

CONCRETO

& Construções

Ano LII

115

JUL-SET | 2024

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



CONCRETO APARENTE

**VALOR HISTÓRICO, CULTURAL, ESTÉTICO
E TÉCNICO DO CONCRETO APARENTE EM
EDIFICAÇÕES E NA INFRAESTRUTURA**

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

ÍNDIO DA COSTA: CONCRETO
APARENTE PARA FINS
ESTÉTICOS, FUNCIONAIS
E ECONÔMICOS

ENCONTROS E NOTÍCIAS

SÃO PAULO GANHA
PASSARELA DE UHPC

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

DOSAGEM DO CONCRETO
COM RESÍDUOS DE EVA

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

ADITIVOS



BUILDING TRUST



ADIÇÕES



ARMADURA



EQUIPAMENTOS



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

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

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



CONCRETO



CONSTRUTORAS



FORMAS



FIBRAS



CIMENTO



GOVERNO



EVENTOS



11ª EDIÇÃO
CONCRETESHOW
A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

SUMÁRIO

ESTRUTURAS EM DETALHES

14 Concreto aparente: um fato de cultura



ENTENDENDO O CONCRETO

20 As etapas do concreto aparente

OBRAS EMBLEMÁTICAS

26 O concreto no Memorial de Brumadinho

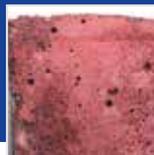


INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

33 Propriedades e aspectos do concreto aparente do patrimônio da arquitetura moderna brasileira

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

39 Concreto colorido: avaliação da tecnologia do concreto com adição de pigmentos químicos



48 Avaliação da autocatrização de fissura em concreto com aditivo autocatrizante

53 Dosagem de concretos com substituição parcial de agregado graúdo natural por resíduo de EVA

61 Durabilidade de hormigones autocompactantes com adição de pó de perlita natural



CRÉDITOS DE CAPA

PAREDE DE CONCRETO APARENTE DO TÚNEL DE BLINDAGEM DO ACCELERADOR DE PARTÍCULAS SIRIUS. ROBERTO DAKUZAKU

Seções

- 5 EDITORIAL
- 7 COLUNA INSTITUCIONAL
- 8 CONVERSE COM O IBRACON
- 9 PERSONALIDADE ENTREVISTADA: LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA
- 32 ENTIDADES DA CADEIA
- 68 ENCONTROS E NOTÍCIAS
- 74 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: 2.500 exemplares | Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

EDITOR-CHEFE

→ Prof. Enio Pazini Figueiredo

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@elemento-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Elyon
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 2024 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

JULIO TIMERMAN

DIRETOR PRESIDENTE

PAULO HELENE

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

CARLOS JOSÉ MASSUCATO

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

CLÁUDIO SBRIGHI NETO

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

JOSÉ VANDERLEI ABBREU

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

NELSON COVAS

DIRETOR 1º TESOUREIRO

PAULA LACERDA BAILLOT

DIRETORA 2ª TESOUREIRA

ERCIO THOMAZ

DIRETOR TÉCNICO

MAURÍCIO BIANCHINI

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

LEANDRO MOUTA TRAUTWEIN

DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

MARCO ANTONIO CARNIO

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES

TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT

DIRETOR DE EVENTOS

JÉSSICA MARIANA PACHECO MISKO

DIRETORA DE CURSOS

CÉSAR HENRIQUE SATO DAHER

DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

ALEXANDRE BRITZ

DIRETOR DE MARKETING

JÉSSICA ANDRADE DANTAS

DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

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

Enio Pazini Figueiredo

COMITÊ EDITORIAL MEMBROS

- Carlos Massucato (sustentabilidade)
- Eduardo Aquino Gambale (barragens)
- Fabiano Ferreira Chotoli (qualidade e desempenho)
- Jairo José de Oliveira Andrade (durabilidade)
- Lydio dos Santos B. de Mello (normalização)
- Manfredo Belohuby (cimentos e aditivos)
- Marco Carnio (estruturas e materiais não convencionais)
- Paulo Campos (Arquitetura)
- Paulo Fernando Araújo da Silva (controle da qualidade)
- Paulo Helene (tecnologia do concreto)
- Púbbio Penna Firme Rodrigues (pisos e pavimentos)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO

→ Ricardo Couceiro Bento (projeto estrutural)

→ Vinicius Caruso (saneamento)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO

Gláucia Dalfré

COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

- Andrielli Morais (UFG)
- Ana Elizabete Jacinto (PUC-Campinas)
- Cristiane Bueno (UFSCAR)
- Edna Possan (Unila)
- Emerson Felix (UNESP)
- Fernanda G. da Silva Ferreira (UFSCAR)
- Fernando Couto (UFMG)
- Leandro Mouta (UNICAMP)
- Luiz Carlos de Almeida (UNICAMP)

→ Marcelo Ferreira (UFSCAR)

→ Marcelo H. Farias de Medeiros (UFPR)

→ Margot Fabiana Pereira (UFSCAR)

→ Maria Tereza da Silva Melo (UFCAT)

→ Mariana Posterliti (UFMT)

→ Nadia Carazim (PUC-Campinas)

→ Ricardo Carrazedo (USP/São Carlos)

→ Roberto Christ (UNISINOS)

→ Rodrigo de Melo Lameiras (UNB)

→ Rogério Carrazedo (USP/São Carlos)

→ Sérgio Roberto da Silva (PUC-RS)

→ Wallison Medeiros (UFCAT)

→ Wellington Andrade da Silva (UFCAT)

O Concreto Aparente e o *Zeitgeist* ou espírito do nosso tempo



A palavra *zeitgeist* designa em alemão o conjunto de ideias e influências culturais que caracterizam uma época, por meio, por exemplo, de produções cinematográficas relevantes, músicas mais populares, tendências na moda, e, inclusive, as tecnologias do seu tempo.

Leonardo Benevolo (1923-2017), arquiteto italiano e destacado teórico, define a arquitetura moderna como o resultado das múltiplas circunstâncias decorrentes do desenvolvimento progressivo da pesquisa científica e tecnológica do seu tempo¹, ou, poderia se dizer, o *zeitgeist* que influenciou a produção arquitetônica de todo um período histórico.

Particularmente na arquitetura brutalista, cujos primeiros edifícios surgiram no período do segundo pós-guerra europeu, mais precisamente na década de 1950, é perceptível uma característica marcante e presente em vários de seus projetos: todos ‘aparentam’ ser, ou deixam à mostra, os materiais e a forma como de fato foram construídos. Na *Unité d’Habitation* de Marselha (1952), o célebre projeto de Le Corbusier, o *béton brut* ou concreto aparente já estava presente como elemento definidor dessa tendência, que veio a caracterizar fortemente a arquitetura moderna.

No Brasil, Vilanova Artigas (1915-1985), mestre da arquitetura moderna e fundador da chamada Escola Paulista, tem a marca do brutalismo presente em vários de seus projetos, entre os quais se destaca o da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP (1969), em parceria com Carlos Cascaldi.

A arquitetura moderna brutalista, portanto, tem suas origens vinculadas à linguagem que faz uso dos ma-

teriais em seu estado bruto, em especial o concreto, o concreto aparente, tema desta edição 115 da Revista CONCRETO & Construções.

O concreto aparente, no entanto, não estacionou no tempo, mas segue sendo uma alternativa em franca evolução e cujo uso é crescente na arquitetura, incorporando os desenvolvimentos mais recentes oferecidos pela pesquisa científica e tecnológica, e combinando atributos como cores, formas inovadoras e texturas diversas, que permitem explorar possibilidades quase ilimitadas e evocar uma expressão própria desse material tão presente em nossa cultura construtiva contemporânea.

A importância adquirida pelo concreto aparente na arquitetura pode ser avaliada por meio de uma outra designação sinônima que passou a defini-lo em tempos mais recentes: concreto arquitetônico. A expressão “concreto arquitetônico” refere-se, mais habitualmente, a componentes e elementos pré-fabricados com um alto valor agregado, onde o material concreto é relevante tanto sob o ponto de vista estrutural como também de acabamento do edifício, em suas formas, cores e texturas, igualmente vinculadas à qualidade de execução das peças.

O concreto arquitetônico é um material associado a uma elevada qualidade, que oferece uma gama de acabamentos com agregados especiais rigorosamente selecionados, detalhes complexos e integração com outros materiais de construção, como alvenaria ou pedra aparente, características que seriam extremamente dispendiosas se obtidas por meio de métodos executivos convencionais. O concreto arquitetônico vem sendo aplicado de forma mais frequente no Brasil desde os anos 1990, largamente utilizado em fachadas para todos os tipos de edifícios, como prédios de escritórios, comerciais, residenciais, educacionais e culturais.

Essas aplicações inovadoras exigiram um amplo processo de desenvolvimento tecnológico, acelerado nas

¹ LEONARDO BENEVOLO EM “O ÚLTIMO CAPÍTULO DA ARQUITETURA MODERNA” (1985)

últimas décadas, com uma qualificação intensiva de profissionais técnicos, fornecedores e empresas para atender às demandas crescentes provenientes de investidores nacionais e, principalmente, estrangeiros, estes últimos já habituados à especificação do concreto aparente ou arquitetônico em seus projetos.

Nesta edição destacam-se temas, tais como: os concretos coloridos produzidos a partir da adição de pigmentos químicos; as propriedades e aspectos do concreto aparente do patrimônio da arquitetura moderna brasileira; e o concreto aparente como expressão cultural, na retrospectiva histórica oferecida na abordagem da professora Monica Aguiar, do DAU da PUC-Rio. É ela quem nos lembra, citando a Howard Davis (2006), que a cultura construtiva está inserida na cultura mais ampla da sociedade à qual pertence, e que as edificações são parte da produção cultural, por meio dos valores nelas representados. Cabe aqui, uma vez mais, o uso da palavra zeitgeist ou o espírito do tempo implícito na cultura construtiva.

Se, em um primeiro momento, os avanços tecnológicos alcançados pelas estruturas de concreto, em meados do século passado, viabilizaram edifícios com grandes vãos e apoiados sobre pilotis, algumas das singularidades que melhor caracterizam a arquitetura moderna, foi no concreto aparente que se manifestaram outros de seus valores estéticos essenciais, conferindo aos edifícios originalidade e uma linguagem inovadora decorrentes da difusão do seu uso em todo o mundo.

Tal como menciona o arquiteto Luiz Eduardo Índio da Costa, personalidade entrevistada nesta edição de CONCRETO & Construções, apoiado na recorrência do uso do concreto aparente em inúmeros de seus projetos arquitetônicos e urbanísticos, talvez não seja por acaso que as palavras estática e estética só tenham uma letra a diferenciá-las. Em suas palavras, ambas caminham juntas e a clara leitura da estrutura gera beleza.

PAULO EDUARDO FONSECA DE CAMPOS

PROFESSOR LIVRE-DOCENTE DA FAU-USP,

EDITOR-ASSOCIADO DA EDIÇÃO E MEMBRO DO COMITÊ EDITORIAL

COMBO
Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais (Vol1 e Vol2) + No Prumo

R\$ 235
NÃO SÓCIOS

R\$ 170
SÓCIOS

ibracon.org.br/loja

O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É QUEM RECEBE O PRESENTE!



65º Congresso Brasileiro do Concreto **focará durabilidade, sustentabilidade e inovações**



O IBRACON tem procurado sempre aprimorar o seu evento principal, o Congresso Brasileiro do Concreto. A experiência de eventos anteriores é sempre levada em conta e as colaborações e sugestões dos últimos organizadores são debatidas e, se possível, incorporadas aos eventos. Estamos preparando o nosso próximo com todo carinho para torná-lo ainda mais informativo e abrangente.

O 65º Congresso Brasileiro do Concreto vai acontecer de 22 a 25 de outubro, no Centro de Convenções de Maceió, e vai trazer temas como inovações tecnológicas em concretos e argamassas, sustentabilidade e durabilidade das estruturas de concreto, proteção das estruturas contra incêndio, métodos construtivos de obras de concreto e mistas, entre outros.

Promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, o evento se destaca pela participação de renomados pesquisadores de instituições nacionais e internacionais. Nesta edição, palestrarão: a vice-presidente da Federação Internacional do Concreto Estrutural (*fib*) e presidente-executiva da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (Abcic), Eng. Íria Doniak; o vice-presidente da Associação Internacional para Engenharia de Pontes e Estruturas (IABSE) e professor da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Prof. José Matos; o professor da Universidade de Rutgers, no estado de Nova Jersey, Hani Nassif.

O evento contará com 10 seminários temáticos. Além desses seminários, o evento divulgará centenas de pesquisas científicas e tecnológicas sobre o concreto realizadas nas universidades e empresas brasileiras. Foram recebidos 967 resumos, dos quais 963 foram aceitos. 562 artigos foram submetidos à

análise de comissão científica e finalmente 484 foram aprovados para apresentação no evento nas diversas formas possíveis e para possível publicação.

O 65ºCBC promoverá concursos técnicos com a participação centenas de estudantes dos cursos de engenharia civil, arquitetura e tecnologia, em competições saudáveis e enriquecedoras. Nesta edição acontecerão os concursos Aparato de Proteção ao Ovo (desafia os alunos a construir um pórtico de concreto que suporte cargas dinâmicas) Concrebol (engaja os estudantes na confecção de uma bola de concreto resistente) e Ousadia (propõe a realização de um projeto arquitetônica viável tecnicamente).

Durante o evento, são também realizados cursos de atualização profissional. Já, está na programação o curso sobre estanqueidade de estruturas de concreto em subsolo e o curso de avaliação multinível para diagnóstico de concretos afetados por reações expansivas e técnicas de prognóstico.

As empresas do setor construtivo apresentarão seus produtos e serviços aos participantes na Feira Brasileira da Construção em Concreto – Feibracon e artigos técnico-promocionais no Seminário de Novas Tecnologias.

O evento conta até o momento com os patrocinadores Votorantim Cimentos, Gerdau, GCP, Intercement Brasil, MC Bauchemie e Apodi, com os expositores Abesc, Aditibras, Atex Brasil, CEB, Multiplus, Oficina de Textos, Penetron, Sonelastic, T&A, Tecnosil e TQS, e com 17 entidades apoiadoras.

Convidamos os profissionais de escritórios de engenharia e arquitetura, de laboratórios de controle da qualidade, das construtoras, de fornecedores de materiais, de equipamentos e serviços para construção, de órgãos governamentais, de entidades de ensino e de pesquisa, e de entidades técnicas. Conclamamos a todos os participantes que aproveitem ao máximo mais esse importante evento da Engenharia Nacional.

TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT
DIRETOR DE EVENTOS DO IBRACON

CONVERSE COM O IBRACON

HOMENAGENS PÓSTUMAS

PROF. DANIEL DOMINGUES LORIGGIO

Faleceu no último dia 5 de setembro, o professor aposentado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Daniel Domingues Loriggio.

Formado em engenharia civil pela Universidade de São Paulo, em 1980, onde fez seu mestrado e doutorado em engenharia de estruturas, orientado pelo Prof. Décio de Zagottis, o Prof. Loriggio ingressou como docente na UFSC em 1983, lecionando por 34 anos. "Daniel Loriggio era inteligente, didático e o tipo do docente que se preocupa em unir a pesquisa com a prática profissional, o que é muito importante na engenharia", comentou o eng. Petrus Nóbrega. Ele seguiu



trabalhando na universidade como professor voluntário.

Loriggio teve 19 trabalhos publicados em congressos, sete artigos publicados em periódicos e escreveu um capítulo da Prática Recomendada IBRACON/

ABECE "ABNT NBR 6118: 214 Comentários e Exemplos de Aplicação e outros capítulos do livro "Projeto de Estruturas de Concreto", lançado recentemente pelo IBRACON. Seus temas de pesquisa eram fadiga, lajes de pontes e teoria das charneiras plásticas.

"O professor que me despertou o fascínio pela análise estrutural. Era austero nas aulas, mas sempre solícito para ajudar. Me orientou diversas vezes na vida profissional e foi parte fundamental da criação do Eberick.

Sentirei falta do velho surfista que sempre andava com a prancha de surf no rack do carro. Enfim, deixou esse mundo fazendo o que mais amava", depôs o eng. Roger Marques no grupo de calculistas da Bahia. ☺

COMBO
Concreto: Ciência e Tecnologia - 2 Vol. +
Prática Recomendada - Inspeção de
Estruturas de Concreto Visando Avaliar
Manifestações da Reação Álcali-
Agregado(RAA) e Etringita
Tardia(DEF)

R\$ 300
NÃO SÓCIOS

R\$ 200
SÓCIOS

Autores:
Nicole P. Hasparyk
Ana Livia Z. P. Silveira
Arnaldo Forti Battagin
Claudio Sbrighi Neto
Eduardo I. Funahashi Jr.
Luiz Carlos de Souza Salles

ibracon.org.br/loja

O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É QUEM RECEBE O PRESENTE!





Luiz Eduardo Índio da Costa

Luiz Eduardo Índio da Costa nasceu em uma família de advogados em Pelotas, no Rio Grande do Sul, mas desde cedo mostrou paixão pelas artes. Entrou no curso de Arquitetura e Urbanismo da antiga Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde se graduou em 1961. Seu primeiro estágio ocorreu no escritório de engenharia civil e sanitária Francisco Saturnino de Brito, que funcionou no Rio de Janeiro até 1978, onde aprendeu urbanismo na prática.

Recém-formado, trabalhou por um ano na construtora Kobe, onde teve a chance de aprender sobre as condicionalidades do projeto. Em seguida, decidiu criar seu próprio escritório nos fundos da casa dos pais, em Botafogo, local em que a empresa permanece até hoje, ocupando a totalidade do imóvel.

Paralelamente aos trabalhos no escritório, ingressou na Secretaria de Obras da Prefeitura do Rio de Janeiro, onde atuou intermitentemente até 1973, quando projetou os laboratórios para o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e ganhou o concurso para o projeto do SESC Madureira, que tiveram grande repercussão em sua carreira.

Com o Programa Rio Cidade, intervenção urbanística para a requalificação de importantes eixos viários e comerciais da cidade, lançado pela Secretaria Municipal de Urbanismo, em 1993, Índio da Costa se juntou ao seu filho, Guto Índio da Costa, formado em design industrial, para participar do concurso público para propostas metodológicas de intervenção no bairro do Leblon. Começava ali uma parceria que, anos mais tarde, levou ao escritório Índio da Costa AUDT (Arquitetura, Urbanismo, Design e Transporte).

IBRACON VOCÊ VEM DE UMA FAMÍLIA DE ADVOGADOS. COMO DESCOBRIU SUA PROPENSÃO PARA AS ARTES E POR QUE, AO FINAL, ESCOLHEU CURSAR ARQUITETURA NA UNIVERSIDADE DO BRASIL?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | Eu sempre me interessei por arte, sobretudo, pintura e artes plásticas, em geral. Isto não herdei de ninguém da família. Meu pai não era ligado à arte nem minha mãe, nem ninguém em volta de mim. Eu era uma ilha no meio de uma porção de pessoas pragmáticas: advogados, médicos, engenheiros. Pensei em ser pintor e fazer Belas Artes, mas achei que arquitetura era uma profissão mais estruturada e resolvi cursar arquitetura na Universidade do Brasil.

Meus pais respeitaram tranquilamente minha decisão, não fui questionado. Talvez tivessem um pouco de insegurança, mas tive liberdade em escolher minha vida do jeito que queria.

IBRACON DESDE ESTAGIÁRIO, VOCÊ BUSCOU UMA PROXIMIDADE COM ENGENHEIROS, COMO NO ESCRITÓRIO DE FRANCISCO SATURNINO DE BRITO E, POSTERIORMENTE, RECÉM-FORMADO, NUMA CONSTRUTORA. POR QUE ESSAS ESCOLHAS E QUAIS LIÇÕES FORAM APRENDIDAS COM ESSA CONVIVÊNCIA COM ENGENHEIROS CIVIS?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | Eu tinha um tio engenheiro que era sócio do Saturnino de Brito. Ele me

“

A LEITURA URBANÍSTICA DA RUA, DO ESPAÇO, DO MORRO, DO TERRENO, DA ORIENTAÇÃO SOLAR, TUDO ISSO CONDICIONA O PROJETO DE ARQUITETURA E TEVE UM IMPACTO EM MIM, PORQUE ENTENDI QUE UM PROJETO DE ARQUITETURA TEM LIGAÇÃO COM O MEIO NO QUAL É INSERIDO

”

convidou para fazer estágio lá, que era um escritório que lidava com urbanismo. Achei a proposta interessante e aceitei.

Neste período, terceiro ou quarto ano da faculdade, que conclui em 1961, convivi com a lógica do planejamento urbano, pois o escritório do Saturnino de Brito projetava cidades pelo Brasil. Eles detinham o saber de ler o terreno, o espaço e como a cidade deveria se distribuir naquele terreno. Aí comecei a entender como funcionava a lógica do urbanismo.

A leitura urbanística da rua, do espaço, do morro, do terreno, da orientação solar, tudo isso condiciona o projeto de arquitetura e teve um impacto em mim, porque entendi que um projeto de arquitetura tem ligação com o meio no qual é inserido. Os bons engenheiros complementam a arquitetura, pois são eles que materializam o nosso sonho. Acho que as duas profissões estão umbilicalmente ligadas.

Quando me formei fui para a construtora Kobe, para a área de projetos de edifícios residenciais e comerciais, onde além do projeto arquitetônico, me envolvi com a compatibilização de projetos complementares – cálculo, instalação, luminotécnica, acústica etc.

Foi uma experiência enriquecedora porque se sai da faculdade com uma visão teórica da arquitetura e que me mostrou uma série de aspectos dos projetos que

não eram vistos na faculdade, como orçamentos, legislações, condicionantes do projeto. Foi como sair do Olimpo e cair na realidade! Porque o projeto arquitetônico tem condicionalidades, principalmente de gerar lucro. Evidentemente que se for o projeto de uma casa, o proprietário não está tão preocupado com dinheiro, mas com conforto e o arquiteto tem maior liberdade de criar.

IBRACON **QUAIS AS RAZÕES QUE O LEVARAM A CONCEBER OS PROJETOS DOS LABORATÓRIOS DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA COMO UMA ARQUITETURA BRUTALISTA, NOS QUAIS A ESTRUTURA DE CONCRETO APARENTE**

DAS EDIFICAÇÕES É SUA EXPRESSÃO ARQUITETÔNICA? | LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA |

No Inmetro são basicamente laboratórios. Eu havia visitado vários laboratórios mundo afora: da Nasa, da Boeing, da Europa. O que percebi claramente é que o importante era o prédio ser uma caixa dentro de outra, para evitar qualquer tipo de interferência externa. Os laboratórios não podem ter janelas, que existem apenas nas antessalas. No Inmetro, para se preservar de vibrações externas, havia a necessidade de



Prédio de um dos laboratórios do Inmetro.

CRÉDITO: CELSO BRANCO

isolamento total dos laboratórios e o concreto era mais adequado por ser um isolante térmico e acústico. A sala anecóica do laboratório de acústica, por exemplo, é uma sala que não gera eco, onde o silêncio é tão forte que se ouve as batidas do coração. Já, na sala de reverberação, as paredes têm uma inclinação definida para fazer o som retornar, não sendo possível distinguir nada do que se fala. Por tudo isso, a forma brutalista do projeto é resultado de todas essas necessidades. Além disso, era para ser um projeto fechado, pois não comportaria obras adicionais, pois a vibração das novas construções impediria o funcionamento de todos os laboratórios.

IBRACON COMO FOI SUA RELAÇÃO COM O PROJETISTA DE ESTRUTURAS NO PROJETO DO INMETRO?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | De um modo geral, minha relação com os projetistas é boa, porque eles têm sido cooperativos em me ajudar a manter a ideia arquitetônica intacta. Não que não haja mudanças no projeto arquitetônico. O projetista lança a estrutura, verifica se ela funciona e propõe alterações no projeto arquitetônico. Nós examinamos as alterações e vemos se não estão conflitando com o projeto arquitetônico. É um jogo de vai e volta até se chegar na forma final. O projeto arquitetônico hoje é muito mais sofisticado. O concreto evoluiu, como evoluíram os demais sistemas – luminotécnica, acústica, ar condicionado. O arquiteto funciona como uma espécie de maestro de

uma orquestra, não deixando que uma coisa prepondere sobre a outra, buscando equilibrar o todo. Por que todos os especialistas carregam uma deformação: o calculista vê o cálculo estrutural como mais importante; o profissional que vai instalar o ar condicionado diz que aquela posição é a correta. O arquiteto trabalha para conciliar essas perspectivas.

Não que o arquiteto também não tenha uma deformação. Ele é formado para buscar o ineditismo e a emoção na forma. Por isso, às vezes, a gente viaja demais. Então, temos que entender o lado do engenheiro, mais racional, lógico e construtivo. Os engenheiros nos complementam – essa parceria é indissociável.

IBRACON QUAL É SEU POSICIONAMENTO NO DEBATE ENTRE FORMA ESTÁTICA X FORMA ESTÉTICA, QUE OPÕS O LUIGI NERVI, QUE POSTULAVA SER A ESTRUTURA DECORRÊNCIA DE UMA VERDADE FUNCIONAL, TÉCNICA E ECONÔMICA, A JOAQUIM CARDOSO E VILANOVA ARTIGAS, QUE DEFENDERAM QUE A ESTRUTURA DEVE EXPRESSAR A ELEGÂNCIA E BELEZA PROPORCIONADA PELO CONCRETO APARENTE?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | Acho que não é por acaso que estática e estética só tem uma letra para diferenciá-las. Ambas caminham juntas e acho que a clara leitura da estrutura gera beleza, da mesma forma que o corpo humano com musculatura perceptível é sempre mais bonito.

