODO PARA CONTROLE DO GRAU DE COMPACTAÇÃO DO CCR

FONTE: BRAGA E MARCHI (2012)

TABELA 3CONTROLE DA DENSIDADE *IN SITU* E GRAU DE COMPACTAÇÃO - UHE SERRA DO FACÃO

	Massa específica (kg/m ³)	Grau de compactação (%)	Água (kg/m ³)	Umidade (%)
Média	2630	99,4	147	6,1
Desvio-padrão	40	1,52	15,7	2,36
Coef. de variação (%)	1,52	1,53	10,7	39
Número de amostras	3960	3960	3960	3959

FONTE: BRAGA E MARCHI (2012)

TABELA 4

CCR E SUAS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO - UHE SERRA DO FACÃO

Idade (dias)	7	28	91	182	364
Resistência média, f_{ci} (MPa)	4,3	9,1	12,7	13,9	14,8
Desvio-padrão (MPa)	1,0	1,6	1,7	2,1	2,4
Coef. de variação (%)	23,3	16,8	13,3	15,3	16,1
Número de amostras	159	163	163	162	155
Coefficiente t de Student	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842
f_{ck} estimado (MPa)	3,4	7,8	11,2	12,1	12,8

FONTE: BRAGA E MARCHI (2012)

bono associadas às construções à base de cimento. As preocupações do concreto em geral são as mesmas do concreto compactado com rolo, a saber: a definição do traço a partir da quantidade de água para uma boa trabalhabilidade, a quantidade de cimento para se alcançar as propriedades requeridas em projeto, a otimização granulométrica dos agregados e a substituição de materiais por outros de menor impacto ambiental (uso de adições, fileres e areia artificial, dentre outros). Resta dizer que o nível de redução de cimento e de emissões de carbono, quando se utilizam todas as técnicas disponíveis, é bastante significativo. A preocupação com a sustentabilidade, ao lado da otimização dos custos, e a busca por segurança e qualidade por meio dos ensaios em laboratório, andam de mãos dadas. No presente estudo, só foi possível demonstrar a viabilidade técnica por meio de ensaios exaustivos com os materiais e concretos, o que levou a patamares bastante interessantes de consumo de cimento (28 kg/m³) e de emissões de carbono (41.000 ton CO₂ poupadas - redução de 65% das emissões totais). Extrapolando para futuros empreendimentos, com estes parâmetros econômicos e de sustentabilidade bem atendidos, é possível acessar financiamentos mais atraentes, os chamados *climate bonds*, e viabilizar inúmeros projetos antes inviáveis.

4. CONCLUSÕES

A engenharia de barragens foi bastante desenvolvida no Brasil desde a década de 70, mas contou também com grandes desenvolvimentos nas primeiras décadas

do século XXI, a partir do desenvolvimento de técnicas de dosagens e construtivas que permitiram a redução do consumo de cimento dos concretos e, por conseguinte, a redução significativa das emissões de car-

TABELA 5

RESUMO DAS PROPRIEDADES ESTUDADAS - TESTEMUNHOS DA ESTRUTURA DA UHE SERRA DO FACÃO

Ensaio	Dado	Furo							Total geral
		F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	
Massa específica (kg/m ³)	\bar{X}	2634	2615	2630	2638	2644	2621	2578	2629
	Δ	42	42	69	30	72	86	53	60
	n	25	16	11	18	27	16	7	120
Resistência à compressão (MPa)	\bar{X}	11,7	12	11,8	11,8	14,3	12,6	16,1	12,7
	Δ	3,5	2,2	2,1	2,3	2,9	2,8	6,3	3,2
	n	15	10	4	8	13	8	4	62
Tração na compressão diametral (MPa)	\bar{X}	1,76	2,02	1,59	1,7	1,35	1,36	1,71	1,59
	Δ	0,39	0,26	0,33	0,18	0,49	0,55	0,83	0,47
	n	6	5	4	6	11	6	3	41
Módulo de elasticidade (GPa)	\bar{X}	21,6	24	21,7	22,7	39,6	33,6	28,3	29,5
	Δ	4,3	9,2	5,8	4,8	6,2	8,3	5,9	9,6
	n	6	5	4	8	13	8	4	48
Permeabilidade (m/s)	\bar{X}	—	—	4,6.10 ⁻¹²	4,5.10 ⁻¹¹	1,9.10 ⁻¹¹	4.10 ⁻¹¹	—	1,3.10 ⁻¹¹
	Δ	—	—	—	6,8.10 ⁻¹²	1,4.10 ⁻¹¹	1,2.10 ⁻¹²	—	3,1.10 ⁻¹¹
	n	14	0	3	4	3	2	0	26

EM QUE: \bar{X} = MÉDIA; Δ = DESVIO-PADRÃO; n = TAMANHO DA AMOSTRA (NÚMERO DE DETERMINAÇÕES INDIVIDUAIS) — FONTE: FURNAS (RELATÓRIO INTERNO DCT.C.TC.043.2009)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Furnas Centrais Elétricas, aos colegas e amigos que atuaram na UHE Serra do Facão à época da construção: Paulo Fernando