Eu particularmente gosto muito de uma arquitetura que não é como um bolo de festa, no qual o revestimento faz a massa inexpressiva. Mostrar o que sustenta a arquitetura a valoriza. É parte da minha formação racionalista. Mostrar a estrutura torna o projeto mais rico e bonito, desde que evidentemente a estrutura seja bonita.

IBRACON AINDA NO PROJETO DO INMETRO, COMO FOI SUA EXECUÇÃO? ELA PREZOU PELO CUIDADO?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | Fiz uma paginação nas paredes com receio de que o concreto não ficasse com a qualidade requerida. Criei goivetes verticais para que a parede tivesse uma certa rusticidade e não dependesse de formas especiais. Como era dinheiro público, do Ministério de Minas e Energia, houve preocupação em não desperdiçar. Assim, se o concreto não saísse como o planejado, os goivetes ajudariam a criar um aspecto rústico.

IBRACON NO PROJETO DO SESC MADUREIRA O CONCRETO APARENTE É TAMBÉM O MATERIAL PRINCIPAL. POR QUÊ?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | No SESC, eu procurei uma arquitetura que eu chamaria de evolutiva, consciente de que o projeto precisaria se adaptar e se modificar, ao longo do tempo, sem se desfigurar. É exatamente o que vem acontecendo no decorrer do tempo, tenho sido chamado pra adaptações, mudanças de uso e expansões. Recentemente projetei um teatro, num terreno anexo, interligado ao resto do projeto.



O ARQUITETO FUNCIONA COMO UMA ESPÉCIE DE MAESTRO DE UMA ORQUESTRA...PORQUE TODOS OS ESPECIALISTAS CARREGAM UMA DEFORMAÇÃO: O CALCULISTA VÊ O CÁLCULO ESTRUTURAL COMO MAIS IMPORTANTE...



“

[O SESC MADUREIRA] É UMA ESTRUTURA MODULAR, COM VIGAS COM O MESMO TAMANHO, COM PILARES COM A MESMA SEÇÃO E UM MÉTODO CONSTRUTIVO QUE POSSIBILITA EVOLUÇÃO DA OBRA NO DECORRER DO TEMPO

”

Por isso, é uma estrutura modular, com vigas com o mesmo tamanho, com pilares com a mesma seção e um método construtivo que possibilita a evolução da obra no decorrer do tempo. Foi criada uma lógica construtiva que permite expansões, bastando repetir exatamente a mesma abóbada, a mesma estrutura, com a mesma modulação.

IBRACON PRÉ-FABRICADO?

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA**
| Apenas as abóbadas são pré-fabricadas: uma vigota em arco com curvatura certa e preenchida com tijolo. O resto da estrutura foi moldada no local.

IBRACON COMENTE SOBRE O CONCRETO APARENTE USADO NO PARQUE DA ORLA DA PRAIA CENTRAL DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ E NA ORLA DE CHARITAS, TANTO PARA AS ESTRUTURAS COMO PARA O MOBILIÁRIO.

| **LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA** | O escritório tem duas frentes: uma de arquitetura e urbanismo; outra de design e transporte. Eu cuido da parte de arquitetura e urbanismo. Meu filho, Guto, que é meu sócio, fica com design e transporte. Ele tem feito mobiliários de concreto, onde entra o projeto de industrialização, por meio de uma fôrma metálica que se repete, que é aproveitada milhares de vezes, compensando seu custo. Isto permite fazer formas mais sofisticadas, menos artesanais, com estudo de formas ornamentais. Ao invés de ser um banco reto e paralelo, fizemos bancos que afinam nas pontas, com uma geometria sofisticada que lembra uma gaivota. Essas duas obras citadas usa o concreto como parte do mobiliário, como bancos.

Na Orla de Charitas, usei concreto aparente porque ele é resistente à maresia, quando se faz um recapeamento adequado e quando a armadura é protegida por uma cobertura de até cinco centímetros.

Para obra pública, o concreto é um material muito bom, porque é rígido e forte,

sendo difícil de ser depredado. Quebrar uma parede de concreto é mais difícil. Por isso, o concreto é adequado para obras públicas e para mobiliário urbano. Nem todos esses projetos têm o concreto aparente como protagonista, mas, por sua beleza e praticidade, certamente o uso de concreto aparente é recorrente nos nossos projetos arquitetônicos e urbanísticos.

IBRACON TENDO EM VISTA A PROXIMIDADE DESSAS OBRAS COM O MAR, O ESCRITÓRIO ADOTA PRECAUÇÕES E



Representação da fachada do SESC Madureira

RECOMENDAÇÕES NO PROJETO ARQUITETÔNICO PARA ASSEGURAR A DURABILIDADE DO CONCRETO APARENTE? QUAIS?

| LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA |

Basicamente, a proteção é feita por uma maior espessura de cobrimento, para proteger a armação metálica, mas, sempre consultamos um engenheiro especialista em concreto aparente, para maior segurança e durabilidade,

principalmente quando o projeto fica próximo ao mar. Consegue-se garantir durabilidade com uso de microssilica e outras adições e tratamentos.

IBRACON COMO FOI SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O MUSEU DE IMAGEM E SOM DO RIO DE JANEIRO, EDIFICAÇÃO EM CONCRETO APARENTE EM ANDAMENTO?

| LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA |

Este é exemplo icônico da melhor qualidade do concreto aparente, cujo projeto de autoria do escritório americano, Diller Scofidio+ Renfro, sob a batuta da Fundação Robert Marinho, foi tropicalizado pelo nosso escritório e está em construção na Avenida Atlântica, em Copacabana, no Rio de Janeiro.

Em especial, os pilares, com fôrmas metálicas, da empresa Peri, são um primor de excelente qualidade e acabamento. O projeto estrutural foi elaborado pelo escritório JKMF, dos engenheiros Mario Franco e Julio Kassoy, e desenvolvido pela engenheira Suely Bueno em todas as suas etapas evolutivas.

IBRACON VOCÊ CHEGOU A SER JURADO DE UMA DAS EDIÇÕES DO CONCURSO OUSADIA DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, QUE INCENTIVA A FORMAÇÃO DE EQUIPES MULTIDISCIPLINARES DE ARQUITETOS E ENGENHEIROS CIVIS PARA ELABORAREM UM PROJETO BÁSICO DE ARQUITETURA EM CONCRETO. O QUE PENSA SOBRE ESSES TIPOS DE INICIATIVAS?

| LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA | Acho muito importante e estimulante este tipo de iniciativa.

IBRACON QUAIS SIGNIFICADOS TIVERAM PARA VOCÊ OS PRÊMIOS CONCEDIDOS PELO INSTITUTO DE ARQUITETOS DO BRASIL, EM 2006, PELA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE



Parque da Orla de Charitas, em Niterói, Rio de Janeiro.

ARQUITETURA, EM 2010, E PELO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, EM 2012?

| LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA |

O prêmio Oscar Niemeyer concedido ao meu escritório pelo IBRACON, por sua seriedade e profissionalismo, voltado exclusivamente a projetos com estruturas de concreto deixadas aparentes, muito me honra e me enche de orgulho!

Além desses prêmios, o meu escritório tem muitos outros e eles são sempre muito gratificantes, pelo seu reconhecimento da qualidade da nossa arquitetura.

IBRACON O QUE GOSTA DE FAZER EM SEU TEMPO LIVRE?

| LUIZ EDUARDO ÍNDIO DA COSTA |

Ler, viajar, escrever, desenhar e simplesmente não fazer nada. Concordo com o Domênico di Mazzi, quando postula que o ócio é criativo. ☺

“

PARA OBRA PÚBLICA, O CONCRETO É MATERIAL MUITO BOM, PORQUE É RÍGIDO E FORTE, SENDO DIFÍCIL DE SER DEPREDADO. QUEBRAR UMA PAREDE DE CONCRETO É MAIS DIFÍCIL!

”

Concreto aparente: um fato da cultura

MONICA AGUIAR - DRA./PROF.^A - <https://orcid.org/0000-0003-1205-2740> (monicaaguiar@puc-rio.br) – PUC-Rio

RESUMO

A PROPOSTA DESTE ARTIGO É ABORDAR O CONCRETO APARENTE, PARA ALÉM DO CAMPO DA TÉCNICA, EM UMA ANÁLISE NO CAMPO DA CULTURA. POR MEIO DO RESGATE HISTÓRICO DO SURGIMENTO DO CONCRETO ARMADO DURANTE A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SUA IMPLEMENTAÇÃO COMO “O” MATERIAL MODERNO DE CONSTRUÇÃO – PRINCIPALMENTE QUANDO SE APRESENTA SEM REVESTIMENTOS – BUSCA-SE COMPREENDER COMO ESTE SE TORNOU UM AGENTE DA CULTURA MODERNA, MATERIALIZANDO-SE NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SEM PERDER SUA CARACTERÍSTICA CONTRADITÓRIA ENTRE O MODERNO E O ARCAICO E DIFUNDINDO-SE POR TODO O PLANETA. POR SE TRATAR DE MATERIAL CUJA COMPOSIÇÃO INCLUI O TRABALHO HUMANO EM DIFERENTES CONTEXTOS SOCIOPOLÍTICOS E ECONÔMICOS, CONSTATA-SE SUA POTENCIALIDADE COMO PORTADOR DE DIFERENTES EXPRESSÕES CULTURAIS A PARTIR DE EXEMPLOS EMBLEMÁTICOS QUE COMPROVAM O CONCRETO APARENTE COMO UM FATO DA CULTURA.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO APARENTE, ARQUITETURA MODERNA, ESTRUTURA; CULTURA MATERIAL, EXPRESSÃO CULTURAL.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do concreto armado é prática transdisciplinar que, no âmbito formalizado, inclui projetos de arquitetura e estrutura, técnicas específicas de construção, projeto e execução de fôrmas e de escoramento adequado, estabelecimento do traço correto da mistura, bom adensamento, vibração e cura após o lançamento, monitoramento do desenvolvimento da resistência à compressão e programação de retirada de fôrmas, entre outros procedimentos. No que concerne ao concreto aparente, o fato de prescindir de revestimentos agrega ao material dificuldades adicionais para a obtenção da qualidade de suas superfícies e para a proteção contra a corrosão das armaduras de aço que garantem sua performance estrutural.

O concreto armado é material composto obtido pela mistura de outros

materiais e tem a ele aderido um forte componente de trabalho humano, seja intelectual ou físico. É material que tem, intrinsecamente, a marca humana como registro de sua feitura, mesmo em países fortemente industrializados.

Não se quer aqui abordar o material quanto às suas características químicas, físicas e mecânicas, nem quanto aos controles normativos e tecnológicos necessários para sua produção. A proposta deste artigo é abordá-lo para além do campo da técnica, fazendo uma análise no campo da cultura. Investiga-se o contexto histórico de sua implementação e as possíveis razões que determinam a sua escolha para a materialização do ambiente construído em fundamentos subsidiados pelos estudos de cultura material, pois “a cultura material emoldura nossas ações e experiências e é constitutiva delas [...] a cultura material comunica todo tipo de valores humanos, dos econômicos ou políticos, aos sociais e culturais” (HANNAN; LONGAIR, 2017).

Por se tratar de fenômeno da cultura material, que perpassa a história das sociedades após a Revolução Industrial, é importante que o concreto aparente seja compreendido como um agente por meio do qual o ambiente construído se formatou como moderno. Howard Davis propõe que a cultura construtiva é fenômeno coletivo, que se manifesta por processos coesos e conhecimentos compartilhados pela sociedade, no que concerne à escolha do que construir e como fazê-lo. Esse fenômeno social se dá por meio de uma rede de relações humanas que envolve autoconstrução, empreiteiros, operários, clientes, usuários, arquitetos, engenheiros, fornecedores de materiais, financiadores, pesquisadores, corretores, entre outros. A cultura construtiva, portanto, está inserida na cultura mais ampla à qual ela pertence, e as edificações são parte da produção cultural das sociedades, por meio das

quais seus valores são representados (DAVIS, 2006).

Adrian Forty acha produtivo pensar o concreto mais como um agente do que como um material, uma vez que este possui caráter universal, sendo encontrado em diferentes formas ao redor do mundo. Concreto que é preparado com graus variados de qualidade – desde a utilização da tecnologia mais avançada na construção formal até a mais primitiva, na autoconstrução – sendo, por isso, simultaneamente moderno e não moderno, o que gera para o material uma permanente tensão entre sua progressividade e seu primitivismo residual (FORTY, 2013).

Nesse sentido é interessante pensar o concreto como um agente de representação da modernidade no ambiente construído, apesar do aço parecer ser um material mais propício para esse fim. Não obstante o fato de ambos os materiais terem surgido com a Revolução Industrial, primeiramente o aço e depois o concreto armado, a difusão deste último como material de construção já a partir das primeiras décadas do século XX e em praticamente todos os países do mundo, independentemente dos variados graus de industrialização em que se encontravam, foi enorme. Assim, a Arquitetura Moderna materializou-se em países de todos os continentes, e essa é, possivelmente, a razão da efetividade do material como agente de representação da modernidade.

O concreto aparente está presente no ambiente construído em obras de infraestrutura, como pontes e viadutos, mas também nas mais variadas edificações, sejam residenciais, comerciais ou fabris, nas esferas pública e privada. A escolha deste material para a materialização de edificações é proveniente de um contexto social e histórico afetado por modificações tecnológicas e perceptivas, por parte de uma sociedade que

o elege como material de representação de seus valores simbólicos. É necessário, portanto, resgatar brevemente a história de sua gradual inserção na cultura construtiva das sociedades modernas.

2. DE LAMA VULCÂNICA A MATERIAL MODERNO

Não se pode falar de concreto aparente sem compreender como o cimento hidráulico foi introduzido na cultura construtiva ao longo dos séculos. Sabe-se que a partir de 50 a.C. o cimento hidráulico era utilizado pelos Romanos em cidades ao redor do Monte Vezúvio, devido às suas propriedades de endurecimento na presença de água. O material, de origem natural e localizada, passou por modificações importantes no século XVIII, graças às pesquisas do engenheiro inglês John Smeaton, que formulou traços para a sua composição a partir de experimentos com elementos aditivos hidráulicos, incluindo tufo calcáreos holandeses e pozzolana, estabelecendo, a partir daí, o cimento como o material de engenharia que conhecemos hoje (FORTY, 2013).

No século XIX, Louis-Joseph Vicat, engenheiro francês, fez análises metódicas de argamassas calcárias e cimentos, e sua pesquisa, publicada em 1818, forneceu técnicas de avaliação do cimento que foram essenciais para sua produção industrial. Posteriormente, à argamassa desenvolvida empiricamente em canteiros de obra, foram introduzidas barras metálicas, fato que originou o concreto armado. A Revolução Industrial foi, portanto, o que de fato possibilitou o surgimento de novos materiais para uma nova sociedade, que começava a se configurar como moderna. Primeiramente o aço e, em seguida, o concreto armado, ambos os materiais modificaram as possibilidades construtivas e arquitetônicas conhecidas até então, que eram viabilizadas por materiais como argila, madeira, cerâmica e rochas.

Para Forty, o concreto armado ter sido inventado por Joseph Lambot ou Joseph Monier, na França, ou William Wilkinson, na Inglaterra, não interessa particularmente. Segundo o autor, o fato significativo é que todos eles, assim como outros envolvidos em experimentos similares no mesmo período, eram primor-

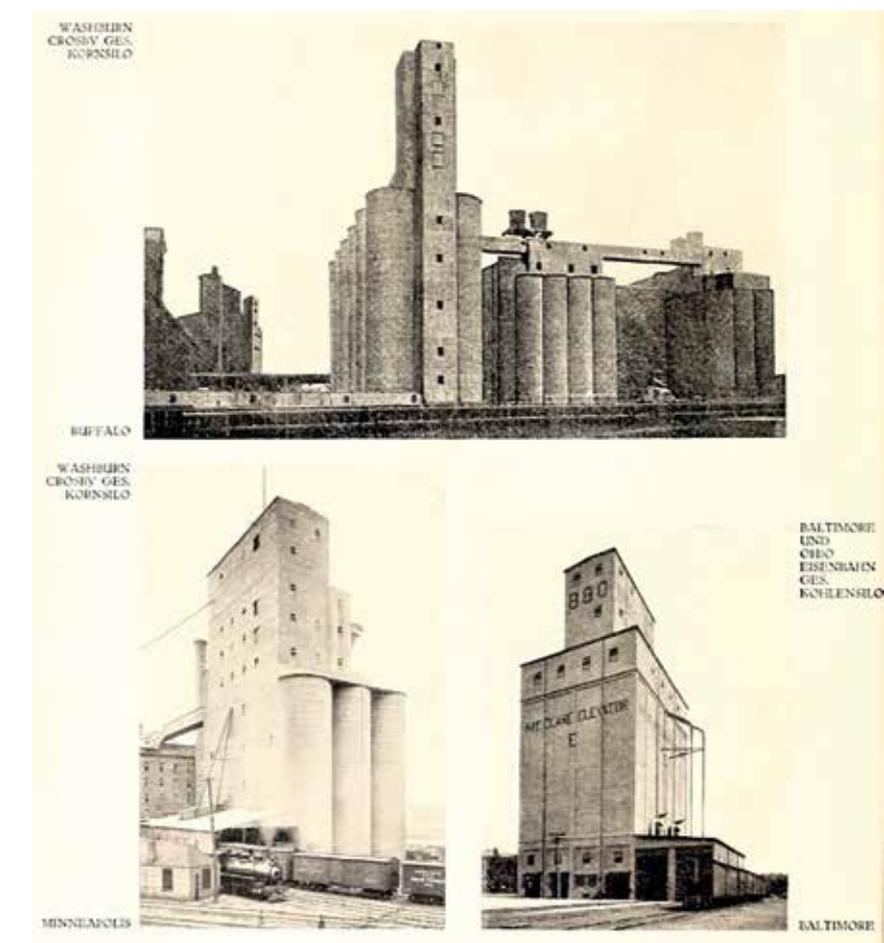


FIGURA 1

IMAGEM PUBLICADA NA DEUTSCHEN WERKBUNDES, 1913

FONTE: <https://archive.org/details/jahrbcher1913deutuoft/mode/2up>

dialmente construtores e empreiteiros, cuja expertise residia no que acontecia no canteiro, e não em qualquer conhecimento científico ou teórico. O que deu caráter científico às pesquisas sobre o concreto foi a compra da patente de Monier pela empresa alemã Wayss & Freytag. Forty propõe que a contemporaneidade das práticas desenvolvidas no canteiro francês e em laboratórios alemães foi o que deu ao concreto sua característica de material simultaneamente não moderno e moderno respectivamente - fato que permite ao autor questionar o porquê desse material ter sido adotado como um dos símbolos principais do corpo teórico, práticas e representações que constituíram a arquitetura moderna. Conclui então que comparado ao aço, material muito mais qualificado para

enviar a mensagem de modernidade, é surpreendente que o concreto armado, com seus sintomas ambigualmente modernos e não modernos, tenha assumido o papel de agente da modernidade (FORTY, 2013). Isso se deve ao fato de que, por se tratar de material de baixo custo, fácil feitura e manipulação, além de grande resistência e durabilidade, o concreto se popularizou em todo o mundo, principalmente nos países com menor grau de desenvolvimento industrial.

A Revolução Industrial deu origem a grandes modificações no campo do conhecimento, em uma era atravessada pelas vanguardas científicas, artísticas e comportamentais. Naturalmente, houve desdobramentos no ambiente construído, por este ser representativo de valores culturais.

Forty especula que a publicação de imagens dos silos e fábricas norte-americanas no livro anual da Deutschen Werkbundes, em 1913 – organizadas pelo arquiteto alemão Walter Gropius e veiculadas repetidamente na Europa nos quinze anos seguintes, sobretudo nas páginas da revista parisiense *L'Ésprit Nouveau*, de Le Corbusier e Amédée Ozenfant, e na ilustração do manifesto de arquitetura moderna de Le Corbusier, *Vers une architecture* – pode ser considerada a semente da promoção do concreto armado como o material adequado para divulgar a imagem de modernidade (FORTY, 2013) (Figura 1).

As propostas arquitetônicas de Le Corbusier no início do século XX, no entanto, utilizavam a estrutura de concreto armado apenas como elemento funcional para viabilizar seus cinco princípios – planta livre, fachada livre, janelas em fita, pilotis e terraço jardim – objetivando a liberação da forma arquitetônica moderna. A apropriação arquitetônica do concreto aparente ainda estaria por vir.

3. O CONCRETO APARENTE COMO AGENTE DA MODERNIDADE

O concreto aparente como material de expressão da modernidade surgiu inicialmente em edificações industriais e de infraestrutura, como pontes, viadutos, estações de trem, entre outras. O trabalho do engenheiro suíço Robert Maillart é significativo nesse sentido pelo fato de que, já na década de 1930, mobilizava a propriedade de moldabilidade e a consequente plasticidade estética do material para projetar pontes de grande impacto estrutural e arquitetônico, como Salginatobel (1930) e Schwandbach (1933).

É importante também situar a atuação do engenheiro François Hennebique, no início do século XX, para a consolidação do concreto armado como “o” material de construção da era moderna. As estratégias comerciais de Hennebique foram responsáveis pela difusão internacional do material, inclusive no Brasil. Em sua revista *Le Béton Armé*, Hennebique fazia propaganda intensiva contra o aço enfatizando a superioridade do concreto armado em termos de resistência ao fogo (o slogan era *Plus d'incendies désastreux*) e as ilustrações na revista mostravam es-

truturas de edificações e pontes de aço destruídas por incêndios (FORTY, 2013).

Hennebique e o arquiteto francês Auguste Perret foram importantes para a consolidação do concreto aparente em edificações residenciais, comerciais, cívicas e religiosas. Perret, que deu continuidade ao racionalismo clássico na arquitetura – corrente que considerava a moldura estrutural a quintessência expressiva da forma construída (FRAMP-TON, 2020) – estava menos interessado no concreto aparente como material de representação da modernidade e mais em transformá-lo em um material nobre para a arquitetura. É possível citar dois exemplos emblemáticos. O primeiro, a Igreja de Nossa Senhora da Consolação, em Le Raincy (1923), erigida em homenagem aos mortos da Primeira Guerra Mundial e construída com recursos financeiros limitados, o que, de certa forma, justificaria o emprego do concreto aparente. O segundo é o Museu Nacional de Obras Públicas, em Paris (1937), edificação na qual Perret deu ao concreto aparente um aspecto verdadeiramente nobre, não apenas pelas referências clássicas da forma, mas também pela adição de pórfiro verde e mármore rosa à mistura – pequenos pontos de luz que surgem incrustados nas superfícies polidas após a retirada das fôrmas (Figura 2).

O contexto socioeconômico e cul-

tural do pós-Segunda Guerra Mundial, marcado pela destruição, escassez de recursos e intensa demanda de reconstrução, mostrou-se favorável à utilização do concreto armado como material de construção. Caso emblemático, na França, foi o das Unidades de Habitação em Marselha (1947), projeto de Le Corbusier pensado originalmente para ser construído em aço, mas que acabou sendo executado em concreto aparente, pois não havia aço disponível devido à fabricação de equipamentos e armamentos de guerra. Após a construção, confrontado com um concreto de superfície rugosa e com a nítida marcação das fôrmas de madeira, devido à falta de cuidados estéticos durante a execução levada a cabo por operários pouco qualificados, Le Corbusier não apenas denominou o material como *betón brut* mas, de uma certa forma, chancelou tais qualidades como expressão arquitetônica. Cogita-se ser esta uma das possíveis origens do termo “Brutalismo”, aderido a uma arquitetura surgida em fins da década de 1940, predominantemente materializada em concreto aparente, que incorporava o debate sobre ética e estética na arquitetura, e que se difundiu largamente na Inglaterra – como formulou Reyner Banham em seu trabalho *The New Brutalism: Ethic or Aesthetic?* (BANHAM, 1966) – mas também, e contemporaneamente, em inúmeros países do mundo.



FIGURA 2

MUSEU NACIONAL DE OBRAS PÚBLICAS (ATUAL PALAIS D'ÎENÀ), PARIS

FONTE: Acervo da autora



FIGURA 3

MUSEU DE ARTE MODERNA DO RIO DE JANEIRO. ARQ. AFFONSO EDUARDO REIDY

FONTE: [Wikimidia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MAARJ.jpg) AUTOR: DÖRNICKE

LICENÇA: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>

sa simultaneamente o refinamento intelectual do projeto, tanto arquitetura como estrutura, e a presença da mão de obra que participou de sua construção, registrada na marcação das fôrmas em suas superfícies. Trata-se de edificação em concreto aparente a alardear o Brasil moderno (Figura 3).

Apesar do desejo de expressão de modernidade contido no projeto, tanto pela forma quanto pela materialidade, houve objeções dos membros da diretoria, que, como relata Carmem Portinho, argumentavam que o museu merecia “acabamento mais adequado à sua importância, como pintar todos os pórticos, sem perceberem que o concreto aparente é nobre e estava aparecendo nas construções em todo o mundo” (PORTINHO, 1999).

Na década de 1950, em meio ao debate estruturalista que se dava em diversas áreas do conhecimento, como a filosofia e a antropologia, a estrutura das edificações passou a ser adotada como expressão arquitetônica, principalmente as estruturas de concreto aparente. Pier Luigi Nervi estava à frente desse movimento, que gerou desdobramentos no Brasil, como se pode constatar no ensaio de 1958 escrito pelo engenheiro Joaquim Cardozo, Forma Estática-Forma Estética

Apesar de o concreto ser um material universal, com tendências a uniformizar diferenças culturais (FORTY, 2013), o que se deu com a difusão do concreto aparente como agente da cultura da modernidade foi o oposto. Em diferentes países, principalmente nos menos industrializados, o material acabou por adquirir propriedades expressivas de características regionais, vinculadas a seus respectivos contextos históricos, socio-políticos e econômicos, e no Brasil não foi diferente.

4. O CONCRETO APARENTE NO BRASIL MODERNO

A arquitetura do concreto aparente, tendência mundial a partir do final da década de 1940, encontrou aqui solo fértil para sua implementação em uma época em que o país passava por período de extraordinário crescimento econômico e começava forte campanha de industrialização direcionada à produção nacional de cimento e aço.

Como exemplo desse contexto pode-se citar o projeto do arquiteto Affonso Eduardo Reidy e do engenheiro Arthur

Eugênio Jermann para o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (1953). O pavilhão de exposições, composto por pórticos de concreto aparente, expres-



FIGURA 4

FAU USP. ARQ. JOÃO BATISTA VILANOVA ARTIGAS E CARLOS CASCALDI

FONTE: ACERVO DA AUTORA



FIGURA 5

IGREJA DA LUZ. ARQ. TADAO ANDO

FONTE: [Wikimedia.org](https://wikimedia.org) AUTOR: BERGMANN, CC BY-SA 3.0

LICENÇA: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>

(CARDOZO, 2009). Cardozo se opõe a Nervi, que postulava ser a estrutura o resultado de uma identidade com a verdade funcional, técnica e econômica do projeto (HUXTABLE, 1960), argumentando que a forma estética não era necessariamente um resultado da forma estática. Em ambos os casos, entretanto, era forma materializada em concreto aparente. Em meio a esse debate, o arquiteto João Batista Vilanova Artigas se posicionou argumentando que “a estrutura, para o arquiteto, não deve desempenhar o papel humilde de esqueleto, mas exprimir a graça com que os novos materiais permitem dominar as formas cósmicas, com elegância de vãos maiores, de formas leves” (ARTIGAS apud FERRAZ, 1997).

Para Artigas, “novos materiais” significava, preponderantemente, concreto aparente. O material difundiu-se com mais ênfase a partir de 1950, sobretudo em São Paulo, mas também em outras regiões do Brasil. Artigas propôs uma arquitetura que, por meio do concreto aparente, expressava a confiança na industrialização do país e o seu próprio posicionamento político como discurso. Fez projetos em concreto aparente para residências, clubes, escolas e estações rodoviárias, sendo que o projeto para a

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, a FAU USP, é, talvez, o mais emblemático deles. Trabalhando com Carlos Cascaldi e com o Escritório Técnico Figueiredo Ferraz, criou o que Forty classifica como o

“tanto suportado por tão pouco” (FORTY, 2013), e aqui há um forte simbolismo cultural, seja do ponto de vista técnico, econômico ou social (Figura 4).

Vários arquitetos paulistas, dentre eles Paulo Mendes da Rocha, materializaram projetos em concreto aparente, o que, de certa forma, configurou uma espécie de “escola”, que passou a ser conhecida como a Escola Paulista Brutalista (ZEIN, 2005). A identificação dessa “escola” em São Paulo não significa que a tendência não existisse em outras regiões do Brasil. A utilização do concreto aparente, fosse por uma expressão arquitetônica brutalista ou não, foi tendência que, contemporaneamente, se espalhou pelo mundo todo.

Por se tratar de material que tem como um de seus componentes o trabalho humano, que varia de cultura para cultura, o concreto aparente se presta como meio de expressão cultural. Basta ver edificações de diferentes arquitetos em diferentes locais para constatar esse fato, como, por exemplo, a Igreja da Luz, de Tadao Ando, no Japão, e o Museu La Coggiunta, de Peter Märkli, na Suíça. Enquanto Ando busca a textura da seda e planeja metodicamente as fôrmas metálicas e a disposição arquitetônica dos seus



FIGURA 6

LA COGIUNTA. ARQ. PETER MÄRKLI

FONTE: [Wikimedia.org](https://wikimedia.org) AUTOR: ADRIAN MICHAEL

LICENÇA: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>

pinos de fixação, Märkli expõe as marcas das fôrmas de madeira e o tratamento rústico das superfícies. São diferentes expressões culturais com o mesmo material. Aqui é possível notar o que Forty aponta como a simultaneidade moderna e arcaica do concreto (Figuras 5 e 6).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto aparente é material de

construção, mas, para além dessa característica funcional, é também agente cultural e discurso. Ao se compreender os diferentes modos de seu emprego, pode-se penetrar meandros de contextos sociopolíticos, econômicos e culturais que originam o ambiente construído. Seja como portador da mensagem de modernidade - expressando o nível de industrialização de determinadas co-

munidades pela precisão da moldagem *in loco* ou pré-fabricação - pela intencionalidade de expressões arcaicas ou pelo aspecto rústico resultante da auto-construção, o material carrega consigo a presença indelével do trabalho humano. Toda edificação de concreto aparente, portanto, contribui para a formatação do ambiente construído como um fato da cultura. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BANHAM, R. The New Brutalism: Ethic or Aesthetic? New York: Reinhold Publishing Corporation, 1966.
- [2] CARDOZO, J. A construção de Brasília. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia. Brasília: Edições Câmara, 2009. p. 177-179.
- [3] DAVIS, H. The Culture of Building. Oxford: Oxford University Press, 2006. 385 p.
- [4] FERRAZ, M. (Coord.). Vilanova Artigas. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi / Fundação Vilanova Artigas, 1997. 215 p.
- [5] FORTY, A. Concrete and Culture: a material history. London: Reaktion Books, 2013. 335 p.
- [6] FRAMPTON, K. Modern Architecture. London: Thames & Hudson, 2020. 735 p.
- [7] HANNAN, L.; LONGAIR, S. History Trough Material Culture. Manchester: Manchester University Press, 2017. 183 p.
- [8] HUXTABLE, Ada Louise. Pier Luigi Nervi. New York: George Braziller, 1960.
- [9] PORTINHO, C. Por toda a minha vida: Depoimento a Geraldo Edson de Andrade. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999. 196 p.
- [10] ZEIN, R. V. A Arquitetura da Escola Paulista Brutalista, 1953-1973. Porto Alegre: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Tese de Doutorado. 358 p.

COMBO
Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (Frp) + Reforço de Elementos Estruturais de Concreto com Sistemas de Polímeros Reforçados com Fibras (FRP) Aplicado Externamente - CT303 + Estruturas de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) + ABNT NBR 9062:2017 Comentários E Exemplos + 50 Anos IBRACON: Edificando Ideias e Concretando Valores

R\$ 510
NÃO SÓCIOS

R\$ 250
SÓCIOS

ibracon.org.br/loja

O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É QUEM RECEBE O PRESENTE!



As etapas do concreto aparente

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

O concreto aparente é o componente ou estrutura de concreto sem qualquer revestimento com pasta ou argamassa, cuja superfície fica permanentemente exposta ao ambiente. Por uma questão estética, este concreto pode receber algum tipo de tratamento em sua superfície, como apicoamento, jateamento de areia e pintura que não altere a forma impressa pelas fôrmas.

“O concreto aparente é a estrutura de concreto armado ou protendido que atende à expectativa de acabamento sem a aplicação de revestimento posterior, a não ser limpeza e produtos de proteção superficial”, define o consultor associado da Vértices e instrutor do curso “Concreto aparente: arquitetônico e colorido”, Eng. Dener Altheman.

Segundo ele, o concreto aparente traz simplicidade e praticidade para obras de infraestrutura, pois diminui custos, acelera o cronograma e facilita inspeções e manutenções. Isto porque não requer serviços posteriores ao lançamento da estrutura, como chapisco, emboço, reboco ou revestimentos cerâmicos. Por isso, é muito usado em obras sem viés arquitetônico, como pontes, viadutos, rodovias, estacionamentos, estações de trem ou metrô, modais logísticos e obras de saneamento. “Nessas obras, a textura de acabamento básica proporcionada pelo concreto aparente é adequada”, complementa.

Por outro lado, o concreto aparente é também usado como elemento arquitetônico, quando ele pode ser colorido por meio de pigmentação ou sua superfície pode receber algum tipo de tratamento, como lixamento, apicoamento, jateamento e riscamento. Este uso do concreto aparente é bastante presente em edificações, como o Museu de Imagem e Som do Rio de Janeiro, Hotel Unique e Renaissance, em São Paulo, e Museu Iberê Carmargo, em Porto Alegre, entre outras. “Há duas hipóteses para se optar pelo



Pilar em concreto aparente do novo viaduto de acesso a Osasco

concreto aparente: redução de custo ou escolha arquitetônica. Para obras de infraestrutura, a escolha se dá pela redução de custo”, afirma o diretor de infraestrutura da Núcleo Engenharia e consultor, por décadas, de obras de infraestrutura da Concremat, Eng. Paulo Fernando.

Por estar diretamente exposto ao ambiente, o concreto aparente requer cuidados especiais, importando não apenas sua capacidade estrutural, mas sobretudo sua durabilidade e aparência. Um concreto durável mantém sua forma original, a resistência mecânica e a funcionalidade para o qual foi projetado durante sua vida útil, ou seja, no decorrer do período de tempo para o qual a obra foi projetada. Este período de tempo é definido no Brasil pela norma ABNT NBR 15575: 2021, conhecida popularmente como norma de desempenho.

Tão logo é lançado e desformado, o concreto é submetido a um conjunto de agentes ambientais, como temperatura, umidade, insolação, vento, gases poluentes, chuvas ácidas, sais, entre

outros, que podem provocar desgaste e fissuramento superficial, eflorescências (manchas brancas na superfície causadas pela percolação de água pela estrutura, que carrega o carbonato de cálcio para a superfície), desagregação (desprendimento dos agregados miúdos e outros componentes do concreto) e corrosão de armadura (com perda de seção do aço e da resistência à tração e à flexão), entre outras manifestações patológicas. Essas, se não forem prevenidas ou mitigadas, podem levar à perda da estabilidade estrutural do concreto ou a redução de sua vida útil, afetando segurança e funcionalidade da obra, além de ocasionarem manchas, fissuras e descoloração, que comprometem sua aparência.

Existe uma série de medidas que podem ser tomadas para se obter um concreto aparente esteticamente agradável e durável, que começa na escolha dos insumos, passa pelo treinamento de pessoal e pré-qualificação dos fornecedores, e termina na seleção de tratamentos de proteção.

A seguir comentam-se as mais críticas quanto aos processos executivos.

ESCOLHA DOS INSUMOS E DOSAGEM DO CONCRETO

A boa homogeneidade e compatibilidade do concreto começa com uma granulometria contínua dos agregados miúdos e graúdos. A granulometria controlada dos agregados proporciona maior coesão ao concreto durante seu lançamento, garantindo a não segregação de seus componentes, e retém a água de amassamento, evitando o movimento ascendente de água no concreto fresco (exsudação), que carrega suas partículas finas ocasionando diferenciação de tonalidades e a formação de uma película com maior teor de cimento na superfície, mais propensa à

microfissuração, porque a reação de hidratação do cimento libera calor, expandindo-a no estado fresco e contraindo-a demasiadamente no estado endurecido (retração térmica), formando uma camada de cobertura permeável, que afeta a durabilidade.

É preciso ainda limitar a dimensão máxima do agregado graúdo em função das dimensões da fôrma e da malha de armaduras, para evitar retenções que resultem em nichos vazios na estrutura em razão de falhas de concretagem, verdadeiras zonas de descontinuidade estrutural e que comprometem a aparência do concreto aparente. A dimensão característica do agregado pode variar de 12 mm a 19 mm, em “busca pela melhor combinação granulométrica do traço para obter adequada trabalhabilidade do concreto fresco, do espaçamento e taxa de armadura, espessura do elemento estrutural, desenho e detalhes da fôrma, resistência e módulo de elasticidade especificados no projeto”, completa o diretor da IDETK, Eng. Roberto Dakuzaku.

O teor de material pulverulento dos agregados pode variar entre 7% a 11% do volume, mas deve atender aos limites máximos especificados na ABNT NBR 7211: 2022 - Agregados para concreto.

Já, o teor de adições pode variar entre 5% e 8% na avaliação de Paulo Fernando, sendo usadas para tornar o concreto mais coeso, resistente e durável.

A dimensão característica dos agregados, de teor de material pulverulento e de adições no concreto do novo viaduto de acesso a Osasco na Rodovia Castello Branco (SP280), recentemente inaugurado, seguiu essas recomendações. Segundo o gerente de engenharia e planejamento da construtora Sanches Tripoloni, Eng. Marcos Antunes, o concreto aparente é “o tipo de acabamento preferido da empresa, por sua qualidade”.

A dosagem do concreto precisa também atender às indicações quanto às classes de agressividade contidas nas normas brasileiras ABNT NBR 6118:2023 e ABNT NBR 12655:2022 para assegurar durabilidade.

As classes de agressividade referem-se ao ambiente (urbano, rural ou marinho) em que se encontra a obra, que

determina especificações normativas prescritivas para assegurar a durabilidade da estrutura de concreto, como a relação água-cimento e a cobertura da armadura. Os ambientes urbanos ou próximos ao mar são mais agressivos ao concreto por conterem maior teor de poluentes e sais que reagem com os componentes do concreto provocando desagregação, carbonatação, corrosão das armaduras e fissuração. O gás carbônico, por exemplo, reage com o hidróxido de cálcio, componente do concreto, formando carbonato de cálcio. Esta reação denominada carbonatação diminui o pH do concreto, o que favorece a rea-



Pilar em concreto aparente do Centro de Ensino e Pesquisa do Hospital Albert Einstein

ção do oxigênio com o ferro, levando à corrosão das armaduras, anteriormente protegidas pelo ambiente alcalino.

A relação entre a quantidade de água (em litros) e de cimento (em quilogramas) no concreto é um fator controlável e determinante de sua porosidade. Quando se utiliza mais água do que a necessária para reagir com os componentes do cimento, esse excesso evapora quando o concreto endurece e deixa vazios (retração por secagem), por onde o ar e a água adentram, carregando agentes agressivos para o interior do concreto. Por isso, é imprescindível manter uma relação equilibrada entre a quantidade de água e a quantidade de cimento. Para o viaduto de Osasco, a

relação água/cimento foi de 0,55 litros por quilograma.

O tipo e a quantidade de cimento influenciam também a aparência e a durabilidade do concreto. Roberto Dakuzaku tem usado o CPIII 40, cimento com adição de escória de alto forno, “por produzir um concreto de coloração clara”. Já, Paulo Fernando tem adotado o CPII-40 devido à disponibilidade. “O importante é manter o tipo, classe e fornecedor de cimento para cada obra”, arre-mata. No viaduto em Osasco foi usado o CPII E-40 e o CPII F-40.

Eles recomendam consumo mínimo de cimento de 340 kg/m³, independentemente da resistência característica à compressão do projeto, para obter melhor acabamento e durabilidade do concreto aparente.

A boa especificação dos materiais e a dosagem adequada do concreto são pontos de partida para o bom acabamento superficial. Por isso, a escolha de um bom fornecedor de concreto leva em conta sua capacidade operacional para entregar do início ao fim da construção e a qualidade e procedência dos insumos do concreto, não apenas o preço por metro cúbico.

Em projetos com elevada exigência de acabamento superficial do concreto aparente, pode-se ainda recorrer a aditivos especiais. Dakuzaku aponta que na obra do Centro de Pesquisa do Hospital Albert Einstein, em São Paulo, foi usado 12 kg/m³ de um aditivo compensador de retração à base de óxido de cálcio supercalcinado, “para obter um acabamento muito liso e brilhante, sem a necessidade de aplicar sistemas de proteção superficial”. No entanto, no geral a correta especificação do concreto aliada com boas práticas da usina, transporte e lançamento do concreto são suficientes para assegurar o bom acabamento.

Quanto à durabilidade da estrutura de concreto aparente, outro fator determinante é a cobertura da armadura. Isto porque, para se manter íntegra, a armadura deve ficar protegida da ação de agentes agressivos, sendo a espessura de seu cobrimento a barreira contra esse ingresso para o interior do concreto. Essa espessura depende

justamente do ambiente no qual a estrutura é colocada, sendo especificada na norma ABNT NBR 6118. Em geral, varia de 30 mm a 45 mm.

Outro aspecto de interesse na dosagem do concreto são suas propriedades reológicas no estado fresco, como viscosidade, densidade, consistência e trabalhabilidade, pois essas interferem na forma como o concreto preenche os espaços confinados no interior das fôrmas e das armaduras, bem como seu aspecto estético final. O concreto corretamente dosado e ajustado experimentalmente deve preencher com facilidade os cantos, saliências e reentrâncias das fôrmas, sem a necessidade de estucagem posterior.

As classes de consistência do concreto fresco são preconizadas pela ABNT NBR 8953:2015. A prática recomendada tem sido trabalhar com abatimentos entre 100 mm e 250 mm para concretos aparentes. No viaduto de Osasco, a estrutura apresentou características de superelevação bastante acentuadas, exigindo um estudo de traço para lançamento do concreto e para atender ao ciclo executivo. “Por isso, em alguns casos, foi usado concreto com *slump flow* de 700 mm”, informa Antunes. “Deve-se obter misturas estáveis, sem tendências para exsudar ou segregar, e com longa manutenção de trabalhabilidade – entre 180 e 240 minutos – para minimizar riscos de juntas frias, entupimentos da linha de bombeamento e devoluções de concreto por prazo vencido”, recomenda Dakuzaku.

Um concreto com maior teor de argamassa minimiza falhas de concretagem, como ninhos ou segregações, o que comprometeria o acabamento final do concreto aparente, uma vez que, em geral, ele não aceita correções. Dakuzaku recomenda adicionalmente limitar o teor de argamassa no concreto entre 52% e 54% para concretos convencionais e classes de consistências S100, S160 ou S220 (100 mm, 160 mm ou 220 mm).

Em determinadas situações, como de esbeltez estrutural ou altas taxas de armadura, é recomendável usar concreto autoadensável, com classe de espalhamento SF2 (660 mm a 750 mm) e

índice de estabilidade visual IEVO (sem segregação e sem exsudação). Tal medida foi adotada no concreto usado em alguns elementos estruturais do viaduto de Osasco.

“A dosagem deve considerar, além da robustez do concreto quanto às conformidades mecânicas, os riscos à variação de tonalidade e riscos de anomalias de execução, como ninhos de concretagem, bem como a redução do potencial de retração e o coeficiente de dilatação térmica”, resume Altheman.

Todas essas propriedades físicas, reológicas, mecânicas e de durabili-



Avanço do tabuleiro do viaduto de acesso a Osasco

dade devem ser controladas por meio de um rigoroso controle da qualidade através de ensaios químicos dos insumos, ensaios físicos de teor de umidade dos agregados e para determinação do abatimento, e ensaios mecânicos da resistência à compressão, da resistência à tração por compressão diametral, além dos ensaios de durabilidade das propriedades de transporte de ar e água para dentro do concreto. “Algumas empresas, como o Metrô de São Paulo e a CCR Engellog exigem o controle tecnológico da durabilidade do concreto através da execução de ensaios comprobatórios conforme ABNT NBR 9778, NBR 9779 e NBR 10787”, informa Dakuzaku.

EXECUÇÃO DAS FÔRMAS E DAS ARMADURAS

As fôrmas devem ser planejadas, travadas e vedadas de modo a evitar a fuga de água ou nata através das juntas, o que arrastará grande quantidade de cimento para a superfície do concreto, ocasionando manchas. Outro cuidado é ter um projeto adequado de juntas dos painéis das fôrmas, que devem ser seladas com silicone ou fitas adesivas. “Ter uma boa equipe de carpinteiros e de montagem de fôrmas não é suficiente para evitar a abertura dos painéis. A qualidade do material é outro requisito fundamental para obter bom acabamento superficial do concreto aparente”, ressalta Dakuzaku, que tem usado fôrmas de madeira compensada, revestidas com ripas de madeira, industrializadas, de fibra e de madeira revestida com fórmica ou películas poliméricas.

A rigidez do material das fôrmas deve considerar o peso e empuxo do concreto e a força resultante do adensamento, que provocam deformações e empenos nas paredes das fôrmas. Tirantes e espaçadores impedem a alteração dimensional ou desalinhamentos da armadura. Pode ser necessária a execução de peça-piloto para o dimensionamento e ajuste dos tensores de rigidez em função das dimensões, do material da fôrma, do peso e altura das camadas e da temperatura e fluidez do concreto. “Sempre recomendo a execução de protótipos em escala real antes de iniciar as concretagens para treinar a equipe, verificar a rigidez e estanqueidade das fôrmas, fazer eventuais ajustes no traço e avaliar visualmente a qualidade e aparência do acabamento superficial do concreto aparente”, esclarece Dakuzaku.

“Na obra do viaduto de acesso a Osasco, as fôrmas, com espessuras de 18 mm e faces protegidas com película naval, puderam ser reutilizadas pelo menos em cinco etapas de concretagem”, informa Antunes. Segundo ele, o alto custo de material de origem vegetal, mesmo o reciclado, requer a reutilização das fôrmas para o melhor custo-benefício. “Para isso, o uso de desmoldante de qualidade, pontos de travamento que possam ser reutilizados e cuidados

na armazenagem garantem a maior reutilização, mesmo que a estrutura apresente geometrias diferenciadas”.

Devido aos balanços sucessivos de avanço da obra, as contraflechas, deformações instantâneas ou lentas que ocorrem após o descimbramento da estrutura, previstas em projeto e validadas na Avaliação Técnica da Obra, foram continuamente verificadas por meio de leituras feitas pela equipe de topografia.

O projeto da fôrma deve indicar o plano de corte para eventuais ou programadas paralisações de concretagem. As juntas frias resultantes dessas paralisações não devem ser estabelecidas em pontos suscetíveis a concentração de esforços mecânicos e devem estar alinhadas e retilíneas. “No concreto aparente, o conhecimento e a experiência do fornecedor de fôrma são um dos requisitos principais para a qualidade final da aparência”, indica Dakuzaku.

É necessária uma preparação prévia do topo das juntas frias para melhorar o coeficiente de atrito e eliminar todo resíduo solto ou pulverulento entre as camadas de concretagem. Para aumentar a aderência entre as camadas, recomenda-se saturar o concreto endurecido com água. “Durante a aplicação da última camada na estrutura, no sentido horizontal, foram realizadas ranhuras, depois tratadas com apiloa-



Montagem das fôrmas para estrutura do Projeto Sirius

mentos superficiais”, adiciona Antunes.

Não deve haver a intercalação de peças de madeira nova com fôrmas já utilizadas num mesmo nível horizontal, pois as diferentes taxas de absorção de água do concreto pelas fôrmas usadas e novas provocam irregularidades na superfície do concreto e manchas.

O reaproveitamento de fôrmas deverá ser precedido de limpeza e retificação. “A análise visual e a limpeza com água e pano são suficientes”, ensina Paulo Fernando. “De preferência, imediatamente após a desforma para evitar o aumento da aderência dos resíduos de concreto”, adiciona Dakuzaku.

Checagem de prumos, níveis e dimensões deve ser feita com instrumentos de apoio, antes da liberação para a concretagem e conforme as tabelas da ABNT NBR 14931:2023.

Em obras com altas taxas de armaduras, como o viaduto de Osasco, com taxa média de 120 kg/m³, com bitolas de 12,5 mm a 25 mm para a meso e superestrutura e de 32 mm para as fundações, o cuidado com o posicionamento das armaduras é crucial. Deve-se evitar posicionamentos das barras sem um espaçamento mínimo que possibilite o concreto fresco de envolver e ancorar as armaduras, bem como preencher todos os espaços no interior das fôrmas. As barras devem ser firmemente posicionadas, conforme o projeto, e devem ser usados espaçadores de plástico ou

pastilha de argamassa, com espessuras adequadas para ser garantir a cobertura especificada em projeto das armaduras. As pontas de arame cozido da armação devem ser viradas para dentro do concreto.

“Quando a espessura de cobertura nominal passa de 50 mm, recomendamos a utilização de armadura de pele, de aço ou de vidro álcali resistente, para minimizar a ocorrência de fissuras de retração”, alerta Dakuzaku, que usou a armadura de pele nas paredes de concreto aparente do túnel de blindagem do acelerador de partículas Sirius, com circunferência média de 520 m e espessuras variáveis de 0,8 m a 1,5 m, sem juntas. Para Antunes, “em obras de grande porte, como blocos de fundação, pilares lâmina de grandes dimensões e estruturas executadas em balanços sucessivos, a armadura de pele é imprescindível, para evitar fissuras no concreto e garantir a durabilidade da estrutura”.

Os desmoldantes devem ser previamente testados para verificar sua eficiência quanto à redução da aderência e seu efeito na superfície do concreto. Eles devem ser pulverizados em quantidade controlada, pois seu excesso pode causar manchas. “Temos especificado desmoldante biodegradável a base de óleo sintético, sem solventes, que deve ser aplicado conforme instruções do fabricante”, recomenda Dakuzaku.



Parede de concreto aparente do túnel de blindagem do acelerador de partículas Sirius



Concretagem da laje de fundo do túnel de acesso da Linha 2 do Metro de São Paulo

O projeto de fôrmas deve prever a desforma sem que seja necessária a aplicação de ponto de apoio na superfície do concreto. A desforma deve ser realizada de preferência antes de 36 horas a partir do lançamento do concreto. “Em obras com paredes de concreto, a remoção dos painéis laterais é feita a partir de 2,5 MPa. Para outras estruturas de concreto aparente, recomendamos uma resistência mínima de 8 MPa para evitar danos nas bordas das peças concretadas”, informa Dakuzaku, que recomenda também realizar a desforma numa mesma idade do concreto para evitar diferenças acentuadas na coloração do concreto aparente. Para lajes, “deve-se observar o módulo de elasticidade do concreto especificado no projeto”, completa Paulo Fernando.