Rodrigues, Maurice A. Traboulsi, José Francisco Farage do Nascimento, Moacir Alexandre de Souza Andrade e Newton Goulart Graça. Agradecemos à Camargo Correa, construtora da obra, em

especial ao consultor e amigo José Augusto Braga, *in memoriam*, não só pelos relevantes serviços prestados à engenharia nacional, mas pelas lições de amizade e ética, seus traços mais marcantes. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE, W. P. Ageing and rehabilitation of concrete and masonry dams and appurtenant works. General Report, Question 82. CIGB, 2003.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16312 - Concreto compactado com rolo - Parte 3: Ensaios de laboratório em concreto. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] BRAGA, J.A.; MARCHI, M. UHE Serra do Facão, Sustentabilidade e Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 54., Maceió, 2012. Anais... São Paulo: IBRACON, 2012.
- [4] FARIAS, L. A. Implementação do método de dosagem científica para o concreto compactado com rolo (CCR) de barragens. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, 2006.
- [5] FURNAS, Equipe de; Laboratório de Concreto. UHE Serra do Facão - Relatório das Visitas Técnicas - Período de Outubro a Dezembro. Goiânia: Furnas, 2008a. \Relatório Interno de Furnas DCT.C.TC.001.2008\.
- [6] FURNAS, Equipe de; Laboratório de Concreto. UHE Serra do Facão - Caracterização do Concreto Convencional e CCR. Goiânia: Furnas, 2008b. \Relatório Interno de Furnas DCT.C.TC.028.2008\.
- [7] FURNAS, Equipe de; Laboratório de Concreto. UHE Serra do Facão - Caracterização de Propriedades de CCR por Testemunhos Extraídos. Goiânia: Furnas, 2009. \Relatório Interno de Furnas DCT.C.TC.043.2009\.
- [8] MARQUES FILHO, J. Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo Aplicado às Barragens. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2005. 278 p.
- [9] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2014. 752 p.
- [10] TRABOULSI, M. A. Análise do Comportamento de Juntas de CCR com Alto Teor de Finos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2007.
- [11] WBCSD, 2002. CSI climate and energy workshop. In: <https://www.wbcd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/News/CSI-climate-and-energy-workshop>. Acessa-do em 06/10/2022

Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais

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

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

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-21-3

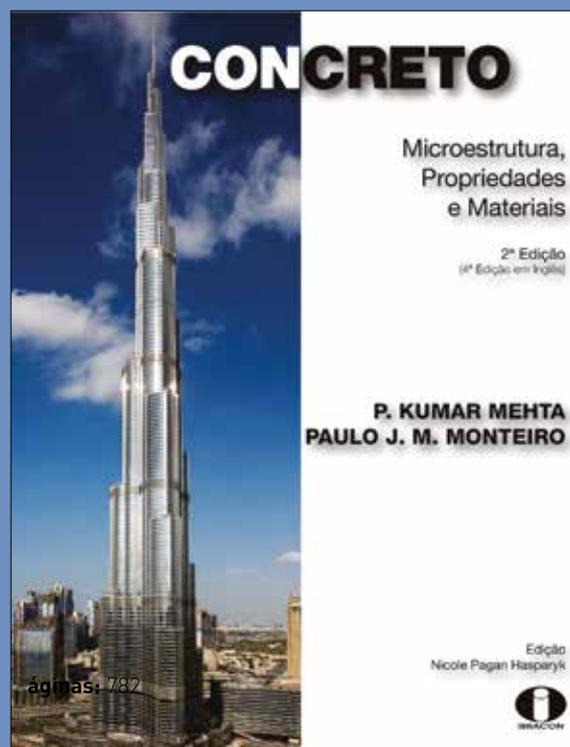
Edição: 2ª edição

Formato: 18,6 x 23,3cm

P

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2014



Patrocínio



Regional do Paraná discute ensino de Engenharia

A Regional do Paraná promoveu junto com o Instituto de Engenharia do Paraná o Seminário Paranaense sobre Ensino de Engenharia no dia 11 de novembro, com o objetivo de discutir o ensino de engenharia sob diferentes óticas no formato de 'talk show'.

Participaram do evento o Prof. Mauro Lacerda Santo Filho e a Profa. Selma Cuba, ambos da Universidade Federal do



Paraná, o Prof. Carlos Vasconcelos, da Universidade Positivo, a Profa Adriana Tozzi, da Uninter, e o Eng. Vinicius Caruso, da Sabesp.

A discussão foi mediada pelo diretor da Regional do Paraná do IBRACON, Prof. Luís César de Luca, e pelo diretor de relações institucionais do IBRACON, Prof. César Daher. O evento, híbrido, contou com 200 participantes.