Dakuzaku destaca que “os cuidados devem ser mais rigorosos desde a fabricação, transporte, estocagem, manuseio, passando pela concretagem, até a desforma, para evitar riscos na face interna e empenamentos. Por isso, é indispensável uma equipe de concretagem bem treinada e qualificada”.

LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO

“O lançamento do concreto nas fôrmas deve buscar manter o concreto coeso, depositando-o sem segregação de seus materiais constituintes. Para isso, recomenda-se que a altura de lançamento não seja superior a dois metros e, caso o

seja, utilizar-se de funil na parte superior do tubo com diâmetro entre 10 e 30 cm”, esta recomendação feita por Walmor José Prudêncio, em um artigo de 1977 publicado no Colóquio sobre Dosagem do Concreto, continua válida. “Em geral, fazemos o lançamento do concreto de uma altura inferior a dois metros, mas já fizemos testes com altura de três metros sem observar segregação”, afirma Paulo Fernando.

Pelos mesmo motivo e para evitar a incorporação de ar, o concreto não deve sofrer transbordos ou peneiramento através das malhas de armaduras e estribos. Por isso, o lançamento do concreto em peças densamente armadas deve prever aberturas na montagem da armadura e, se possível, ser feito lateralmente pelo processo de cachimbo. “Quando não for possível o lançamento preconizado em norma, abaixo dos dois metros, podem ser empregados dispositivos como fôrma com cachimbo, canaletas, trompas ou mangote para conduzir o concreto fresco até o fundo da fôrma, sem segregar e para evitar impactos contra a armação, embutidos e parede interna da fôrma, cujos respingos podem secar e causar manchas no acabamento superficial do concreto aparente”, ensina Dakuzaku.

A altura das camadas de concretagem não deve ultrapassar 2/3 da agulha do vibrador (aproximadamente de 20 cm a 40 cm), para facilitar o contato desta com a camada anteriormente concretada, sendo a altura junto às paredes e arestas das fôrmas

ligeiramente maior, para evitar zonas inclinadas na extremidade das peças. A agulha do vibrador deve penetrar a camada anteriormente concretada, entre 10 cm e 15 cm, para fazer a ligação entre elas e evitar manchas parecidas com juntas frias. “Deve-se manter os vibradores na posição vertical, de forma a sempre trabalhar as camadas inferiores, mantendo a continuidade das camadas de lançamento”, ensina Antunes.

Para evitar os efeitos da aeração e insolação, as concretagens devem ser evitadas em dias e horários muito quentes (acima de 32°C) e com baixa umidade relativa do ar, bem como com ventos com rajadas. Essas condições são responsáveis pela perda acelerada de água pelo concreto fresco, prejudicando as reações de hidratação, bem como por elevadas taxas de retração térmica do concreto, ocasionando fissuramento. A ABNT NBR 14931:2023 traz diversas recomendações para concretagens em condições climáticas adversas.

Feito o lançamento do concreto na fôrma, ele deverá ser adensado por meio de vibradores mecânicos de mergulho, para se obter sua homogeneização, eliminação de ar incorporado durante o lançamento e preenchimento completo dos vazios.

Para se obter um concreto com baixa dispersão de densidade e alta resistência mecânica, usa-se vibradores de alta frequência e baixa amplitude, quando as agulhas têm diâmetro entre 25 mm e 40 mm, e de baixa frequência e alta amplitude com agulhas com diâmetro acima de 40 mm. Paulo Fernando recomenda um raio de vibração entre 35 cm e 55 cm. O tempo de vibração dependerá do índice de consistência do concreto, devendo ser regulado para não provocar defeitos de segregação. Para Paulo Fernando, “o tempo de vibração é determinado pela paralisação da subida de bolhas de ar do concreto”. “Até 3% de ar incorporado e 2% de água exsudável é aceitável”, pontua Dakuzaku.

O adensamento do concreto tem a finalidade de corrigir, na medida do possível, diferenças relativas de teores dos insumos em distintas zonas do componente ou estrutura. Essas diferenças são causadas por fenômenos físicos, como o lançamento, o peneiramento do concreto e o efeito parede, que consiste na movimentação da argamassa para junto de superfícies contínuas, como as fôrmas e armaduras.

Espera-se que um bom concreto aparente tenha coeficiente de variação inferior a 12%.

O vibrador deve ser inserido verticalmente e movido lentamente, tomando-se cuidado para não vibrar as armaduras, e sua movimentação deve assegurar a sobreposição das áreas adensadas. Deve-se vibrar intensamente nos cantos e em áreas densamente armadas, com o cuidado de não tocar as fôrmas.

Paulo Fernando alerta que a vibração incorreta faz com que partículas finas e bolhas de ar, contidas na mistura, se dirijam à origem de vibração, ocasionando uma distribuição não uniforme dos insumos no concreto.

É recomendável fazer um plano de concretagem especificando as alturas das camadas, o sentido de avanço da concretagem e diretrizes para o vibradorista, como manter-se de dois a três metros atrás do mangote da bomba ou da ponta de lançamento do concreto, vibrar o concreto a partir de 5 cm da face da fôrma em direção ao centro da peça e evitar vibrar as armaduras. “Golpear a fôrma com martelinho de borracha durante a subida das camadas de concreto lançado e vibrado minimiza a ocorrência de defeitos superficiais, como pequenos buracos causados por bolhas de ar e água aprisionados na face da fôrma”, complementa Dakuzaku.

CURA DO CONCRETO E PROTEÇÃO ADICIONAL

A secagem prematura do concreto resulta em uma camada de superfície fraca, porosa e permeável, por causa da insuficiência de água necessária à hidratação do cimento na superfície e também devido à retração por secagem na superfície que a sujeita a forças de tração, que provocam fissuras.

Para evitar este efeito, o concreto deve ser continuamente molhado desde o início de sua pega, processo chamado de cura. Para grandes superfícies horizontais, como lajes, pode-se empregar aditivo retardador de evaporação logo após a vibração do concreto, para evitar a ocorrência de fissuras precoces, que podem se manifestar

antes mesmo de terminar a concretagem. Em seguida ao acabamento, aplica-se cura química ou com lâmina de água de 10 cm a 15 cm de altura, por no mínimo cinco a sete dias. Paulo Fernando alerta que não faz sentido curar o concreto somente até atingir 15 MPa.

Para superfícies verticais, como pilares, vigas e paredes, recomenda-se aplicar filme plástico transparente aderido ao concreto úmido, sem forma bolhas de ar, logo após a desforma, para impedir a perda de umidade superficial por evaporação. O filme plástico pode ser mantido até o final da obra, protegendo a superfície do concreto aparente de poeira. Caso não seja usado o filme plástico,



Impermeabilização do concreto aparente do viaduto de acesso a Osasco

deve-se aplicar agente de cura química à base de resina acrílica, que consiste numa emulsão que forma um filme contínuo capaz de reter a água no concreto.

“Em estruturas elevadas, para minimizar a incidência de rajadas de vento diretamente nas peças desformadas, foi necessário o uso de uma proteção à cura úmida ou química, como o “fog spray”, completa Antunes.

A duração da cura depende do tipo de cimento utilizado e da exposição da peça

de concreto ao sol e a aeração, assim como de seu contato com meios agressivos. As especificações para cura são trazidas pela norma brasileira ABNT NBR 14931.

Com esses cuidados, obtém-se uma camada de superfície densa, compacta, resistente e impermeável, que não apresentará fissuras com abertura superior à recomendada em norma.

Ainda assim, para manter a superfície do concreto aparente limpa e mais protegida contra agentes agressivos do ambiente, podem ser aplicados tratamentos para obtenção de películas impermeáveis e aderentes, capazes de assegurar maior durabilidade à estrutura.

Os produtos que têm sido geralmente usados são: os hidrofugantes, que agem para repelir a água na superfície da estrutura, quando se pretende manter a aparência natural do concreto; e os sistemas à base de vernizes acrílicos ou de poliuretano, que formam um filme a partir da evaporação do solvente ou da água neles contidos. Esses podem ser aplicados isoladamente ou em sistema duplo.

Atualmente, existe uma grande variedade de produtos aplicados para finalizar o acabamento superficial do concreto aparente, desde sistemas de proteção que exigem a reaplicação anual aos sistemas de elevado desempenho, com intervalos de manutenção superiores a 10 anos. Dakuzaku adiciona que no Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro, o concreto aparente foi pintado com tinta de alto desempenho na cor branca.

Todos devem atender às normas ABNT NBR 14037:2024 Manual de Operação e Manutenção e ABNT NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho.

O recomendável é fazer ensaios de aderência, de absorção de água e testes de campo para avaliar a aparência do acabamento. “Mas, melhor que tratar é executar a estrutura sem defeitos pela escolha adequada do sistema de fôrmas, desmoldantes, sistema de cura e mão de obra treinada e qualificada”, finaliza Dakuzaku. 📧

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PRUDENCIO, W. J. Tecnologia do concreto aparente. IN: Colóquio sobre Dosagem do Concreto, 1977, São Paulo. Anais. São Paulo: IBRACON, 1977
- [2] DA SILVA, P. F. A. Durabilidade do concreto aparente. IN: Reunião Anual do Instituto Brasileiro do Concreto, 1992, Curitiba. Anais. Curitiba: IBRACON, 1992.

O concreto no Memorial Brumadinho: uma tríplice perspectiva

GUSTAVO PENNA | ARQUITETOS ASSOCIADOS
PAULO RAFAEL CADAVAL BEDÊ | BEDÊ ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
PROF. OTÁVIO LUIZ DO NASCIMENTO | CONSULTARE CONSULTORIA DE REVESTIMENTOS E DESEMPENHO

INTRODUÇÃO

O MEMORIAL BRUMADINHO, ERGUIDO EM MEMÓRIA DAS VÍTIMAS DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM MINA Córrego do Feijão – BRUMADINHO, EM MINAS GERAIS, É UMA OBRA QUE TRANSCENDE O SIMPLES USO DE CONCRETO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO. ELE SE TRANSFORMA EM UM SÍMBOLO DE RESISTÊNCIA, MEMÓRIA E REFLEXÃO, LIGANDO O PASSADO AO PRESENTE DE FORMA VISCERAL E TANGÍVEL. NESTE ARTIGO, EXPLORAMOS O PAPEL DO CONCRETO NO MEMORIAL SOB TRÊS PRISMAS: O ARQUITETO QUE IDEALIZOU O ESPAÇO, O CALCULISTA QUE TRANSFORMOU AS IDEIAS EM ESTRUTURAS SEGURAS E FUNCIONAIS, E O PESQUISADOR QUE TROUXE A PRÓPRIA LAMA DA TRAGÉDIA PARA DAR FORMA E COR AO CONCRETO.

1. O OLHAR DO ARQUITETO: CONCRETO COMO SÍMBOLO DE MEMÓRIA E REFLEXÃO

1.1 Espaço de memória: a criação de um lugar de luto e reflexão

O projeto arquitetônico liderado por

Gustavo Penna é profundamente marcado pela intenção de criar um espaço que revele as vítimas e proporcione um ambiente para o luto coletivo. O concreto, neste contexto, não é apenas um material funcional, mas um veículo de expressão simbólica.

O Pavilhão de entrada do memorial é uma representação física das forças destrutivas que marcaram o desastre. A sua forma retorcida e fragmentada é um reflexo dos sonhos despedaçados das vítimas, e a materialidade do concreto aparente, misturado ao pigmento proveniente dos rejeitos da barragem, reforça essa ligação visceral com a tragédia (Fig. 1). Esse trabalho minucioso de integração dos materiais foi fundamental para criar uma conexão visual e emocional entre o espaço e o ambiente que o cerca, fazendo com que cada parede e superfície carregasse em si a memória do que ocorreu naquele lugar.

1.2 A fenda: a ferida no terreno

A Fenda, uma escavação de 205 metros

que corta o terreno, é outro elemento central do projeto (Fig. 2). Ela simboliza a fratura gigantesca causada pela tragédia e, ao mesmo tempo, guia os visitantes através de uma jornada de introspecção e lembrança. O concreto utilizado nas paredes da fenda cria uma estrutura resistente que sustenta a profundidade e a gravidade do espaço. Mais do que uma solução estrutural, o concreto aqui assume o papel de testemunha, um material que carrega em si as marcas do que aconteceu.

Além da funcionalidade estrutural, o concreto na Fenda desempenha um papel estético crucial. As paredes de concreto expostas, com suas texturas rústicas e variações de cor, criam um ambiente que é ao mesmo tempo imponente e introspectivo, reforçando a sensação de caminhar por uma cicatriz aberta no terreno. Essa combinação de função e forma é um testemunho da habilidade do arquiteto em utilizar o concreto não apenas como um elemento construtivo,



FIGURA 1

PERSPECTIVA DO ESPAÇO DE CONVIVÊNCIA ONDE SE OBSERVA A FORMA RETORCIDA E FRAGMENTADA DO PAVILHÃO



FIGURA 2

VISTA AÉREA DA FENDA

mas como um meio de evocar emoções profundas e complexas nos visitantes.

1.3 O mirante e o lago: um espaço para a contemplação

Ao final do percurso, o Mirante se projeta sobre um lago, oferecendo um espaço de serenidade e reflexão (Fig. 3). A estrutura em balanço do Mirante, feita de concreto protendido, simboliza a transição entre o luto e a esperança. O uso do concreto especial com resíduo da lama da barragem, que dá ao material uma cor única, conecta o memorial ao local da tragédia de forma indelével.

O Mirante não é apenas um ponto de observação, mas um espaço onde a arquitetura se funde com a paisagem para criar um momento de transcendência. A superfície de concreto que se estende sobre o lago é um símbolo de superação e continuidade, projetando-se sobre a água como um gesto de esperança e renascimento. A escolha do concreto protendido, com suas propriedades de alta resistência e flexibilidade, foi fundamental para permitir a criação desta estrutura arrojada, que parece desafiar as leis da física ao flutuar serenamente sobre o espelho d'água.

2. O OLHAR DO CALCULISTA: DESAFIOS E SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

2.1 Desenvolvimento da estrutura do pavilhão

O Pavilhão, com sua cobertura de lajes maciças dispostas em planos inclinados, exigiu uma abordagem inovadora no cálculo estrutural devido à complexidade geométrica e às condições de carga únicas (Fig. 4). A análise por elementos finitos foi utilizada para prever o comportamento estrutural do concreto sob diferentes condições de carga, levando em conta tanto as forças estáticas quanto dinâmicas.

2.1.1 MODELAGEM POR ELEMENTOS FINITOS

A modelagem por elementos finitos (FEM) foi essencial para simular as múltiplas interações entre as lajes de

concreto e os suportes estruturais. Um modelo tridimensional foi criado utilizando software de última geração, o que permitiu uma análise detalhada das tensões e deformações em cada ponto crítico da estrutura. As lajes, com vãos de até 15 metros, foram analisadas quanto à resistência à flexão, cisalhamento e ao pandejamento, com especial atenção às conexões nos pontos de apoio.

2.1.2 INTEGRAÇÃO COM O BIM

A utilização de Building Information Modeling (BIM) foi crucial para a integração de todas as disciplinas envolvidas no projeto, garantindo que o cálculo estrutural fosse compatível com as exigências arquitetônicas e com as demais instalações do edifício. O modelo BIM permitiu a visualização em tempo real de como as forças estruturais interagiriam com os elementos arquitetônicos, facilitando a tomada de decisões e a realização de ajustes necessários ao longo do desenvolvimento do projeto.

2.1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CARGAS E VARIAÇÕES CLIMÁTICAS

Além das cargas permanentes e acidentais, o cálculo considerou as variações climáticas, como mudanças de temperatura e a ação do vento, que poderiam afetar as lajes inclinadas. Simulações foram realizadas para garantir que



FIGURA 3
MIRANTE SOBRE O LAGO

o sistema estrutural pudesse acomodar essas variações sem comprometer a integridade da edificação. As lajes foram projetadas para resistir a cargas verticais e horizontais, com o objetivo de evitar qualquer tipo de deformação excessiva ou fissuração.

2.1.4 FUNDAÇÕES E ESTABILIDADE GERAL

As fundações do Pavilhão foram projetadas utilizando estacas do tipo hélice contínua monitorada (HCM), que proporcionaram uma base sólida e segura para a estrutura, mesmo em um terreno com características geotécnicas desafiadoras. As estacas foram dimensionadas para suportar tanto as cargas verticais quanto os esforços horizontais resultantes da geometria inclinada da estrutura. As cintas de fundação foram



FIGURA 4
PERSPECTIVA DA COBERTURA DE LAJES EM PLANOS INCLINADOS DO PAVILHÃO

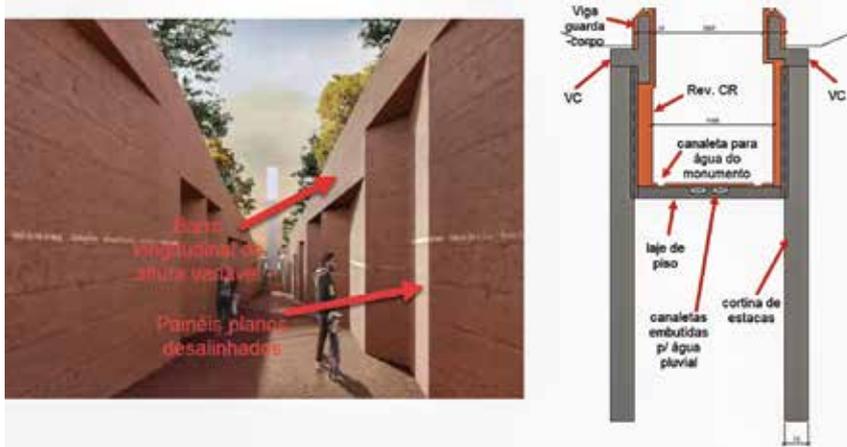


FIGURA 5

CORTE TRANSVERSAL GENÉRICO NA FENDA COM A INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA E REVESTIMENTO

projetadas para suportar as alvenarias, promovendo o travamento dos blocos estruturais e garantindo a estabilidade geral do edifício.

2.2 ESTABILIZAÇÃO DA FENDA

A Fenda, com suas profundidades variáveis e paredes de concreto armado, representou um desafio estrutural significativo. A solução adotada, que incluiu estacas HCM alinhadas e a construção de uma viga de cabeça para equalizar os deslocamentos, foi essencial para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura. O revestimento das paredes com o concreto especial desenvolvido a partir dos resíduos da barragem adicionou uma camada adicional de complexidade, exigindo um planejamento cuidadoso e execuções precisas.

2.2.1 DIMENSIONAMENTO DAS ESTACAS HCM

As estacas HCM foram escolhidas devido à sua capacidade de suportar grandes cargas verticais e laterais, além de proporcionarem uma fundação estável em terrenos de características geotécnicas variadas. O dimensionamento das estacas levou em conta a profundidade de escavação e os empuxos laterais do solo, que variam ao longo dos 205 metros da Fenda. A escolha do diâmetro e do espaçamento entre as estacas foi

baseada em simulações que previram o comportamento do solo e as interações com as estruturas de concreto.

2.2.2 VIGA DE CABEÇA E DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS

A viga de cabeça foi projetada para redistribuir as cargas horizontais ao longo das estacas, evitando deslocamentos excessivos e garantindo a estabilidade das paredes da Fenda (Fig. 5). Essa viga também atua como suporte para o guarda-corpo e outros elementos arquitetônicos que compõem a Fenda. A construção da viga de cabeça envolveu o uso de concreto de alta resistência, capaz de suportar as tensões acumuladas sem apresentar fissurações ou deslocamentos significativos. Há um grande monumento, estruturado em aço, suportado pelas duas cortinas paralelas que conformam a Fenda.

O piso, em concreto armado, abriga as canaletas de drenagem e é também revestido com CR (Concreto de Rejeito).

2.2.3 REVESTIMENTO E IMPERMEABILIZAÇÃO

O revestimento das paredes com concreto especial desenvolvido a partir dos resíduos da barragem adicionou uma camada de complexidade ao processo de estabilização. A impermeabilização das paredes foi cuidadosamente planejada para evitar infiltrações de água, que poderiam comprometer a durabilidade do concreto ao longo do tempo. A aplicação de camadas adicionais de impermeabilizantes, juntamente com o controle rigoroso da cura do concreto, garantiu que as paredes da Fenda permanecessem intactas e resistentes às condições ambientais.

2.3 O mirante: equilíbrio em balanço

O Mirante, que se projeta sobre o lago em um balanço de 13,60 metros, exigiu um planejamento estrutural meticuloso para garantir a segurança e a estabilidade da estrutura. As vigas invertidas protendidas foram fundamentais para criar o balanço, permitindo que a estrutura suportasse as forças significativas associadas a essa projeção (Fig. 6).

2.3.1 CÁLCULO DAS VIGAS PROTENDIDAS

As vigas protendidas foram dimensionadas para suportar as tensões de compressão e tração geradas pelo balanço. A técnica de protensão, que envolve o tensionamento de cabos de aço dentro do concreto, foi aplicada para aumentar a resistência à flexão das vigas, prevenindo



FIGURA 6

CORTE ESQUEMÁTICO DO PROJETO ESTRUTURAL DO MIRANTE

fissuras e garantindo a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

2.3.2 ALMOFADAS ELASTOMÉRICAS E MOVIMENTAÇÃO TÉRMICA

Nos apoios do balanço, foram instaladas almofadas elastoméricas que permitem a absorção de movimentos e variações térmicas. Essas almofadas são essenciais para minimizar os impactos das dilatações e contrações do concreto devido às mudanças de temperatura, prevenindo danos estruturais e garantindo a estabilidade do Mirante.

2.3.3 USO DE EPS PARA REDUÇÃO DE CARGA

O enchimento com placas de EPS (poliestireno expandido) foi utilizado para reduzir a carga permanente sobre a estrutura, mantendo o equilíbrio do balanço. Essa solução leve e eficiente foi crucial para permitir que o Mirante mantivesse sua forma e funcionalidade sem comprometer a segurança estrutural.

2.4 Espaços memória e testemunho: estruturas enterradas e lajes protendidas

Os espaços Memória e Testemunho, com área total de aproximadamente 620m², estão situados em uma parte enterrada da estrutura. A solução estrutural para essas áreas foi similar à da Fenda, utilizando contenções em concreto armado e estacas do tipo hélice contínua monitorada (HCM). As lajes de cobertura desses espaços foram projetadas para suportar não apenas o peso próprio e as cargas usuais, mas também elevadas sobrecargas provenientes de enchimentos e impermeabilizações, além de cargas acidentais de utilização.

2.4.1 CONTENÇÕES E APOIOS PERIFÉRICOS

As lajes de cobertura dos espaços Memória e Testemunho são suportadas periféricamente pelas contenções de concreto armado, que são ancoradas nas estacas HCM. Essa abordagem foi escolhida para garantir a estabilidade das estruturas enterradas, distribuindo

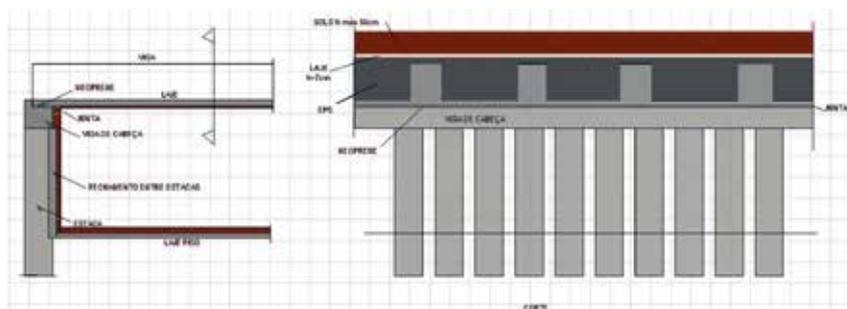


FIGURA 7

CORTE ESQUEMÁTICO DA ESTRUTURA DOS ESPAÇOS MEMÓRIA E TESTEMUNHO

as forças ao longo da viga de cabeça, que conecta os elementos de contenção ao longo do perímetro. A estabilidade lateral é reforçada pela interação entre as estacas e as vigas de cabeça, proporcionando segurança adicional contra empuxos laterais do solo.

2.4.2 VIGAS PROTENDIDAS PARA GRANDES VÃOS

Uma característica notável dos espaços Memória e Testemunho é a utilização de vigas protendidas paralelas para vencer vãos de até 16 metros sem a necessidade de apoios intermediários. Essas vigas são essenciais para suportar os carregamentos significativos impostos sobre as lajes de cobertura, que incluem tanto as cargas permanentes quanto as cargas variáveis resultantes do uso do edifício e da cobertura de solo.

As vigas protendidas permitem que as lajes de cobertura se mantenham estáveis, distribuindo as cargas uniformemente ao longo da estrutura. A protensão, por meio da aplicação de cabos tensionados, aumenta a capacidade de flexão das vigas, prevenindo fissurações e minimizando deformações ao longo do tempo. Essa solução foi escolhida não apenas pela sua eficiência estrutural, mas também por permitir um design arquitetônico limpo, sem a necessidade de pilares que poderiam comprometer o uso do espaço.

2.4.3 APOIOS ELASTOMÉRICOS E CONSOLES PARA MANUTENÇÃO

Os apoios das vigas protendidas são dotados de aparelhos elastoméricos, que

absorvem pequenas variações de movimento e dilatação térmica. Esses aparelhos são posicionados no topo da viga de cabeça, nas estacas que formam a contenção dos espaços enterrados. Além disso, o projeto incluiu a previsão de manutenção e substituição dos elementos elastoméricos. Para facilitar esse processo, foram projetados consoles laterais ao longo das vigas, permitindo que macacos hidráulicos sejam utilizados para elevar as vigas durante eventuais trocas dos apoios elastoméricos. Isso garante que a estrutura possa ser mantida ao longo do tempo sem a necessidade de intervenções invasivas.

2.4.4 REVESTIMENTO DE CONCRETO DE RESÍDUO CIMENTÍCIO (CRC)

Assim como no Pavilhão, as lajes de cobertura dos espaços Memória e Testemunho receberam um revestimento especial na sua face inferior, com 5 cm de espessura de concreto de resíduo cimentício (CRC). O CRC, desenvolvido a partir de resíduos da barragem, confere uma estética única ao espaço, além de proporcionar uma superfície de concreto com boas propriedades de durabilidade e resistência a intempéries. O processo de revestimento foi cuidadosamente executado para garantir que a superfície inferior das lajes refletisse a intenção estética e simbólica do projeto.

2.4.5 ESTRUTURAS AUXILIARES E RESERVATÓRIOS ENTERRADOS

Além dos espaços Memória e Testemunho, o projeto incluiu a construção de diversas estruturas operacionais, como



FIGURA 8

PERSPECTIVA DA FENDA ONDE SE VÊ OS REVESTIMENTOS EM CONCRETO APARENTE COM RESÍDUOS DE MINERAÇÃO

reservatórios enterrados e um edifício de utilidades. Essas estruturas foram integradas ao projeto utilizando as mesmas técnicas de contenção e fundação, com foco na durabilidade e na capacidade de suportar os carregamentos impostos pelas camadas de solo e pela infraestrutura adjacente. Os reservatórios enterrados foram dimensionados para armazenar grandes volumes de água, necessários para o sistema de drenagem e para o espelho d'água do Mirante, garantindo a funcionalidade e a sustentabilidade do conjunto.

3. O OLHAR DO PESQUISADOR: O REVESTIMENTO QUE TRANSFORMA A LAMA EM MEMÓRIA

3.1 Pesquisa e seleção de materiais

Otávio Luiz do Nascimento, mestre e doutor em Ciências dos Materiais, liderou o desenvolvimento do concreto com resíduo cimentício (CRC) utilizado no projeto. O desafio principal foi criar um material que incorporasse os resíduos da barragem de forma eficaz, atendendo às exigências estéticas e estruturais.

3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

O processo de pesquisa começou com a caracterização dos resíduos de mineração, que incluíram análise granulométrica, composição química e propriedades físicas. Essas análises foram essenciais para determinar a viabilidade do uso dos resíduos como agregados na mistura de concreto. Foram realizados ensaios de resistência

à compressão e durabilidade para garantir que os resíduos selecionados atendessem aos padrões exigidos.

3.1.2 SELEÇÃO DE CIMENTOS E ADITIVOS

A escolha do cimento Portland e dos aditivos foi baseada na necessidade de alcançar uma

resistência mínima de 20 MPa, mantendo a trabalhabilidade da mistura. Foram testadas diferentes proporções de cimento, resíduo, areia artificial e brita, com o objetivo de obter a melhor combinação que atendesse às exigências do projeto (Fig. 8). A adição de aditivos superplastificantes e retardadores de pega foi crucial para ajustar o tempo de trabalhabilidade e garantir uma cura adequada do concreto.

3.1.3 DESENVOLVIMENTO DA DOSAGEM

A dosagem final do CRC foi resultado de uma série de testes e ajustes, que levaram em conta fatores como a consistência da mistura, a trabalhabilidade, o tempo de pega e a resistência à compressão. Cada componente foi dosado com precisão para

garantir que o concreto final tivesse as propriedades desejadas em termos de durabilidade, resistência mecânica e estética (Tabela 1). A mistura final apresentou uma tonalidade consistente e uma textura que refletia a origem dos materiais, integrando visualmente o memorial ao ambiente circundante (Fig. 9).

3.2 Processos de produção e aplicação

Após a seleção dos materiais e a definição da dosagem, a produção do CRC foi realizada em condições controladas para garantir a qualidade e a uniformidade do material.

3.2.1 CONTROLE DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO

Durante a produção, foram implementados rigorosos controles de qualidade, incluindo ensaios de consistência, resistência à compressão e absorção de água. Esses testes garantiram que cada lote de CRC atendesse aos padrões estabelecidos, minimizando variações que poderiam comprometer a uniformidade do revestimento.

3.2.2 APLICAÇÃO E CURA DO REVESTIMENTO

A aplicação do CRC foi realizada em camadas controladas, com atenção especial à uniformidade da espessura e à aderência ao substrato. O processo de cura foi monitorado de perto para evitar retração e fissuração, que poderiam comprometer

TABELA 1

CONCRETOS CRC – CONCRETO RESÍDUO CIMENTÍCIO

Numeração	Identificação	Materiais utilizados	Proporção (Kg)
Estudo 1	Concreto CRC Referência	Cimento Portland, Resíduo	1: 3,6
Estudo 2	Concreto CRC 50%/50%	Cimento Portland, Cimento Branco, Resíduo	1: 1: 7,14
Estudo 3	Concreto CRC 100% Branco	Cimento Branco, Resíduo	1: 3,6
Estudo 4	Concreto CRC 10% de Resíduo	Cimento Portland, Resíduo, Areia artificial, Brita 0	1: 0,43: 1,6: 1,6
Estudo 5 Opção Final GPAA	Concreto CRC fck ≥ 20,0 MPa + adição de pigmentos	Cimento Portland CPIII, areia lavada, brita 1 e aditivos (lama + pigmentos + polímeros)	Concreto convencional de Fck ≥ 20, MPa com adição de mistura de lama + pigmentos + polímeros



FIGURA 9
ESTUDO DE TONALIDADE CRC

a durabilidade do revestimento. O uso de técnicas avançadas de cura, como a aplicação de membranas de cura e o controle da umidade, foi fundamental para garantir que o CRC atingisse suas propriedades mecânicas e estéticas ideais.

3.2.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO A LONGO PRAZO

Ensaio de durabilidade foram conduzidos para avaliar o desempenho do CRC ao longo do tempo, considerando fatores como

a exposição a intempéries, variações de temperatura e ataques químicos. Esses ensaios demonstraram que o CRC possui excelente resistência à deterioração, mantendo suas propriedades mecânicas e estéticas mesmo em condições adversas.

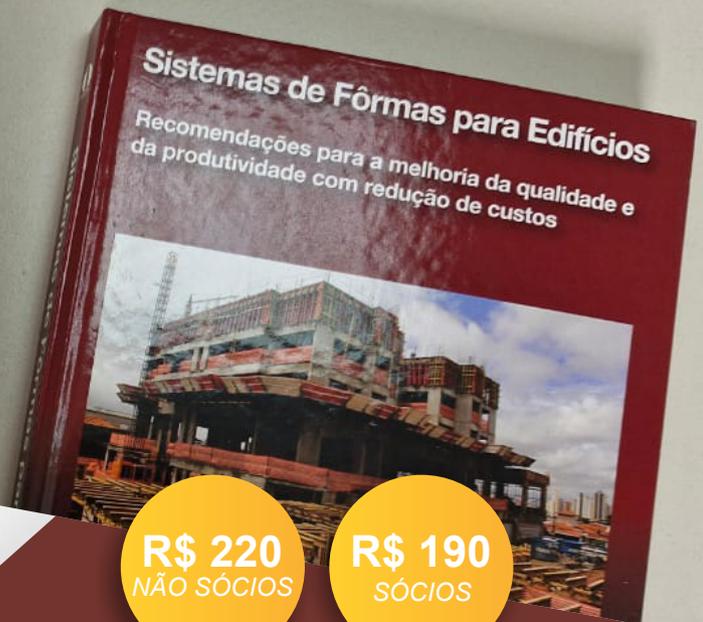
4. CONCLUSÃO

O projeto é uma obra que transcende a arquitetura convencional, transformando-se em um símbolo duradouro de memória, dor e esperança. A utilização do concreto, sob a perspectiva do arquiteto, do calculista e do pesquisador, mostra como este material, frequentemente associado apenas à funcionalidade, pode se tornar um veículo poderoso de expressão emocional e cultural.

O artigo apresentou uma visão técnica detalhada dos desafios e soluções envolvi-

dos na construção do projeto, destacando o papel crucial do cálculo estrutural e do desenvolvimento do concreto de revestimento. Através de um processo rigoroso de pesquisa, modelagem e execução, a equipe conseguiu criar um memorial que não apenas preserva a memória das vítimas, mas também serve como um exemplo de inovação e sustentabilidade na construção civil.

Este memorial não apenas preserva a história, mas também oferece um espaço para reflexão, lembrança e renovação. Ele demonstra como a engenharia e a arte podem se unir para criar algo verdadeiramente significativo, onde cada parede, cada superfície, cada detalhe arquitetônico serve como um lembrete constante da tragédia e da força resiliente daqueles que foram impactados por ela. Ao transformar os materiais do desastre em componentes da construção, o projeto não só honra as vítimas, mas também serve como um símbolo de esperança e continuidade, mostrando que, mesmo diante da devastação, é possível construir um futuro com base no respeito, na memória e na determinação de nunca esquecer. ☹



COMBO
Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais + Sistemas de Fôrmas para Edifícios

R\$ 220
NÃO SÓCIOS

R\$ 190
SÓCIOS

ibracon.org.br/loja

O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É QUEM RECEBE O PRESENTE!



Concurso para projetos de intervenções em patrimônios culturais

Os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo de Minas Gerais (CAU/MG), Pernambuco (CAU/PE) e Rio de Janeiro (CAU/RJ) lançaram o concurso “Intervenções Contemporâneas em Bens Construídos Protegidos”.

“O objetivo deste concurso é incentivar uma reflexão e valorização de boas práticas profissionais e fomentar a formação e o aperfeiçoamento na elaboração de projetos de intervenção no patrimônio cultural protegido, com vistas a fomentar a participação de todos os profissionais nessa reflexão,” destacou Roberto Salomão, Presidente do CAU/PE.

Podem participar do concurso profis-

sionais de arquitetura e urbanismo com cadastro ativo em um dos CAU/UF organizadores (MG/PE/RJ), de forma individual ou coletiva, e estudantes de graduação ou pós-graduação de todo o Brasil, desde que sob a orientação de um professor registrado em um dos CAU organizadores.

O concurso está dividido em duas modalidades: a Modalidade Profissional, destinada a profissionais de arquitetura e urbanismo registrados nos CAUs de Minas Gerais, Pernambuco ou Rio de Janeiro, com duas categorias - projetos ou propostas de ideias de intervenção em bens com preexistência patrimonial, vinculada ou não a uma obra a executar, em execução ou já

executada; e a Modalidade Estudante, subdividida em dois grupos - estudantes de graduação dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, e estudantes de pós-graduação na área da Conservação e Restauração do Patrimônio Edificado ou similar.

Cecília Fraga de Moraes Galvani, presidente do CAU/MG, ressaltou a importância da parceria: “Este concurso é resultado de uma colaboração estratégica entre os CAU de Minas Gerais, Pernambuco e Rio de Janeiro, visando promover a valorização do exercício profissional no campo da intervenção em bens construídos protegidos, bem como chamar a atenção da sociedade para uma reflexão conjunta sobre essa prática em nossas cidades.”

Os trabalhos vencedores em cada modalidade e grupo serão premiados na Modalidade Profissional com o primeiro colocado recebendo o prêmio de R\$ 16 mil e o segundo colocado recebendo R\$ 8 mil. Na Modalidade Estudante, o Grupo Estudante de Graduação receberá R\$ 3 mil e o Grupo Estudante de Pós-graduação receberá R\$ 5 mil.

As inscrições podem ser feitas até 18 de outubro de 2024 e devem seguir as diretrizes estabelecidas no edital, disponível nos sites dos CAUs organizadores. A divulgação do resultado preliminar será feita até 14 de novembro nos sites dos CAU promotores e do CAU/BR. A avaliação será realizada por uma comissão julgadora composta por renomados profissionais da área e a premiação ocorrerá na semana do Dia do Arquiteto, em dezembro, na cidade do Rio de Janeiro.

Sydnei Dias Menezes, Presidente do CAU/RJ, explicou a importância do acordo técnico entre os CAUs: “Este acordo de cooperação técnica entre os CAU de Minas Gerais, Pernambuco e Rio de Janeiro fortalece a colaboração entre os profissionais de arquitetura e urbanismo, promovendo a troca de conhecimentos e experiências na preservação do patrimônio cultural, em estados com forte tradição na proteção de bens culturais construídos.”



Seminário “Legados e lições: um olhar sobre os 60 anos da Carta de Veneza”, onde foi assinada a cooperação técnica entre os CAUs que deu origem ao concurso

Propriedades e aspectos do concreto aparente do patrimônio da arquitetura moderna brasileira

CLAUDIA DE A. OLIVEIRA - DRA. - <https://orcid.org/0000-0002-8628-3130> (ctao@usp.br) | FAUUSP

TATIANA R. DA S. SIMÃO - DRA. - <https://orcid.org/0000-0002-8152-3035> | IFSP

VALDECIR A. QUARCIONI - Dr. - <https://orcid.org/0000-0003-0840-4758> ;

ADRIANA DE ARAÚJO - MESTRE - <https://orcid.org/0000-0003-4967-5562> | IPT

RESUMO

OBJETIVO DO ESTUDO É INVESTIGAR PROPRIEDADES E ASPECTOS DO CONCRETO APARENTE DAS EMPENAS DO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS E CORRELACIONÁ-LOS AO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, VISANDO OFERECER SUBSÍDIOS PARA PRESERVAÇÃO. O EDIFÍCIO COMPLETOU 50 ANOS EM 2019 E FOI SUBMETIDO A REPAROS ESTRUTURAIS RECENTEMENTE (2013-2015). ENSAIOS LABORATORIAIS E OBSERVAÇÕES “*IN LOCO*” FORAM REALIZADAS, ALÉM DA EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS. A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO FOI 38 MPa, COM RELAÇÃO MÉDIA LIGANTE:AGREGADOS 1:4 E CONSUMO DE CIMENTO ENTRE 409 A 424 kg/m³. ESCÓRIA ANIDRA E GRÃOS DE CLÍNQUER, NOTADAMENTE GRÃOS DE BELITA, FORAM DETECTADOS. HÁ EVIDÊNCIAS DE PIRITA Sã NOS AGREGADOS. A FRENTE DE CARBONATAÇÃO VARIOU ENTRE 1-2 MM E 20-25 MM. ANÁLISES REVELARAM CONCRETO DE BOA QUALIDADE, SEM EVIDÊNCIAS DE DEGRADAÇÃO INTERNA, MAS COM CAMADA SUPERFICIAL MUITO POROSA. A CONSERVAÇÃO REQUER AÇÕES POUCO INVASIVAS, COM USO DE INIBIDORES DE CORROSÃO IMPREGNANTES E HIDROFUGANTES, BUSCANDO-SE A REINTEGRAÇÃO VISUAL DOS REPAROS ÀS EMPENAS.

PALAVRAS-CHAVE: CONSERVAÇÃO DO CONCRETO APARENTE, MICROESTRUTURA, CARBONATAÇÃO, CORROSÃO DE ARMADURAS.

1. INTRODUÇÃO

No campo da conservação do patrimônio arquitetônico do século XX, a reabilitação das estruturas de concreto aparente com superfície marcada pelas fôrmas de madeira no seu estado bruto, típicas da Arquitetura Moderna, é um desafio enfrentado mundialmente por



A



B

FIGURA 1

(A) VISTA PARCIAL DA FACHADA SUDOESTE (SO) DO EDIFÍCIO APÓS INTERVENÇÃO (2013 A 2015); (B) VISTA PARCIAL DE EMPENA, COM PRESENÇA DE MANCHAS DE CORROSÃO E DE REPAROS QUE CONTRASTAM COM O CONCRETO ORIGINAL

Fotos: CLAUDIA OLIVEIRA, 2021

técnicos e pesquisadores. Paradoxalmente, os atributos que determinam alguns dos seus valores culturais – textura superficial – são fatores agravantes da corrosão das armaduras, uma das causas predominantes da deterioração precoce dessas estruturas, sendo comum a reincidência de manifestações patológicas após intervenções.

Um exemplo é o edifício Vilanova Artigas, sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP (Figura 1a), ícone da Arquitetura Moderna Brasileira e tombado pelo CONDEPHAAT e CONPRESP. O edifício completou 50 anos de serviço em fevereiro de 2019, mas as empenas ficaram, por décadas, sem qualquer sistema de proteção. Apesar de ter sofrido intervenções mais recentes (2013 a 2015) para reparos estruturais localiza-

dos, obras de manutenção corretiva são necessárias. A Figura 1b ilustra as características do concreto aparente que aumentam a suscetibilidade à carbonatação e à retenção superficial de água e sujidade. Associadas à variável espessura de cobertura das armaduras, à exposição à chuva dirigida e a longos períodos de umedecimento, essas condições levaram à corrosão precoce por carbonatação. Os reparos realizados necessitam de correção, tanto pela reincidência de focos de corrosão como por motivos estéticos (cor e textura), por produzirem uma visão fragmentada e incompatível com os princípios da conservação do patrimônio.

Neste contexto, o objetivo do estudo foi investigar as propriedades e aspectos do concreto aparente das empenas do edifício e correlacioná-los ao atual



FIGURA 2

TESTEMUNHOS APÓS ASPERSÃO DE FENOLFTALEÍNA. (A) EMPENA NO; (B) EMPENA NE; (C) DETALHE DO TESTEMUNHO DA NE NA FACE INTERNA DA EMPENA; (D) DETALHE DO TESTEMUNHO NE NA FACE EXTERNA DA EMPENA

Fotos: EQUIPE CONSERVAFAU, 2017

estado de conservação, visando oferecer subsídios para a sua preservação.

2. MÉTODOS

A investigação de bens tombados requer cuidados rigorosos, impostos com restrições dos órgãos de proteção patrimonial para evitar danos e perda de valores culturais. Essas restrições limitaram a extração de apenas 4 testemunhos com diâmetro de 5 cm e profundidade de 20 cm, valor que corresponde à largura das empenas. As empenas Noroeste (NO) e Nordeste (NE) foram escolhidas para essas extrações por apresentarem, respectivamente, a menor e a maior área de reparos estruturais localizados. A campanha de ensaios incluiu o levantamento das condições climáticas da região, o mapeamento dos reparos nas empenas por meio de escaneamento a laser 3D, dentre outras investigações em campo cujos resultados constam em [1] e [2]. Em laboratório foram realizados ensaios de resistência a compressão e de caracterização do concreto nos testemunhos das empenas NO e NE [3]. Logo após a extração os testemunhos foram examinados visualmente e a frente de carbonatação foi medida pelo ensaio qualitativo com solução de fenolftaleína (Figura 2).

Posteriormente a essa campanha, amostras foram coletadas nos testemunhos para análise da morfologia, da composição e da porosidade no concreto. Para

a análise microscópica foram utilizados microscópio óptico de luz transmitida e refletida (Leica MD4500P) e microscópio eletrônico de varredura - MEV (QUANTA 3D FEG) com detector de elétrons retroespalhados (BDES). A porosimetria de intrusão de mercúrio (PIM) foi conduzida no porosímetro Micromeritics AutoPore IV, de acordo com a norma ISO 15901-1/05. Foram seguidas recomendações encontradas em [4] de que, em razão das limitações da PIM, a técnica deve ser usada para estudos comparativos do volume de poros preenchidos com mercúrio (porosidade total medida pela técnica) e do diâmetro limite ("threshold diameter").

3. RESULTADOS

3.1 Dados de referência

Com base em séries históricas (1967 a 2015) de monitoramento das condi-

ções ambientais da região, verificou-se que a precipitação média variou entre 36,4 mm (Ago) e 256,2 mm (Jan); a umidade relativa média de 65 % a 85 % e a temperatura média entre 15 °C e 25 °C. Nas últimas décadas, houve um perceptível aumento da frequência e intensidade das precipitações, o que é corroborado por estudo recente [5].

No entorno do edifício, há densa massa arbórea que favorece a formação de microclima com umidade relativa acima de 80%. A proximidade da vegetação, especialmente da empena NE, mantém a superfície do concreto umedecida por longos períodos. A região é rota de tráfego intenso, onde o principal poluente do ar é o monóxido de carbono (CO), cuja concentração variou de 20.381 a 2.862,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 1981 a 2015. No mesmo período, a concentração de dióxido de enxofre (SO_2) variou de 242 a 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Tabela 1 traz resultados do mapeamento dos reparos. O maior percentual de área de reparos na empena NE deriva de dois fatores: frente de carbonatação supera o cobrimento das armaduras e concreto exposto ao maior período de umedecimento. Na empena NO, com menor área de reparos, foi detectado menor avanço da frente de carbonatação.

A Tabela 2 apresenta resultados de ensaios nas amostras dos testemunhos. A resistência à compressão inferida foi de, aproximadamente, 38 MPa para as duas empenas. Verificou-se elevado consumo de cimento, consumo típico dos traços de concreto aparente à época. A relação ligante:agregados foi próxima, com variação no diâmetro máximo de agregado graúdo entre as

TABELA 1

QUANTIFICAÇÃO DOS REPAROS ESTRUTURAIS NAS EMPENAS

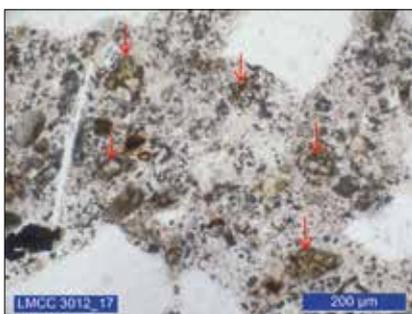
Orientação	Área da empena (m ²)	Área dos reparos (m ²)	Perímetro dos reparos (m)	Área dos reparos/área da empena (%)
NO	588,6	94,2	577,1	16,0
NE	909,9	333,4	1.349,7	36,6
SO	992,9	162,7	945,8	16,4
SE	588,1	140,7	686,1	23,9
Total	3.079,6	731,0	3.558,6	—

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO DOS TESTEMUNHOS

	Empena NO	Empena NE
Resistência à compressão (MPa) ^(a)	38,2 (3; 4,3) ^(b)	38,0 (3; 5,3) ^(b)
Relação ligante:agregados (massa) ^(c)	1:3,9	1:4,1
Consumo de cimento (kg/m ³) ^(c)	424	409
Ø do agregado miúdo (predominância de quartzo) (mm)	0,15 a 2,5	
Ø máximo do agregado graúdo (predominância de gnaisses) (mm)	30	20
Frete de carbonatação (mm)	face externa: 1 a 2 face interna: 14 a 18	face externa: 20 a 25 face interna: 30 a 35

^(a) ENSAIOS REALIZADO DE ACORDO COM NBR 5739 (ABNT, 2007); ^(b) (X; Y) NÚMERO DE CPs; DESVIO-PADRÃO; ^(c) RESULTADOS DE RECONSTITUIÇÃO DO TRACO OBTIDOS DE ACORDO COM PROCEDIMENTO IPT (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-042) E ADOTANDO-SE RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO (A/C) 0,5 E ÍNDICE DE VAZIOS 2%.



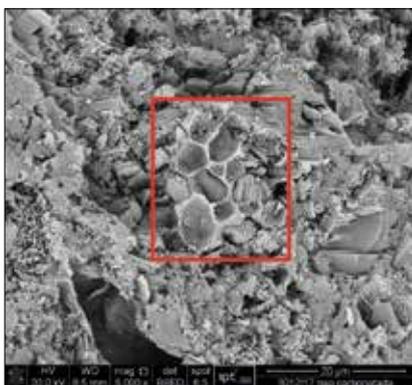
A



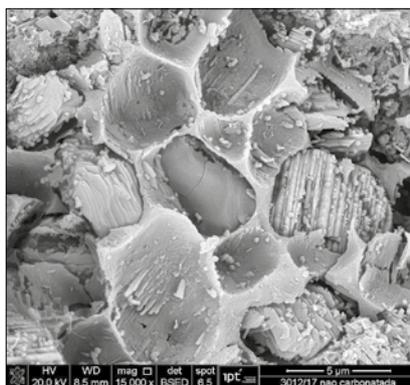
B

FIGURA 3

IMAGENS DA MICROSCOPIA ÓPTICA DE AMOSTRA NÃO CARBONATADA DO CONCRETO DA EMPINA NO. (A) NÚCLEOS ABUNDANTES DE CLÍNQUER ANIDRO (SETAS VERMELHAS); (B) ESCÓRIA COM HALO FERRUGINOSO (SETA VERMELHA)



A Ampliação 5,000X



B Ampliação 15,000X

FIGURA 4

IMAGENS DO MEV DO CONCRETO DA EMPINA NO. (A) CONJUNTO DE GRÃOS DE BELITA (DESTAQUE EM VERMELHO); (B) AMPLIAÇÃO DA IMAGEM ANTERIOR, COM GRÃOS DE BELITA TOTAL OU PARCIALMENTE HIDRATADOS

duas empenas, assim como nas frentes de carbonatação. Inspeção realizada na face externa das empenas confirmou variações da frente de carbonatação, bem como regiões com armadura em estado ativo de corrosão e pequeno cobrimento (≤ 10 mm). A fôrma de madeira bruta, usada na face externa das empenas, produziu uma superfície (2 ou 3 mm de espessura) com menor compacidade que se distingue visualmente das camadas mais profundas (Figura 2d). A face interna tem acabamento liso (Figura 2c) em razão da fôrma utilizada.

3.2 Aspectos morfológicos e composição da estrutura do concreto

Na Figura 3a observa-se abundantes grãos de clínquer anidros ou parcialmente hidratados, com destaque para núcleos belíticos, mas com presença de alita e brownmillerita. Grãos anidros de escória ou parcialmente hidratados também foram detectados (Figura 3b).