IBRACON na Estrada Gaúcha



No último dia 30 de novembro, a diretoria regional do IBRACON no Rio Grande do Sul realizou o último IBRACON na Estrada Gaúcha Network, com o apoio da Associação de Arquitetos e Engenheiros do Vale dos Vinhedos (AEARV), na cidade de Bento Gonçalves.

Com o tema Estruturas em concreto aparente, o evento contou com a participação de 120 pessoas, sendo conduzida pelos Prof. Hinoel Zamis Ehrenbring (Diretor Regional/Unisinos/Uniftec), Prof. Roberto Dakuzako (IDETK) e Prof. Marco Pozzobon (UNISC).

Palestra na Regional de Santa Catarina

Em 10 de novembro, a diretoria regional do IBRACON em Santa Catarina promoveu, em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação da UNOCHAPECÓ, a palestra técnica "UHPC - Ultra high performance concrete — fundamentos, propriedades e dosagem", ministrada pelo Prof. Dr. Roberto Christ. Aberto ao público, com participação de 70 estudantes e profissionais, com apoio da MC Bauchemie e do Pollen Parque Científico, os presentes foram convidados a participarem do 64º Congresso Brasileiro do Concreto, que será realizado em Florianópolis.



Encontro Regional no Pará

O XXVII Encontro Regional no Pará aconteceu de 14 a 16 de setembro, no auditório David Mufarrej, na Universidade da Amazônia — UNAMA, em Belém, contando com 700 participantes, que assistiram a palestras técnico-científicas, participaram de cursos e workshop e fizeram uma visita técnica a uma concreteira da região.

Realizado nos moldes do Congresso Brasileiro do Concreto, o evento contou com o patrocínio da Votorantim e da Mizu e com o apoio de instituições do setor. Segundo o diretor regional, "o objetivo foi fomentar o debate de aspectos e características da construção civil e proporcionar interação dos profissionais, empresas e estudantes da região".

"Impressionante! Estimulante! Tremenda liderança dos diretores, Prof. Laércio Gouvêa Gomes, Taiza Ferreira e Rodrigo da Cunha!", avaliou o presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene na ocasião do evento.





Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundado em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da revista **CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

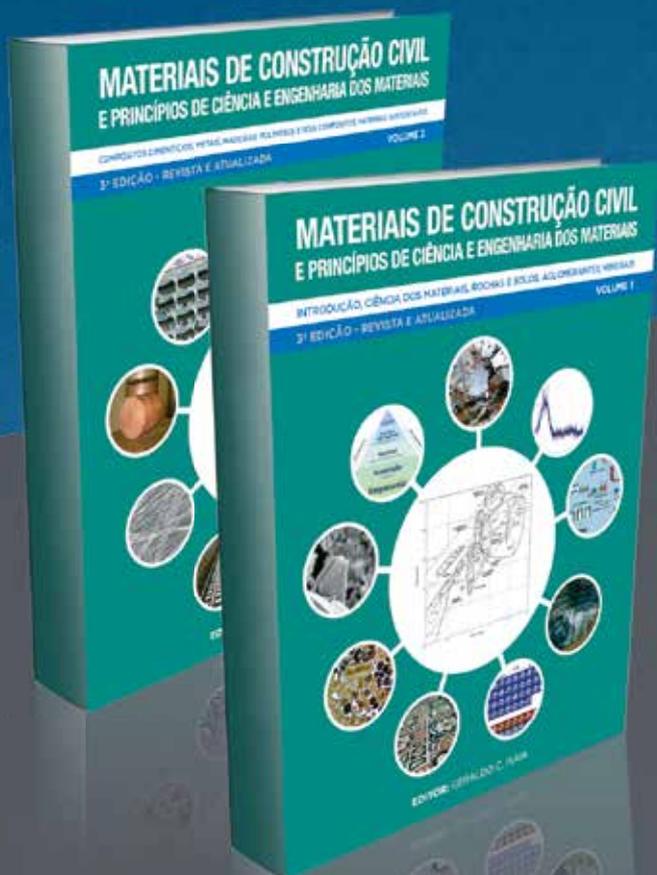
Fique bem informado!

 www.ibracon.org.br

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice

O *best seller* da engenharia de materiais de construção não pode faltar na sua biblioteca!



Ficha Técnica

ISBN / ISSN: 978-85-98576-27-5

Edição: 3ª edição

Páginas: 1760

Formato: 18,6 x 23,3 cm

Acabamento: Capa Dura

Ano de Publicação: 2017

Peso: 6,5 Kg

O livro “Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais” é a mais completa fonte de consulta para estudantes, professores e profissionais da engenharia.

Dividido em dois volumes, o livro é composto por 52 capítulos escritos por 86 reconhecidos especialistas brasileiros, totalmente referenciado nas normas brasileiras vigentes e de acordo com as práticas nacionais da mais alta qualidade da engenharia civil em vigor.

Garanta seus exemplares!

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

Patrocínio