A presença de grãos anidros ou parcialmente hidratados foi igualmente evidenciada em imagens de MEV, como ilustrado na Figura 4. A abundância de grãos de belita (solução sólida de silicato dicálcico – Ca_2SiO_4 e presença de fases subordinadas) sugere que o cimento Portland da época tinha maior teor de silicato dicálcico do que atualmente. Como apontado em revisão bibliográfica [6], a redução do teor de silicato dicálcico no clínquer, ao longo de décadas, visou atender a demandas da indústria da construção para aumentar a resistência do concreto nas primeiras idades.

Outros compostos abundantes visualizados, como esperado, foram portlandita (CH) e silicato de cálcio hidratado (CSH), além de calcita (CC). Aspectos morfológicos desses compostos podem ser observados na Figura 5.

Na matriz cimentícia dos testemunhos foram identificados cristais de etringita, mas sem evidências de microfissuras internas. Como não foram detectadas fontes externas de sulfato, nem evidências de adições contendo sulfato, uma hipótese é de formação de etringita tardia (*Delayed Ettringite Formation* – DEF)

pela presença de sulfeto no agregado. Essa hipótese é coerente com vestígios de pirita (FeS_2) detectados na análise de microscopia óptica (Figuras 6a e 6b). Estudos [7] evidenciam ocorrências de DEF em concretos produzidos com agregado contendo pirita.

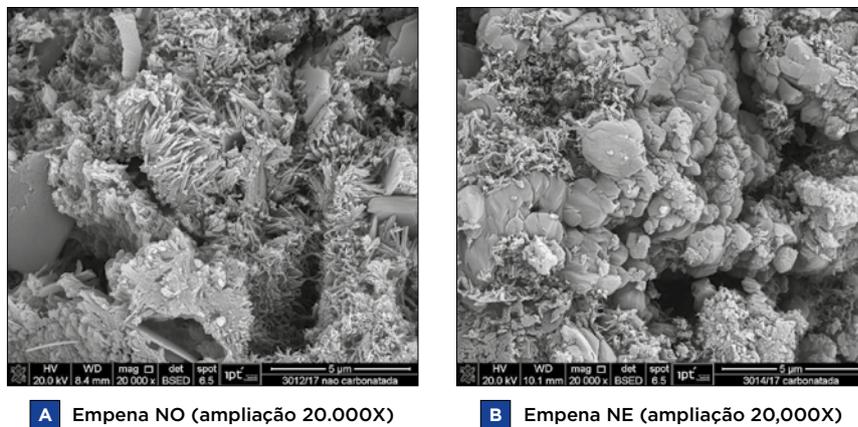
Em pesquisas de [8] e [9] há relatos do aparecimento de manchas atípicas na superfície do concreto que se assemelham a manchas da corrosão do aço, resultantes da presença da pirita como impureza natural nos agregados. Manchas com essa configuração também foram detectadas durante o exame visual das empenas (Figuras 6c e 6d).

A Figura 7 apresenta imagens em MEV das faces externas das empenas e mostram que a pasta na empena NE é visivelmente mais porosa do que na empena NO. A amostra da empena NO possui poros dispersos na matriz, possivelmente com menor conexão se comparada à amostra da empena NE. A configuração de vazios sugere ocorrência de lixiviação da pasta de cimento, com maior incidência na empena NE, em superfície que esteve por muito tempo desprotegida. A lixiviação pode ser efeito da ação pluvial.

3.3 Aspectos da porosidade

Nas Figuras 8a e 8b constam as curvas que representam a relação entre a abertura dos poros (dada pelo seu diâmetro equivalente) e o volume acumulado intrudido nas amostras. O “*threshold diameter*” (d_{th}) é identificado como a abertura de poro a partir do qual se estabelece o expressivo aumento do volume intrudido na amostra, como descrito em [10].

Para a empena NO, as amostras foram extraídas da face interna do testemunho. Desse modo, a análise comparativa foi feita com base na provável influência da carbonatação na modificação da estrutura interna do concreto. O comportamento das curvas da Figura 8a sugere que a carbonatação, praticamente, não influenciou o d_{th} (redução de 0,95 para 0,75 μm) na empena NO; porém, o volume de mercúrio intrudido foi reduzido com a carbonatação de 0,050 para 0,037 mL/g, e a porosidade total de 11,6% para 9,1%.

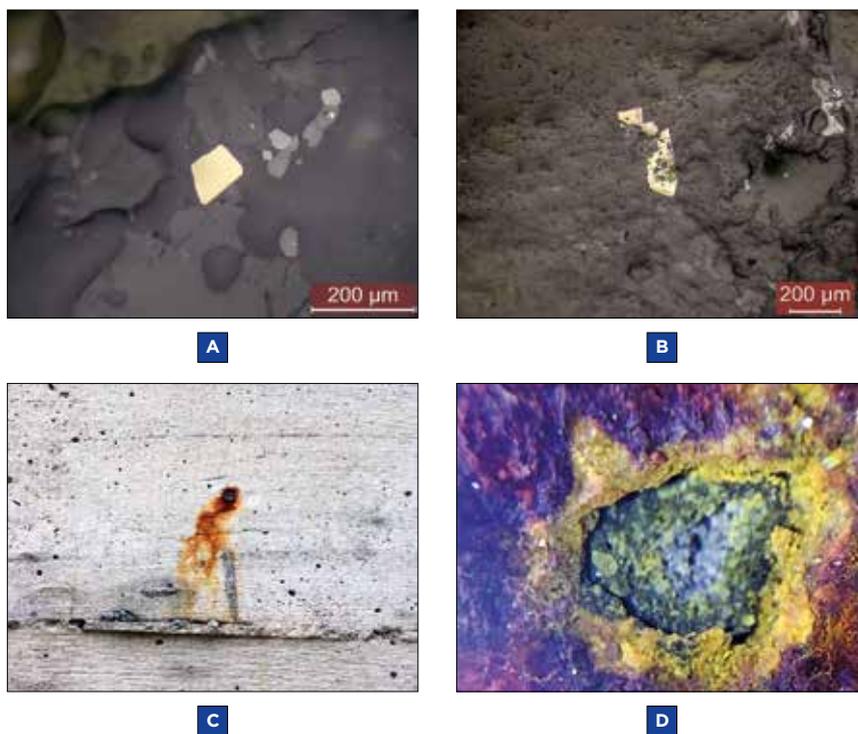


A Empena NO (ampliação 20.000X)

B Empena NE (ampliação 20,000X)

FIGURA 5

VISUALIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE FRATURADA. (A) AMOSTRA DA FACHADA NO, REGIÃO NÃO CARBONATADA, DETALHES DAS CARACTERÍSTICAS DOS CRISTAIS CH E CSH. CONJUNTO DE ROSETAS OU ESFERULITOS FIBROSOS RADIANTES DE CSH, MACIÇO DE CSH E CH; (B) AMOSTRA DA FACHADA NE, REGIÃO CARBONATADA, ZONA MICROPOROSA COM CRISTAIS TABULARES DE CARBONADO DE CÁLCIO E CSH FIBROSO.



A

B

C

D

FIGURA 6

(A) E (B) IMAGENS DA MICROSCOPIA ÓPTICA COM PRESENÇA DE CRISTAIS DE PIRITA (FeS_2) NA FACE EXTERNA DOS TESTEMUNHOS DAS EMPENAS NO E NE, RESPECTIVAMENTE; (C) MANCHA ATÍPICA COM DEPÓSITO DE PRODUTOS DE CORROSÃO NA EMPENA NE; (D) AMPLIAÇÃO DO PONTO DE ORIGEM DA MANCHA EM (C)

FOTOS: CLAUDIA OLIVEIRA, 2017

Para a empena NE (Figura 8b) - cujas amostras foram extraídas da face externa do testemunho (descartando-se a camada superficial de 2 a 3 mm) - a carbonatação resultou no deslocamento de d_{th} para valores menores, aproximadamente, de 4,0 para 0,9 μm . Isso reduziu o volume de mercúrio intrudido de 0,053 a 0,032 mL/g e a porosidade total de 11,9% para 7,5 %.

Os resultados de porosidade e volume de mercúrio intrudido nas amostras das empenas são compatíveis com valores apresentados para concretos com grande volume de poros acima de 0,05 μm

(50 nm) [10], o que impactam a permeabilidade do material.

4. DISCUSSÕES FINAIS

A camada porosa das empenas é observável, em média, até 3 mm de profundidade, condição que impacta a absorção e retenção de água e, conseqüentemente, a durabilidade. Medições em campo levaram às constatações de que a frente de carbonatação é variável entre as faces externas das empenas e que, frequentemente, a profundidade da frente de carbonatação supera o co-

brimento das armaduras. A redução da porosidade pela carbonatação é mensurável, mas não afeta, significativamente, o volume de poros que mais impactam a permeabilidade do concreto.

As análises indicam que diferentes composições de concreto foram usadas, com elevado consumo de cimento (superior a 400kg/m³ e comumente usado à época para estruturas de concreto aparente), com areia quartzosa e predominância de agregados graúdos de origem metamórfica (gnaisse). O elevado teor de grãos anidros, especialmente núcleos de belita, sugerem que a hidratação lenta do dissilicato de cálcio levou à densificação da matriz cimentícia contribuindo para a durabilidade. Foi registrado um percentual de substituição de, aproximadamente, 24% do concreto da face externa das empenas por argamassa de reparo. Em termos práticos, pode-se considerar o concreto aparente de boa qualidade, visto que a estrutura permaneceu, durante décadas, sem proteção contra o intemperismo e o ingresso de CO₂.

No entanto, dadas as evidências do quadro patológico, com destaque ao estado ativo de corrosão das armaduras, mesmo após campanha de intervenção, sugere-se como opções de proteção do concreto privilegiar produtos inibidores de corrosão impregnantes e/ou hidrofugantes com elevada capacidade de penetração, opções que preservam a textura única das empenas.

Na especificação dos novos reparos estruturais - localização das áreas a serem reparadas, tipo de argamassa, preparo do substrato - é importante considerar as evidências trazidas pelo estudo quanto à natureza dos agregados, às características dos traços, às manchas atípicas de corrosão provavelmente atribuídas à presença de pirita. Destaque é feito a textura e porosidade superficiais que interferem na percepção das feições das fachadas do edifício. Tais parâmetros são importantes no planejamento da reintegração visual dos reparos às empenas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Getty (The Getty Foundation) pelo apoio financeiro. ☺

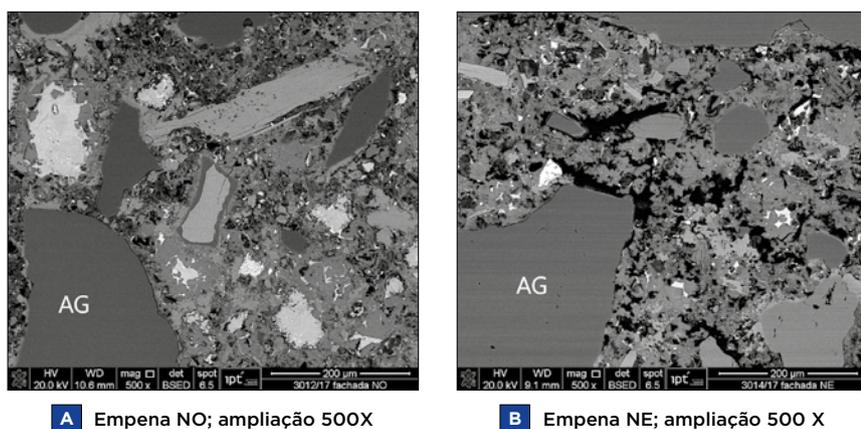


FIGURA 7

SEÇÃO POLIDA DAS AMOSTRAS DA FACE EXTERNA DAS EMPENAS MOSTRANDO SINAIS DE LIXIVIAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO. AS ÁREAS PRETAS INDICAM VAZIOS, COM FORMATOS E TAMANHOS VARIADOS (AG: AGREGADO). EM (A), NO CENTRO DA IMAGEM, UM PROVÁVEL GRÃO DE ESCÓRIA COM HALO DELGADO DE HIDRATAÇÃO. OS GRÃOS MAIS CLAROS CORRESPONDEM A GRÃOS DE CLÍNQUER PARCIALMENTE HIDRATADOS

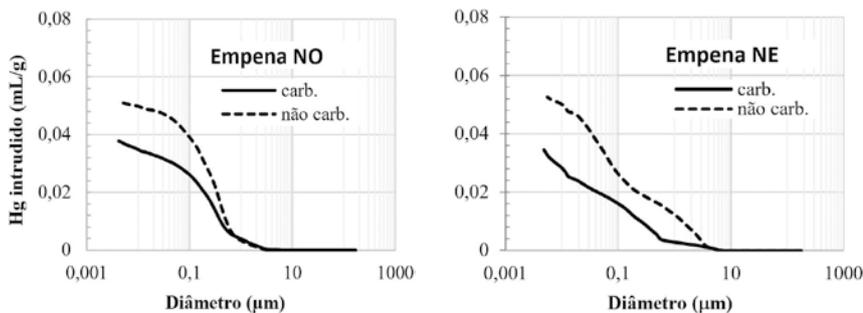


FIGURA 8

CURVAS QUE REPRESENTAM A RELAÇÃO ENTRE A ABERTURA DOS POROS (DADA PELO SEU DIÂMETRO EQUIVALENTE) E O VOLUME ACUMULADO DE MERCÚRIO INTRUDIDO (ML/G)

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, A. de; OLIVEIRA, C. de A.; SIMÃO, T. R. S. Current condition of the exposed concrete façades reinforcement of the Vilanova Artigas building: modern architectural heritage. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.14, p.1 - 14, 2021. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952021000100013>.
- [2] OLIVEIRA, C. de A. et al. Task 3: Characteristics and conservation of the exposed reinforced concrete of the Vilanova Artigas Building (FAUUSP). In: PINHEIRO, M. L. (Org.) et al. Subsidies for a Conservation Management Plan Vilanova Artigas Building (School of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo - FAUUSP). Final Report. Keeping it Modern Program. The Getty Foundation. 2018. p. 203 - 345. Available from: https://www.getty.edu/foundation/initiatives/current/keeping_it_modern/report_library/vilanova_artigas.html?q={}.
- [3] LEAL, P. R. M., SANTOS, R. F. C.. Caracterização de Amostras de concreto aparente extraído da fachada e da cobertura do edifício Vilanova Artigas da FAU-USP. São Paulo: IPT, 2018. 55 p. (Relatório Técnico IPT 151.683-205).
- [4] DIAMOND, Sidney. Mercury porosimetry an inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based materials. Cement and Concrete Research, v.30, p. 1517 - 1525, 2000.
- [5] MARENGO, J. A. et al, Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review, Annals of the New York Academy of Sciences. 2020, p. 1-16. DOI: 10.1111/nyas.14307.
- [6] NATALLI, J. F.; THOMAZ, E. C. S.; MENDES, J. C.; PEIXOTO, R. A. F. A review on the evolution of Portland cement and chemical admixtures in Brazil. Rev. IBRACON Estrut. Mater., vol. 14, no. 6, e14603, 2021.
- [7] CAPRARO, A. P. B et al., I. C. de. Internal attack by sulphates in cement pastes and mortars dosed with different levels of pyrite. J. Build. Rehabil. 2:7, 2017. <https://doi.org/10.1007/s41024-017-0026-9>.
- [8] DOUGLAS, Stephen. A concrete performance: conservation at the National Theatre. Engineering History and Heritage. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. v. 169, issue EH1, February, 2016, p. 36-4. <http://dx.doi.org/10.1680/jenhh.15.00009>.
- [9] JANA, Dipayan. Concrete deterioration from pyrite staining, sewer gases, and chimney flue gases: case studies showing microstructural similarities. CONFERENCE ON CEMENT MICROSCOPY, 30th, Reno, Nevada. Proceedings... 2008 p. 1-23.
- [10] CHEN, Y.; AL-NESHAWY, F.; PUNKKI, J. Investigation on the effect of entrained air on pore structure in hardened concrete using MIP. Construction and Building Materials, v. 292, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123441>.

Durabilidade do Concreto

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

COLEÇÃO ESTRUTURAS DE CONCRETO
Estruturas de Concreto
Volume 1 - Capítulos Básicos
1ª edição

COLEÇÃO ESTRUTURAS DE CONCRETO
Estruturas de Concreto Armado
Volume 2 - Capítulos Básicos B10 a B18
1ª edição

COMBO

Estruturas de Concreto Armado - Vol1 e Vol2
+ Durabilidade do Concreto: Bases Científicas
para a Formulação de Concretos Duráveis de
Acordo com o Ambiente Tardia(DEF)

R\$ 450
NÃO SÓCIOS

R\$ 300
SÓCIOS

ibracon.org.br/loja

O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É
QUEM RECEBE O PRESENTE!



Concreto colorido: avaliação da tecnologia do concreto com a adição de pigmentos químicos

ROBERTO MUELLER BOHRER - T^{ÉC.} - (RobertoBohrer@feevale.br)

JULIANA A. DE L. S. NIEMCZEWSKI - PROF. - (juliananiemczews@feevale.br) – Universidade Feevale

RESUMO

O CONCRETO PIGMENTADO OFERECE UMA VARIEDADE DE CORES ALÉM DO CINZA TRADICIONAL, PERMITINDO PROJETOS MAIS ESPECÍFICOS. NESTE ARTIGO, FORAM PRODUZIDOS CONCRETOS COLORIDOS COM ÓXIDOS DE FERRO E CROMO, COM TEORES DE PIGMENTO DE 2%, 4% E 6% EM RELAÇÃO À MASSA DO CIMENTO. AS AMOSTRAS FORAM ANALISADAS QUANTO À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, TRAÇÃO NA FLEXÃO, ABSORÇÃO DE ÁGUA, RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO UV E COLORIMETRIA. OS RESULTADOS INDICARAM QUE OS PIGMENTOS DE ÓXIDO DE FERRO FORAM SATISFATÓRIOS EM TERMOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA, ABSORÇÃO DE ÁGUA E DURABILIDADE, ENQUANTO O PIGMENTO DE ÓXIDO DE CROMO TEVE IMPACTO NEGATIVO SIGNIFICATIVO NOS PARÂMETROS ANALISADOS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO COLORIDO, PIGMENTOS, DOSAGEM, RESISTÊNCIA, COLORIMETRIA.

1. INTRODUÇÃO

O concreto pigmentado oferece versatilidade de cores, permitindo novas criações e valorizando estruturas, mantendo suas propriedades mecânicas e atendendo às demandas do mercado (Mendonça, 2018). Com o aumento da adoção do concreto aparente, há uma necessidade crescente de técnicas e materiais que garantam o efeito estético desejado, tornando a cor um aspecto crucial de qualidade e seu controle indispensável (Gonçalves *et al.*, 2018).

Em relação a critérios normativos, a norma ASMT C979/2016 apresenta especificações padrões para pigmentos em concreto. Entre os critérios, destaca-se o teor máximo de pigmento para o concreto sendo igual ou inferior a 10% da massa de cimento. Além disso, quando

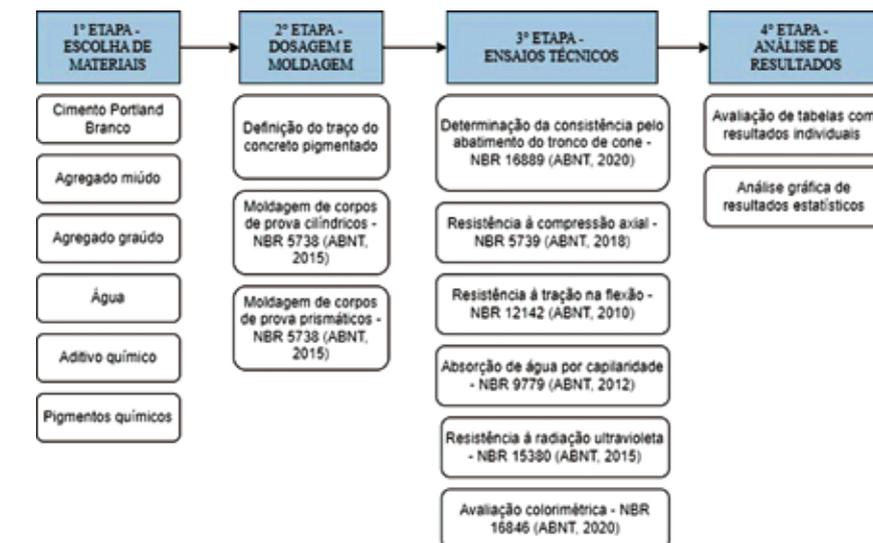


FIGURA 1

FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

comparado com a mistura referência, o concreto pigmentado deverá ter uma resistência à compressão, aos 28 dias, não inferior a 90% e uma relação água-cimento não superior a 110%.

Piovesan (2009) analisou concretos com pigmentos de óxido de ferro (vermelho) e óxido de cromo (verde), utilizando o traço 1:1,5:3 e relações a/c de 0,40, 0,55 e 0,70, além de teores de pigmento de 3%, 6% e 10%. A autora constatou que, para a resistência à compressão, a relação a/c de 0,40 e teores de 3% e 6% de óxido de ferro (vermelho) resultaram em maiores resistências, superando o concreto de referência. Para o óxido de cromo (verde), a relação a/c de 0,40 mostrou resistência à compressão equivalente ao concreto de referência. Na

absorção por capilaridade, os concretos pigmentados absorveram menos água.

Similarmente, Consani (2022) analisou concretos com relação a/c de 0,40 e pigmentos de hidróxido de ferro (amarelo), óxido de cobalto (azul) e óxido de cromo (verde), com teor fixo de 5% e traço de 1:2,37:2,57. A autora observou aumento na resistência à compressão aos 7 dias. Aos 28 dias, houve uma redução de cerca de 4 MPa nos concretos azul e verde, mas um ganho de 1 MPa no concreto amarelo em comparação ao concreto de referência. Os testes de absorção de água indicaram que os pigmentos não afetaram a permeabilidade e a porosidade.

Além disso, Consani (2022) realizou ensaios de envelhecimento da cor em

TABELA 1

MATERIAIS CONSTITUINTES

Componente	Tipo	Propriedades	
		Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
Cimento Portland	Branco - 40 MPa	3,05	—
Agregado miúdo	Dmáx. = 4,75 mm; MF = 2,41	2,62	1,62
Agregado graúdo	Dmáx. = 12,5 mm; MF = 6,26	2,84	1,58
Aditivo químico	Redutor de água do tipo 2	—	—

Nota: DMÁX = DIÂMETRO MÁXIMO; MF = MÓDULO DE FINURA.

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DOS PIGMENTOS QUÍMICOS

Componente	Cor	Estado físico	Massa específica (g/cm ³)
Óxido de ferro (A)	Vermelho	Sólido (Pó)	5,20
Óxido de ferro (B)	Amarelo		5,22
Óxido de cromo (C)	Verde		5,23

concretos. Os resultados indicaram que tanto o concreto de referência quanto o com hidróxido de ferro não apresentaram mudanças perceptíveis até 900 horas na Câmara UV. No entanto, após 1200 horas, a alteração de cor torna-se visível, com desbotamento completo em 3000 horas, equivalente a 10 anos de exposição natural. O concreto com pigmento de óxido de cromo também apresentou alterações significativas, especialmente nas primeiras 400 horas de exposição.

Este artigo tem como objetivo analisar a influência das propriedades de concretos coloridos nos estados fresco e endurecido, produzidos com diferentes tipos de pigmentos químicos. Para esse propósito, foram realizadas verificações de consistência, ensaios de resistência à compressão e tração na flexão, exposições à luz ultravioleta em laboratório com medições e registros fotográficos, além de avaliações da absorção de água e análises colorimétricas das mudanças de tonalidade.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental iniciou pela caracterização dos materiais, com seguimento na moldagem de corpos de prova. Após isto, foram realizados ensaios de resistência à compressão axial (7 e 28 dias), ensaios de resistência à tração na flexão,

absorção de água e envelhecimento acelerado por radiação ultravioleta, aos 28 dias, além da análise colorimétrica.

Todos os procedimentos foram realizados nos Laboratórios de Técnicas Construtivas e de Estudos Avançados de Materiais da Universidade Feevale, conforme o planejamento experimental descrito no fluxograma da Figura 1.

Para viabilizar a comparação, foram produzidos concretos com 0% (referência), 2%, 4% e 6% de pigmentos em relação à massa do cimento, conforme a ASMT C979/2016. Utilizaram-se pigmentos de óxido de ferro (vermelho e amarelo)

lo) e óxido de cromo (verde), totalizando 10 traços de concreto. As amostras seguiram o traço 1:2,37:2,57:0,42 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água), baseado nos estudos de Piovesan (2009), Gonçalves (2018) e Consani (2022), com 0,57% de aditivo redutor de água tipo 2.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A Tabela 1 expõe as especificações dos materiais empregados na pesquisa, destacando o uso do CP branco. Em relação aos agregados, utilizou-se agregado miúdo natural de origem quartzosa e agregado graúdo de origem basáltica.

2.1.1 PIGMENTOS UTILIZADOS

Os pigmentos incorporados na mistura consistiram em pós sintéticos inorgânicos à base de óxido de ferro (vermelho e amarelo) e óxido de cromo (verde). A Tabela 2 apresenta as características físicas dos pigmentos utilizados nas dosagens dos concretos coloridos.

2.2 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Os concretos foram produzidos visando uma resistência média de 30 MPa aos 28 dias. Os pigmentos foram adicionados após o cimento para garantir melhor dispersão na matriz (Coelho, 2001).

A Tabela 3 detalha os quantitativos de cada traço de concreto. Os pigmentos

TABELA 3

QUANTITATIVO DE MATERIAIS E NOMENCLATURA DOS TRAÇOS PRODUZIDOS

Traço	Quantitativo de materiais				
	Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo
REF					120g
A2%					125,4g
A4%					125,4g
A6%					120g
B2%	22,00 kg	52,14 kg	56,54 kg	9,24 l	125,4g
B4%					120g
B6%					125,4g
C2%					125,4g
C4%					125,4g
C6%					125,4g

Nota: A QUANTIDADE DE PIGMENTOS UTILIZADA NOS CONCRETOS FORAM DE 440g (2%), 880g (4%), E 1320g (6%)

TABELA 4

ENSAIOS TÉCNICOS REALIZADOS COM OS CONCRETOS PRODUZIDOS

Ensaio	Método	Quantidade de CPs (por traço)
Slump test	NBR 16889 (ABNT, 2020)	1 medição
Resistência à compressão	NBR 5739 (ABNT, 2018)	6
Resistência à tração na flexão	NBR 12142 (ABNT, 2010)	3
Absorção de água por capilaridade	NBR 9779 (ABNT, 2012)	3
Envelhecimento acelerado	NBR 15380 (ABNT, 2015)	2 (análise em 200, 300 e 400h)
Colorimetria	NBR 16846 (ABNT, 2020)	2

foram identificados por letras: A para óxido de ferro vermelho, B para óxido de ferro amarelo e C para óxido de cromo verde, junto com seus respectivos teores na dosagem.

2.3 MÉTODOS DE ENSAIO

Neste estudo, foram conduzidos ensaios para investigar o impacto da adição de pigmentos nas propriedades do concreto.

2.3.1 ENSAIOS TÉCNICOS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

A Tabela 4 apresenta os ensaios realizados para identificar as propriedades do concreto, detalhando o tipo de teste, as normas técnicas seguidas e a quantidade de amostras utilizadas.

A NBR 16846 (ABNT, 2020) baseia-se no sistema CIELAB para medir a cor com instrumentos, calculando a diferença total de cor (ΔE^*) e determinando a

percepção visual dessa diferença. A norma destaca que os valores de tolerância podem ser usados no controle de qualidade. A Tabela 5 ilustra os limites numéricos de percepção visual da diferença de cor total (ΔE^*), acompanhada da definição para cada alteração de cor, o qual foi empregado na pesquisa.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos proporcionam uma compreensão abrangente sobre como os pigmentos afetam as características físicas, mecânicas e estéticas do concreto, evidenciando variações significativas em relação aos concretos não pigmentados, permitindo uma discussão das implicações práticas e as potenciais aplicações dos concretos pigmentados na construção civil.

Para os resultados no estado endurecido, foram realizadas análises estatísticas de variância (ANOVA), com interva-

TABELA 5INTERPRETAÇÃO DE ΔE^* E AVALIAÇÃO NO CONCRETO

Diferença de cor total (ΔE^*)	Percepção da mudança de cor
$\leq 0,2$	Não perceptível
$\geq 0,2$ e $< 0,5$	Muito fraca
$\geq 0,5$ e $< 1,5$	Fraca, porém perceptível
$\geq 1,5$ e $< 3,0$	Perceptível
$\geq 3,0$ e $< 6,0$	Muito perceptível
$\geq 6,0$ e $< 12,0$	Forte
$12,0 \leq$	Muito forte

Fonte: Adaptado da NBR 16846 (ABNT, 2020)

lo de confiança de 95%, no qual foram considerados apenas os resultados dos concretos pigmentados.

3.1 Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone.

Com base nos resultados apresentados, notam-se variações nos abatimentos decorrentes dos diferentes percentuais do aditivo utilizado e dos tipos de pigmentos testados. Definiu-se que os resultados de abatimento de tronco de cone dos concretos estudados deveriam se enquadrar na faixa de classe S100, que exige abatimento entre 100 mm e 160 mm (ABNT NBR 16889, 2020).

TABELA 6

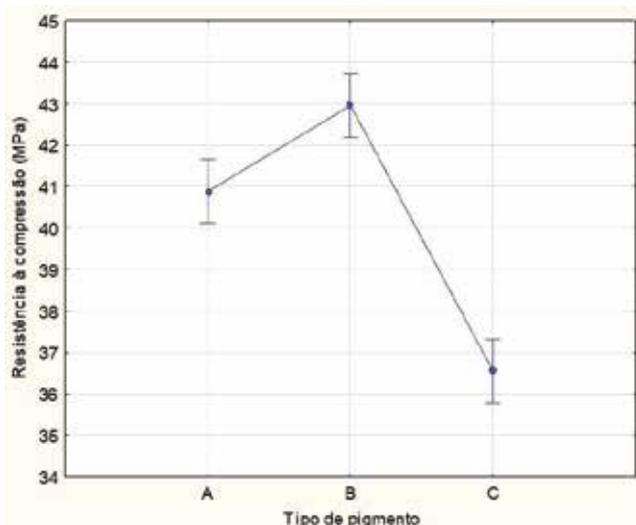
RESULTADOS DO ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

Traço	Abatimento (mm)
REF	150
A - 2%	160
A - 4%	120
A - 6%	110
B - 2%	160
B - 4%	130
B - 6%	170
C - 2%	140
C - 4%	170

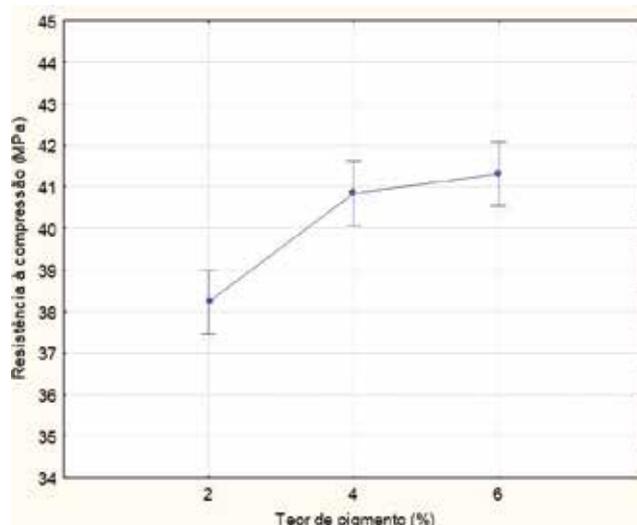
TABELA 7

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA E DO DESVIO PADRÃO, AOS 7 E 28 DIAS

Traço	Resultados obtidos (MPa)			
	7 dias		28 dias	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
REF	35,5	0,8	38,6	1,3
A - 2%	36,9	0,7	44,2	0,1
A - 4%	43,5	0,8	44,5	0,5
A - 6%	37,8	0,05	39,1	1,2
B - 2%	36,8	0,7	42,2	1,3
B - 4%	41,2	0,4	41,9	2,7
B - 6%	46,0	1,6	49,2	2,3
C - 2%	32,8	1,9	36,3	0,2
C - 4%	35,0	0,2	38,6	0,9
C - 6%	37,3	1,9	39,1	0,4



A



B

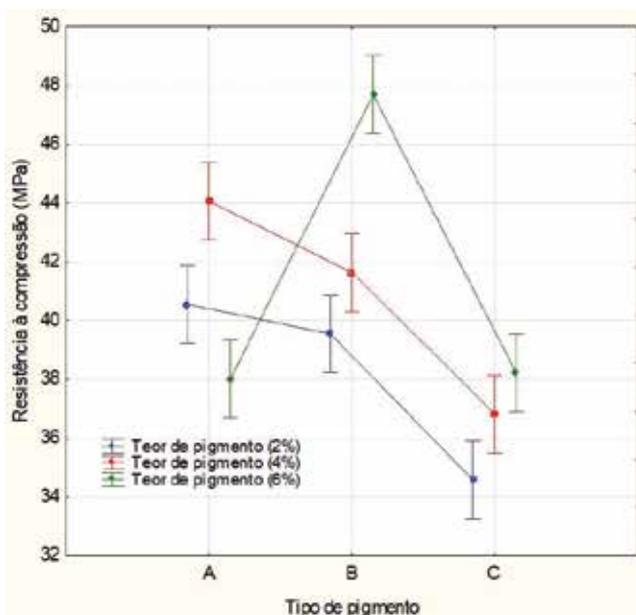
GRÁFICO 1

EFEITOS ISOLADOS SIGNIFICATIVOS FRENTE À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. (A) TIPO DE PIGMENTO; (B) TEOR DE PIGMENTO

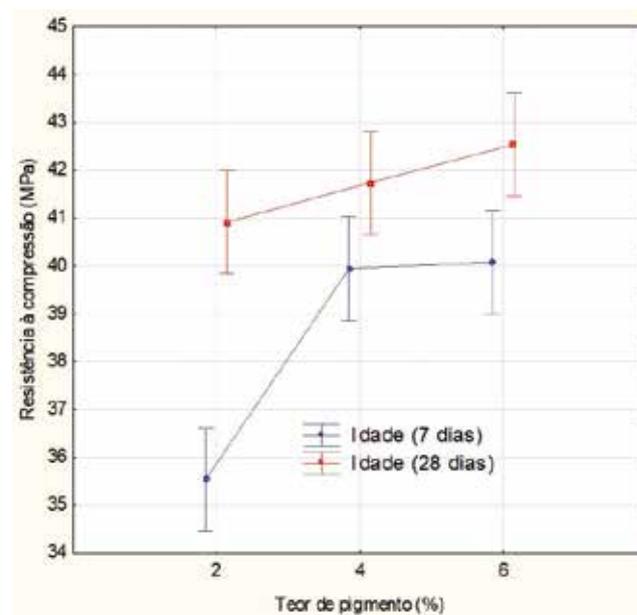
Na primeira moldagem, o abatimento dos concretos A6% (110 mm) e B4% (130 mm) esteve dentro do intervalo definido. No entanto, o volume de concreto foi insuficien-

te para atender ao número de CPs a serem moldados. Para aumentar a fluidez e o volume de concreto, foi necessário adicionar um maior volume de aditivo redutor de água do

tipo 2. Após este ajuste, o abatimento dos concretos coloridos variou entre 120 mm e 170 mm, evidenciando uma trabalhabilidade adequada dentro da faixa especificada.



A



B

GRÁFICO 2

EFEITOS DE 2ª ORDEM SIGNIFICATIVOS FRENTE À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. (A) TIPO DE PIGMENTO X TEOR DE PIGMENTO; (B) TEOR DE PIGMENTO X IDADE

TABELA 8

RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
REF	4,4	0,51
A - 2%	4,3	0,15
A - 4%	4,8	0,20
A - 6%	3,7	0,11
B - 2%	5,0	0,05
B - 4%	4,2	0,14
B - 6%	4,7	0,15
C - 2%	4,2	0,03
C - 4%	4,7	0,05
C - 6%	4,0	0,19

3.2 Resultados de resistência à compressão

A Tabela 7 apresentam os resultados médios e o desvio padrão para os concretos estudados, aos 7 e 28 dias.

A análise da Tabela 7 revela que, aos 7 dias, o concreto com pigmento A-4% apresentou resistência média de 43,5 MPa, superior ao con-

creto de referência (36,6 MPa). Os concretos com pigmento B alcançaram resistências médias de 41,2 MPa (B-4%) e 46,0 MPa (B-6%), ambas superiores ao referência. Para os concretos com pigmento C, o destaque foi para o teor de 6%, que atingiu resistência média de 37,3 MPa.

Para a idade de 28 dias, a resistência à compressão segue uma tendência similar, com o traço A-4% atingindo uma resistência média de 44,5 MPa. O concreto B-6% se destaca ainda mais, alcançando uma resistência média de 49,2 MPa, evidenciando um elevado crescimento em comparação ao concreto de referência (40,4 MPa). Este comportamento sugere que o pigmento B auxilie positivamente no ganho de resistência mecânica. Os concretos com presença de pigmento C, por outro lado, não geraram ganhos tão evidentes na resistência à compressão, apresentando resultado médio de 39,1 MPa para o traço C-6%.

Os resultados estatísticos indicaram que os efeitos isolados de todas as variáveis avaliadas - tipo e teor de pigmento (%) e idade (dias) - foram significativos frente a resistência à compressão. Além

disso, as interações de segunda ordem entre tipo de pigmento e teor de pigmento (%), bem como entre teor de pigmento (%) e idade (dias), também mostraram significância estatística.

Nos gráficos 1(a) e 1(b), são apresentados os efeitos significativos das variáveis isoladas frente à resistência à compressão dos concretos pigmentados.

Analisando o gráfico 1(a), observa-se que os concretos com pigmentos A e B (óxido de ferro) superaram os resultados obtidos para os concretos com pigmento C (óxido de cromo). Observando o gráfico 1(b), nota-se que os teores que demonstraram maior eficiência em relação a essa propriedade foram de 4 e 6%.

Nos gráficos 2(a) e 2(b) são apresentados os efeitos significativos de 2ª ordem obtidos através da ANOVA realizada.

Ao analisar o gráfico 2(a), verifica-se que os concretos com pigmentos B e C destacam-se com o teor de 6%, onde a resistência dos concretos foi superior. Em contraste, para os concretos com o pigmento A, os teores mais eficientes para ganho de resistência foram os de 2% e 4%. Em relação ao gráfico 2(b), observa-se que, na idade de 7 dias, ocorreu

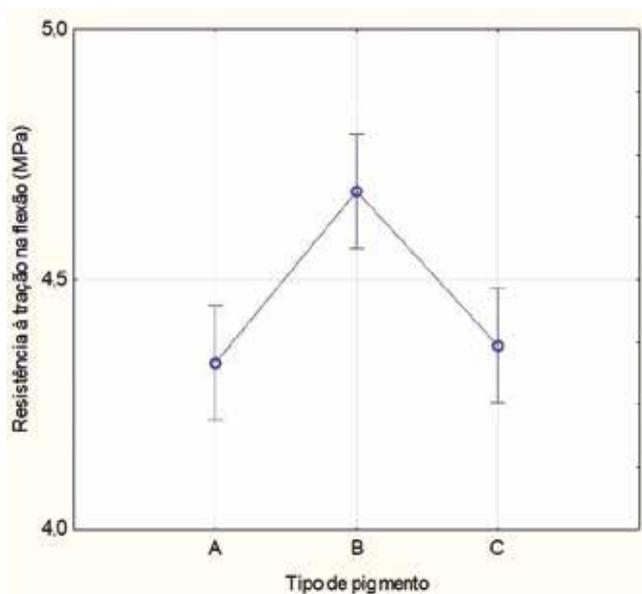
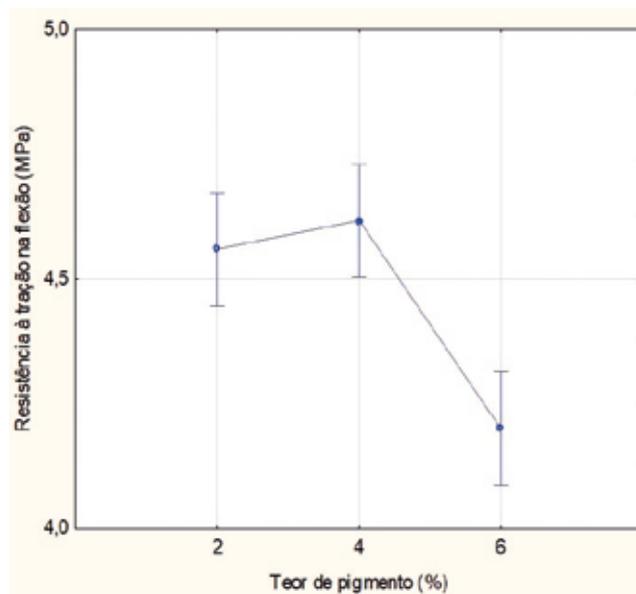
**A****B**

GRÁFICO 3

EFEITOS DE 1ª ORDEM SIGNIFICATIVOS FRENTE À RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO. (A) TIPO DE PIGMENTO; (B) TEOR DE PIGMENTO

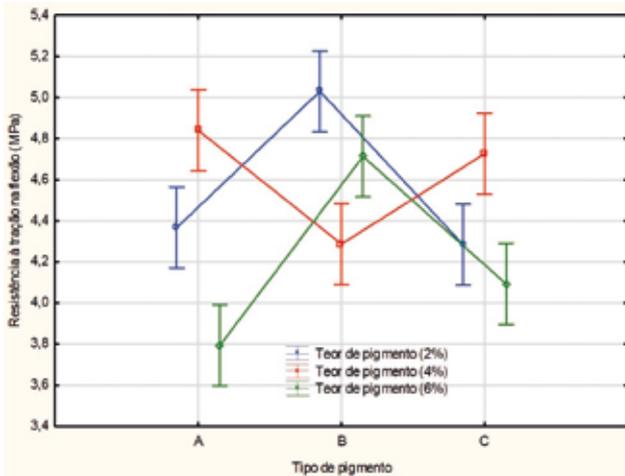


GRÁFICO 4

EFEITO SIGNIFICATIVO ENTRE O TIPO E O TEOR DE PIGMENTOS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CONCRETOS

um aumento significativo na resistência à compressão ao aumentar o teor de aditivo de 2% para 4%. No entanto, ao variar o teor de 4% para 6%, a resistência à compressão não apresentou diferença significativa. Em relação aos concretos com idade de 28 dias, os resultados entre 2 e 6% de teor de pigmentos apresentaram diferença significativa.

3.3 Resultados de resistência à tração na flexão

A Tabela 8 apresenta os resultados médios e o desvio padrão para os concretos produzidos, na idade de 28 dias.

TABELA 9

RESULTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Traço	Médios (g/cm ²)	Desvio padrão (g/cm ²)
REF	0,41	0,009
A - 2%	0,43	0,005
A - 4%	0,42	0,005
A - 6%	0,40	0,012
B - 2%	0,34	0,009
B - 4%	0,35	0,009
B - 6%	0,41	0,009
C - 2%	0,43	0,005
C - 4%	0,40	0,009
C - 6%	0,37	0,008

A Tabela 8 mostra que o concreto referência teve resistência média de 4,4 MPa. O concreto amarelo B-2% alcançou a maior resistência (5,0 MPa), seguido pelo vermelho com 4% de pigmento (4,8 MPa). O concreto com pigmento C a 4% apresentou resistência semelhante à referência (4,7 MPa). Os pigmentos A e B aumentaram a resistência à compressão, enquanto o pigmento C não afetou as propriedades mecânicas, mantendo desempenho similar ao concreto referência.

Com base nos resultados estatísticos, foi identificado que os efeitos isolados de todas as variáveis avaliadas foram significativos. Além disso, a interação de 2º ordem entre tipo e teor de pigmento também mostrou-se significativa.

Os gráficos 3(a) e 3(b) apre-

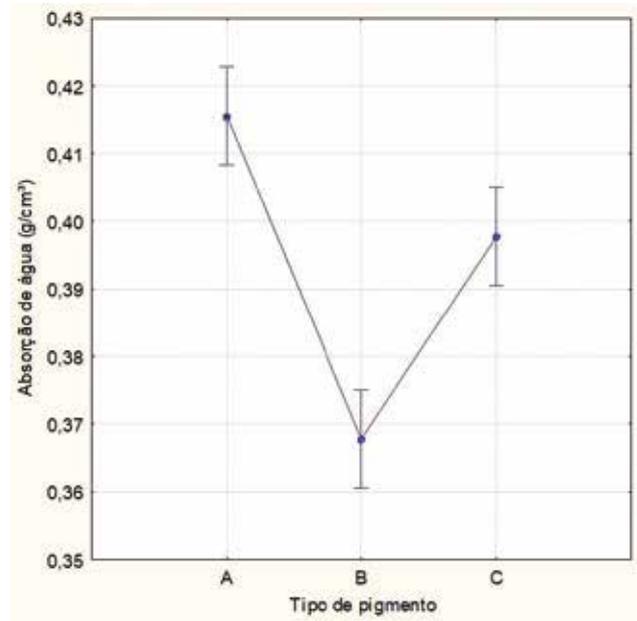


GRÁFICO 5

EFEITO ISOLADO DO TIPO DE PIGMENTO NA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CONCRETOS

sentam, respectivamente, os efeitos isolados do tipo e do teor de pigmento na resistência à tração na flexão dos concretos estudados.

O gráfico 3(a) mostra que os concretos com pigmento amarelo (B) apresentaram resultados superiores em comparação aos demais pigmentos C. Por outro

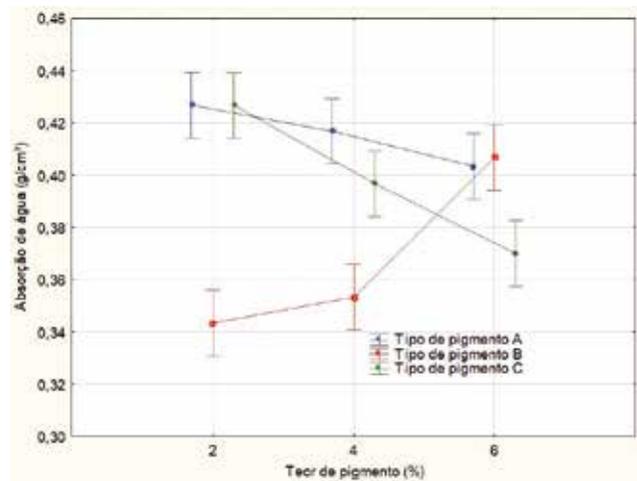


GRÁFICO 6

EFEITO DE 2º ORDEM ENTRE O TIPO E O TEOR DE PIGMENTO FRENTE À ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CONCRETOS

TABELA 10

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E COLORIMETRIA

Concreto	Média ΔE			Percepção da diferença de cor para ΔE (400h)
	(200h)	(300h)	(400h)	
Ref	0,15	0,37	0,42	Muito fraca
A - 2%	0,66	0,97	1,35	Fraca, porém perceptível
A - 4%	0,78	1,04	1,39	Fraca, porém perceptível
A - 6%	0,26	0,38	0,49	Muito fraca
B - 2%	0,70	1,01	1,18	Fraca, porém perceptível
B - 4%	0,27	0,40	0,48	Muito fraca
B - 6%	0,23	0,36	0,47	Muito fraca
C - 2%	2,05	4,23	4,81	Muito perceptível
C - 4%	1,99	4,78	5,78	Muito perceptível
C - 6%	3,80	5,2	6,1	Forte

lado, os concretos com pigmentos A e C não exibiram diferenças significativas entre si. No gráfico 3(b), observa-se que os teores de 2% e 4% de pigmento não diferem significativamente, mas os concretos com 6% de pigmento apresentaram resultados inferiores, indicando um impacto negativo desse teor na propriedade analisada.

O gráfico 4 apresenta o efeito significativo de 2ª ordem entre o tipo e o teor de pigmento.

Ao avaliar o gráfico 4, observa-se que, para os pigmentos A e C, o teor de 4% mostra os maiores valores de resistência à tração na flexão. Já, para o pigmento B, o comportamento é invertido, onde o teor de 4% apresenta os menores resultados. No entanto, observa-se que o teor de pigmento aplicado é mais relevante do que o tipo, resultando em pequenos ganhos de resistência à tração na flexão, em média para os teores de 2 e 4%.

3.4 Resultados de absorção de água por capilaridade

A Tabela 9 apresenta os resultados de absorção de água por capilaridade médios e o desvio padrão dos concretos estudados.

A Tabela 9 mostra que a taxa média de absorção de água dos concretos é próxima a 0,40 g/cm², confirmando que os pigmentos de óxido de ferro e óxido de cromo não afetam significativamente a permeabilidade, confirmando os estudos de Piovesan (2009) e Consani (2022). No entanto, os concretos B-2% e B-4% apresentaram menores taxas de absorção (0,34 g/cm³ e 0,35 g/cm³), sugerindo menor porosidade. Por meio da análise estatística, o efeito isolado do

tipo de pigmento e o efeito de 2ª ordem entre o tipo e o teor de pigmento mostraram-se significativos. Nos gráficos 5 e 6, são apresentados tais efeitos significativos obtidos.

Ao analisar o gráfico 5, nota-se que os concretos com pigmento B apresentaram resultados significativamente inferiores, quando comparados aos demais concretos estudados. Já os concretos com presença do pigmento A foram os que apresentaram os piores resultados, diferindo de forma significativa dos demais resultados obtidos.

A análise do gráfico 6 permite observar que os concretos com pigmento B e teores de 2 e 4%, apresentam diferença significativa em relação aos resultados dos demais concretos, assim destacaram-se de forma positiva, apresentando absorção de água significativamente inferiores.

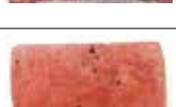
3.5 Resultados de resistência à radiação ultravioleta e colorimetria

A Tabela 10 apresenta os resultados médios e as determinações das alterações de cor dos concretos com a exposição em câmara ultravioleta nos períodos de 200h, 300h e 400h, com análise colorimétrica ao final de cada período.

No ensaio de colorimetria, o concreto de referência apresentou variação de cor mínima, com valores de ΔE^* muito fraca até 400 horas. Os concretos coloridos com pigmentos A e B mostraram variações ΔE^* moderadas, sem relevância significativa para o período analisado.

TABELA 11 A

AVALIAÇÃO VISUAL DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

Traço	Análise 200h	Análise 300h	Análise 400h com amostra referência
Referência			
			
			
A - 2%			
			
			
A - 4%			
			
			
A - 6%			

As amostras com pigmento A exibiram ΔE^* de “muito fraca” a “fraca, porém perceptível”, com menores variações para concentrações mais baixas. O pigmento B apresentou comportamento similar, com ΔE^* um pouco menor, especialmente a 6%, mas ainda classificado como “muito fraco”.

Entretanto, a presença do pigmento C causou variações cromáticas significativamente maiores. As amostras C-2% e C-4% apresentaram ΔE^* “muito perceptíveis”. A amostra C-6% teve o maior ΔE^* após 400 horas, sendo classificada como “forte” em percepção de diferença de cor. Esses resultados indicam que o pigmento

C gera variações cromáticas intensas sob radiação UV e é o menos recomendado para concreto aparente, devido ao desbotamento visível nos primeiros 12 meses de exposição natural.

Portanto, após a análise dos resultados obtidos, considera-se que os pigmentos mais adequados para utilização em construções de concreto aparente, sejam os pigmentos A e B na proporção de 4% e 6%, pois demonstraram maior resistência ao desbotamento no período de tempo analisado.

A Tabela 11 apresenta a avaliação visual dos concretos pigmentados produzidos, incluindo registros fotográficos das

duas amostras testadas na câmara UV nos intervalos de 200 horas e 300 horas. Na seção correspondente à análise de 400 horas, são exibidos o aspecto visual das amostras juntamente com a amostra de referência, que não foi submetida à câmara UV. Isso permite uma comparação visual entre as amostras, confirmando as diferenças de cor determinadas pelos cálculos de ΔE^* realizados.

4. CONCLUSÃO

O estudo sobre concreto pigmentado é crucial para o desenvolvimento de misturas que aprimoram tanto as propriedades do concreto quanto sua estética.

TABELA 11 B

AVALIAÇÃO VISUAL DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

Traço	Análise 200h	Análise 300h	Análise 400h com amostra referência
Referência			
			
B - 2%			
			
B - 4%			
			
B - 6%			
			

TABELA 11 C

AVALIAÇÃO VISUAL DOS CONCRETOS PIGMENTADOS

Traço	Análise 200h	Análise 300h	Análise 400h com amostra referência
Referência			
			
C - 2%			
			
C - 4%			
			
C - 6%			
			

A adição de pigmentos químicos permite alterar a cor do concreto e melhorar suas características. Isso contribui para construções mais resistentes e visualmente atraentes, destacando o concreto pigmentado como um material de alto desempenho em projetos arquitetônicos e de engenharia civil.

O artigo revelou que os pigmentos químicos mudaram a consistência do concreto convencional, diminuindo \pm 30mm do abatimento do concreto convencional no estado fresco, sendo necessário um ajuste na quantidade de aditivo redutor de água do tipo 2 para os concretos pigmentados alcançarem o volume de concreto necessário para a realização completa do estudo.

Os pigmentos de óxido de ferro aumentam a resistência à compressão do concreto. O pigmento B proporcionou ganhos de 2 a 12 MPa em relação ao concreto de referência, enquanto o pigmento A teve um aumento mais modesto,

de 0,5 a 5 MPa. Ambos foram eficazes na melhoria dessa propriedade. Em contraste, o pigmento C mostrou uma tendência de redução na resistência à compressão, com os melhores resultados próximos ao concreto de referência e os piores apresentando uma diminuição de até 4 MPa.

Nos ensaios de tração na flexão com 28 dias de idade, o pigmento B-2% obteve a maior resistência média de 5,03 MPa. Os concretos com pigmentos A-4% e C-4% apresentaram aumentos moderados em relação ao concreto de referência, com resistências médias de 4,84 MPa e 4,73 MPa, respectivamente. Os resultados indicam que menores teores de pigmento são mais eficazes na melhoria dessa propriedade.

Nos ensaios de permeabilidade, os pigmentos A e C não alteraram significativamente a absorção de água, que se manteve em torno de 0,40 g/cm². Em contraste, os pigmentos B a 2% e 4% re-

duziram a absorção de água, indicando menor porosidade e, conseqüentemente, menor vulnerabilidade a agentes agressivos que poderiam danificar o concreto.

Os ensaios de colorimetria revelaram que os concretos com pigmentos A e B, especialmente nas concentrações de 4% e 6%, são ideais para concretos aparentes devido à alta resistência ao desbotamento. Ambos mantiveram sua coloração praticamente intacta durante a exposição máxima à radiação UV, com variações mínimas de ΔE^* . O pigmento B a 6% apresentou os menores valores de ΔE^* , indicando uma alteração “muito fraca” e excelente estabilidade cromática. Em contraste, o pigmento C mostrou variações significativas de ΔE^* , de “muito perceptível” a “forte” após 400 horas, evidenciando intensa variação cromática. Esses resultados confirmam que o pigmento de óxido de cromo (verde) não é recomendado para aplicações onde a estabilidade da cor é essencial. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM INTERNATIONAL. Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete. ASTM C979:2016. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15380: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Resistência à radiação UV e a condensação de água pelo ensaio acelerado. Rio de Janeiro, 2015.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16846: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da cor e da diferença de cor por medida instrumental. Rio de Janeiro, 2020.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- [10] COELHO, F. C. A. Variación del color y textura de hormigones vistos con adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental. Tese (Doutorado em Ingeniero de Caminos Canales y Puertos). Universidad Politécnica de Madrid, U. P. MADRID. Espanha, 2001.
- [10] CONSANI, Camila Pinheiro; Concreto Pigmentado: Técnica, Cromática e Durabilidade. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- [12] GONÇALVES, Deborah Priscilla Fontoura; Concreto pigmentado aparente: Recomendações para o processo de projeto arquitetônico. Dissertação (Graduação), Universidade de São Paulo. São Paulo (2019).
- [13] MENDONÇA, A.; ROCHA, R.; GOMES, R.; GOMES, A. L.; ASSIS NETO, P.; GURGEL, S. H. Avaliação da eficiência do uso do concreto colorido aplicado em paredes. Revista InterScientia, v. 6, n. 1, 2018.
- [14] PIOVESAN, Angela Zamboni. Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Avaliação da autocicatrização de fissura **em concreto com aditivo autocicatrizante**

RAFAELA S. ECKHARDT - CONSULTORA TÉCNICA - <https://orcid.org/0009-0008-8369-4912> (rafa_eckhardt@hotmail.com) ;

FELIPE PACHECO - COORDENADOR - <https://orcid.org/0000-0002-8152-3035> | PENETRON

GUILHERME C. HICKEL - Sócio | MODULIVE

JOÃO R. MENDES - Sócio ; **LUCAS DOS S. DE SOUZA** - Sócio | CIVILTECH

RESUMO

BUSCANDO-SE UMA MAIOR DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO, PRINCIPALMENTE DAQUELAS EXPOSTAS À UMIDADE, E, CONSEQUENTEMENTE, VISANDO UMA REDUÇÃO DA PEGADA DE CARBONO NAS CONSTRUÇÕES, TEM-SE UTILIZADO EM LARGA ESCALA O ADITIVO AUTOCICATRIZANTE. O CONCRETO ADITIVADO APRESENTA BAIXA PERMEABILIDADE E AUTOCICATRIZA FISSURAS PASSIVAS DE ATÉ 0,5 MM, BLOQUEANDO A ENTRADA DE AGENTES DELETÉRIOS NO INTERIOR DO CONCRETO, PELA FORMAÇÃO CRISTALINA INSOLÚVEL NOS POROS, CAPILARES E FISSURAS. A PROTEÇÃO GERADA POSSIBILITA A REDUÇÃO DE MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS, POIS AUMENTA A VIDA ÚTIL DO CONCRETO, O QUE REDUZ AS EMISSÕES DE CO₂ EQUIVALENTE DA CONSTRUÇÃO. NESTE ESTUDO FOI MONITORADO O FLUXO D'ÁGUA PASSANTE EM AMOSTRAS DE CONCRETO FISSURADAS COM 0,45 E 0,2 MM, COM E SEM O ADITIVO AUTOCICATRIZANTE, SUBMETIDAS À PRESSÃO DE ÁGUA DE 4 M.C.A. OS RESULTADOS APONTAM A REDUÇÃO DA PERMEABILIDADE E O SELAMENTO DAS FISSURAS AO LONGO DO PERÍODO DE ATIVAÇÃO NAS AMOSTRAS COM O ADITIVO, ILUSTRANDO O DESEMPENHO REFERENTE À DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS TRATADAS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO, CRISTALIZAÇÃO, AUTOCICATRIZAÇÃO, IMPERMEABILIZAÇÃO, DURABILIDADE.

1. INTRODUÇÃO

As fissuras em estruturas de concreto são comuns e, segundo Yang, Lepech, Yang e Li (2009), sua formação pode estar vinculada a diversos fatores, tais como: o traço do concreto e consequentemente seu elevado calor de hidratação; à cura inadequada ou a falta dela e con-

sequentemente a retração plástica; às falhas executivas durante a concretagem; à desfôrma precoce; o carregamento mecânico extremo; o contato com o meio ambiente agressivo ou intemperismo ambiental, como sulfatos, cloretos e RAA; o gelo e degelo; e a movimentação térmica, ou seja, podem ocorrer em todas as etapas da obra, por falha de projeto, falha de material, falha de execução, falha de uso.

A principal norma referente ao concreto no país, a NBR 6118, informa as limitações de abertura de fissura, sendo a máxima de 0,4 mm, de acordo com a classe de agressividade do ambiente, porém há um agravante, onde ela informa que, em obra, pode haver eventuais fissuras maiores que as limitações estabelecidas, dados os desvios de obra, o que frisa a frequente presença de fissuração nas obras, inclusive com grandes aberturas.

A presença de tais fissuras é indesejada na estrutura, principalmente naquelas expostas à umidade, pois permitem a entrada acelerada de agentes agressivos para seu interior, o que causa sua deterioração e a corrosão das armaduras de forma precoce, reduzindo a durabilidade das estruturas de concreto e consequentemente aumentando a necessidade de manutenções e reparos.

Sendo assim, uma alternativa estudada por muitos pesquisadores para evitar tal problema é a autocicatrização do concreto, que, segundo Wang, Ding, Zhang e Xu (2023), é um fenômeno antigo, pois o próprio concreto possui características naturais e intrínsecas de selar fissuras de pequena abertura, devido à hidratação

contínua de minerais de clínquer ou à carbonatação de hidróxido de cálcio.

Tittelboom e de Beli (2013) e Azarsa, Gupta e Biparva (2019) abordam métodos científicos que visam potencializar a autocicatrização para fechamento de maiores aberturas de fissura de forma controlada, tais como: o uso de agentes cicatrizantes microencapsulados; polímeros superabsorventes; materiais de vedação em tubos quebradiços; ligas de memória de forma; concreto bacteriano; agentes expansivos e misturas minerais; materiais de memória de forma; fibras ocas; autorrecuperação desencadeada por microcraqueamento apertado autocontrolado; e o uso de misturas cristalinas, sendo esta última a atualmente utilizada em larga escala e consolidada no mercado da construção civil mundial.

Os aditivos cristalizantes, ou também conhecidos como autocicatrizantes, são materiais cimentícios incorporados ao concreto fresco que reagem com a água e os produtos de hidratação do cimento, formando cristais insolúveis no interior dos poros, capilares e fissuras do concreto, que impedem a passagem de umidade e agentes agressivos pela estrutura, mesmo sob altas pressões hidrostáticas e com potencial de selamento de fissuras passivas até 0,5 mm de abertura.

O uso dos autocicatrizantes comercializados traz um aumento no custo de *capital expenditure* (CAPEX), ou seja, nos investimentos de bens e capitais para a construção da obra, pela adição do material no concreto. Em contrapartida, a redução no custo de *operational expenditure* (OPEX), ou seja, nas despe-

Operacionais e manutenção, ao longo dos anos de uso, dado o aumento da vida útil da estrutura, tem sido grandiosa, o que gera um custo-benefício atrativo.

Outro importante benefício associado ao uso do material está vinculado com a redução da pegada de carbono das obras com concretos autocicatrizantes, isso porque há redução de manutenção das estruturas, dado o aumento da vida útil gerado pela proteção do concreto, pois este terá sua permeabilidade reduzida e suas fissuras colmatadas, impossibilitando a entrada dos agentes agressivos que deterioram o concreto, como cloretos, sulfatos e carbonatos. Tais reparos evitados não geram novo consumo de matéria-prima e emissão de e consumo de energia para sua produção e aplicação.

Neste estudo foram ensaiados concretos com o aditivo autocicatrizante, porém, para sua avaliação de desempenho há variáveis, tais como: diferentes tipos de condição de exposição para cura; diferentes pressões de água, estudado por Yang, Lepech, Yang e Li (2009); diferentes idades para fissuração, estudado por Tittelboom e de Beli (2013); diferentes tamanhos de abertura da fissura, estudado por Wang, Ding, Zhang e Xu (2023); e diferentes composições do cimento utilizado no concreto, estudado por Azarsa, Gupta e Biparva (2019). Isso influencia a análise comparativa, pois mostram diferentes resultados com relação à penetração de água sob pressão, resistividade elétrica, penetração de cloretos, resistência à compressão e autocicatrização, estando a última ainda em definição de metodologia de ensaio, pois não há normativas nacionais que orientem a execução e avaliação de ensaio.

Avaliando os resultados obtidos pelos pesquisadores citados, foram definidos os parâmetros a serem estudados e então moldadas amostras de um concreto referência, ou seja, sem uso do aditivo autocicatrizante, e um concreto com o aditivo autocicatrizante, a fim de comparar a redução da permeabilidade e o selamento de fissuras, submetendo as amostras a pressão de água.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram selecio-

ados de acordo com um traço base de concreto da classe C20, sendo composto por: cimento CP II Z (cimento Portland composto com material pozolânico), agregado graúdo (brita 0) e agregado miúdo (areia natural média). Em complemento, como base deste estudo, foi utilizado um aditivo autocicatrizante, na proporção de 0,8 % sobre o peso do cimento.

2.2 Métodos

Para avaliar a autocicatrização e a redução da permeabilidade de um concreto convencional com e sem aditivo autocicatrizante, foi realizado o monitoramento da passagem de água sob pressão de 4 m.c.a. (metros de coluna d'água), por amostras de concreto fissuradas com aberturas de 0,2 e 0,45 mm.

Para o monitoramento do fluxo d'água pelas amostras, tanto pela fissura quanto pelo maciço da amostra, foi medido o volume de saída de água ao longo do tempo, mantendo-se uma pressão constante de entrada, bem como foi realizada análise visual do selamento da fissura. Também foram verificados o abatimento e a resistência mecânica das amostras.

Foram moldados 4 corpos de prova de concreto prismáticos de 10 x 10 x 40 cm, sendo 2 de referência, ou seja, sem a utilização do aditivo autocicatrizante e 2 com a utilização do aditivo, a fim de comparar o desempenho do mesmo em relação a um concreto comum.

Além disso, foram moldados 4 corpos de prova de concreto cilíndricos de 10 x 20 cm, sendo 2 de referência e 2 com utilização do aditivo autocicatrizante, para ensaio de resistência à compressão axial.

As moldagens seguiram a NBR 5738 (2016), onde os materiais foram misturados na betoneira, nas proporções da Tabela 1, para obter um concreto da classe C20. Após a mistura obter consistência homogênea, o concreto foi despejado nos moldes metálicos vedados de 10 x 10 x 40 cm (retangular) e de 10 x 20 cm (cilíndrico), que receberam adensamento com haste metálica.

No traço com o aditivo autocicatrizante, foi utilizada a dosagem recomendada pelo fabricante de 0,8 % sobre o peso do cimento.

A primeira análise foi o ensaio de abatimento, seguindo a NBR 16889 (2020), onde foi despejado o concreto sobre o cone tronco apoiado na placa base, em camadas adensadas por 25 golpes de haste metálica até atingir o topo do cone, para então removê-lo e medir o abatimento de concreto pela diferença de altura entre o cone e o concreto adensado.

Após as moldagens, as amostras cilíndricas e prismáticas permaneceram em ambiente natural por 48 h e então foram deformadas. As amostras cilíndricas permaneceram submersas em tanque de água até completarem 28 dias de idade (período de cura do concreto) e as prismáticas foram cortadas em retífica, formando 6 amostras quadradas de 10 x 10 x 13 cm e, por fim, foram fissuradas.

Foram moldados mais corpos de prova para ensaio de autocicatrização do que seria utilizado no estudo, geralmente considera-se uma média de 50% de perda das amostras, pois, para gerar a fissura, as amostras podem quebrar durante o carregamento na prensa.

As amostras foram fissuradas aos dois dias de idade, considerando-se uma geração de fissura por retração, a qual é

TABELA 1
TRAÇO DO CONCRETO

Material	Quantidade	
	Referência (R)	Com aditivo autocicatrizante (AA)
Areia natural	20,82 kg	20,82 kg
Brita 0	20,82 kg	20,82 kg
Cimento	8,33 kg	8,33 kg
Água	3,4 L	3,4 L
Aditivo autocicatrizante	0 g	66,64 g

FONTE: AUTORES (2023)



A



B



C

FIGURA 1

FISSURAÇÃO (A); MEDIÇÃO DA ABERTURA DA FISSURA (B); AMOSTRAS FISSURADAS (C)

FONTE: AUTORES (2023)

recorrente em estruturas reais e ocorre nas idades iniciais do concreto. Para isso as amostras foram colocadas em carga lenta de compressão na prensa Fortest, de forma manual, objetivando-se atingir 80 a 90% da carga de ruptura da idade, apoiadas sobre barras de ferro de 5 mm de diâmetro no seu eixo central, tanto na parte superior quanto inferior, de forma alinhada, para direcionar a fissura no meio da amostra (Figura 1 a).

Posteriormente, foram verificadas as aberturas superficiais das fissuras com utilização de fissurômetro (Figura 1 b), para que não ultrapassassem 0,5 mm, sendo este o limite de colmatagem de fissuras pelo aditivo. As aberturas obtidas nas amostras com aditivo autocicatrizante foram 0,2 e 0,45 mm e nas amostras sem o aditivo também foram 0,2 e 0,45 mm, para possibilitar a análise compa-

rativa entre as amostras (Figura 1 c). As demais amostras quebraram durante o carregamento, ou apresentaram diferentes aberturas de fissura e, neste caso, foram descartadas.

Após a fissuração, as amostras foram conectadas em uma de suas faces, sobre a fissura, a uma mistura betonítica impermeável, onde foi ancorado um bico de torneira rosqueável e nele acoplado a mangueira transparente, com 1 metro de altura fixada na parede, em cada amostra separadamente.

Durante 56 dias estas mangueiras permaneceram conectadas entre si, com sistema de bombeamento (Figura 2), mantendo fluxo contínuo no circuito, a fim de ativar o autocicatrizante, pois nas idades iniciais, antes dos cristais insolúveis estarem formados nos poros e fissuras das amostras, a saída de água pelas

amostras ocorre de forma instantânea, pois os caminhos de passagem da água ainda não foram preenchidos pelo crescimento dos cristais do aditivo.

Após esse período, as mangueiras foram isoladas, mantendo-se uma mangueira por amostra, com 4 m.c.a. e foi dado início ao monitoramento do fluxo d'água passante em cada amostra. Para isso, as amostras ficaram 48 h secando em temperatura ambiente, para possibilitar a visualização do umedecimento do concreto quando submetido à carga d'água, e, após este período, as mangueiras receberam a carga de água. Foi realizado monitoramento da saída de água pelas amostras até cada mangueira esvaziar.

Aos 28 dias de idade, as amostras cilíndricas foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão axial, seguindo a NBR 5739 (2018), onde foram colocadas na prensa Solotest e receberam carga de compressão axial até sua ruptura.

2.3 Resultados e discussões

Foi verificado no ensaio de abatimento de tronco cone que não houve alteração entre traços (com e sem aditivo



FIGURA 2

ATIVACÃO DO AUTOCICATRIZANTE COM ÁGUA

FONTE: AUTORES (2023)

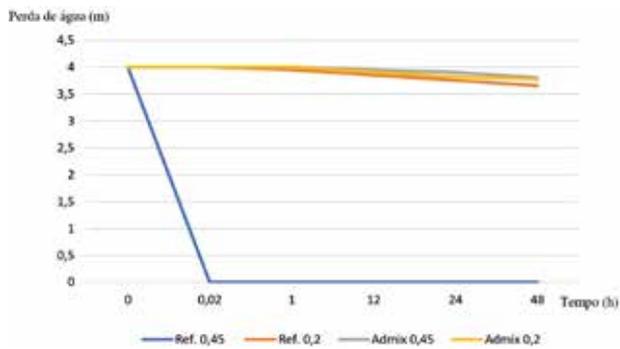


FIGURA 3
FLUXO DE ÁGUA PELAS AMOSTRAS
FONTE: AUTORES (2023)

autocicatrizante), pois ambos mantiveram resultado de 17 cm de abatimento, conforme previsto pelo traço adotado, ou seja, o aditivo não afetou esta característica do concreto fresco.

A fim de verificar a funcionalidade do aditivo autocicatrizante referente à permeabilidade de água pela fissura e pelo maciço, em comparação com o concreto de referência, ou seja, sem aditivo autocicatrizante, foi feito o controle da saída de água pelas amostras fissuradas, após sua ativação durante o período de 56 dias, onde foi mantido carga de água constante com 4 m.c.a. na mangueira. Os resultados estão ilustrados no gráfico da Figura 3.

Na amostra de referência com abertura de fissura 0,45 mm após o enchimento completo dos 4 m de mangueira, essa esvaziou, com toda a água passando ma-



FIGURA 4
AMOSTRAS COM CARGA D'ÁGUA
FONTE: AUTORES (2023)

oritariamente pela fissura em 1 minuto e 16 segundos (Figura 3). Já, as demais amostras, de referência com abertura de fissura 0,2 mm; com aditivo autocicatrizante com abertura de fissuras de 0,2 mm; e com aditivo autocicatrizante com abertura de fissuras de 0,45 mm, tiveram uma pequena redução

do nível da água na mangueira ao longo de 2 dias, dado pela evaporação, e as amostras não apresentaram vazamentos pela fissura ou pelo maciço de concreto, conforme a Figura 4.

Foi possível verificar, que no início da carga de ativação, aos 2 dias de idade, houve um volume de água expressivo passando por todas as amostras, fazendo-se necessário o uso de bomba hidráulica e, ao longo da ativação do autocicatrizante durante os 56 dias de carga d'água com 1 m.c.a, foram gerados cristais insolúveis pela reação com a água pressurizada, que preencheram os poros, capilares e fissuras com abertura menor ou igual a 0,5 mm, reduzindo a vazão de passagem da água pelas amostras tratadas com o aditivo, atingindo a permeabilidade zero.

O processo de ativação do aditivo com água é necessário e influencia o desempenho final, conforme estudado por Yang, Lepech, Yang e Li (2009), que ilustraram melhores resultados de formação cristalina na ativação com quatro a cinco ciclos de cura intercaladas (molhagem e secagem). Já Roig-Flores, Moscato, Serna

TABELA 2
RESULTADOS DA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO AXIAL

Amostra	Resistência à compressão (MPa)
Referência 1	33,11
Referência 2	30,62
Com aditivo 1	37,48
Com aditivo 1	36,87

FONTE: AUTORES (2023)

e Ferrara (2015) observaram a seguinte ordem de eficiência quanto à autocicatrização: imersão em água > contato com água > cura úmida > exposição ao ar.

Outro fenômeno observado no estudo foi o selamento das fissuras de até 0,2 mm nas amostras sem o aditivo. Segundo Tittelboom e De Beli (2013), isso é justificado pela autocicatrização autóloga, que é um fenômeno natural do concreto e que ocorre através da formação de carbonato de cálcio (CaCO₃), hidratação contínua em contato com a umidade, inchamento da matriz de cimento e sedimentação de detritos. Azarsa, Gupta e Bivarpa (2019) informaram que, no concreto jovem, a hidratação contínua é



FIGURA 5
VAZAMENTO PELA AMOSTRA DE REFERÊNCIA COM ABERTURA DE FISSURA DE 0,5 MM
FONTE: AUTORES (2023)

o mecanismo de cicatrização dominante devido ao seu teor bastante alto de partículas de cimento não hidratadas enquanto a formação de carbonato de cálcio se torna o principal mecanismo na idade posterior. Porém, estes processos são descontrolados e limitados a pequenas aberturas de fissuras.

Outra avaliação realizada foi a resistência à compressão axial aos 28 dias nos corpos de prova cilíndricos, onde foi possível verificar que as amostras com o aditivo podem apresentar um aumento da resistência mecânica,

em média de 15% em idades avançadas, após o período de ativação do autocicatrizante com água, justificado pelo preenchimento dos poros com cristais (Tabela 2).

3. CONCLUSÕES

Foi possível verificar a eficiência do aditivo autocicatrizante em estruturas de concreto hidráulicas, em comparação com concretos convencionais, quanto à redução da permeabilidade e autocicatrização de fissuras passivas, verificando o selamento das fissuras e dos poros do

concreto, quando há presença de água sob pressão e após seu período de ativação de 28 dias.

Impedindo a passagem de água pela amostra, principalmente pela fissura, é possível obter um concreto de alta durabilidade, sendo que não haverá a entrada de agentes agressivos pelos seus poros e fissuras.

Para potencializar o desempenho da solução, recomenda-se, para trabalhos futuros, realizar a cura nas amostras em ciclos de úmido/seco e com maior pressão de água. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AZARSA, P; GUPTA, R; BIVARPA, A. Assessment of self-healing and durability parameters of concretes incorporating crystalline admixtures and Portland Limestone Cement. *Cement and Concrete Composites*. Vol 99, p. 17-31, 2019.
- [2] ROIG-FLORES M., MOSCATO S., SERNA P., FERRARA L. Self-healing capability of concrete with crystalline admixtures in different environments. *Construction and Building Materials*. Vol. 86, p. 1-11, 2015.
- [3] TITTELBOOM, K, V; DE BELI, N. Self-Healing in Cementitious Materials - A Review. *Materials*. Vol 6, p. 2182-2217, 2013.
- [4] WANG, R; DING, Z; ZHANG, Y; XU, Y. Self-healing of high-performance engineered cementitious materials with crystalline admixture in the seawater environment. *Journal of Building Engineering*. Vol 63, 2023.
- [5] YANG, Y; LEPECH, M. D; YANG, E; LI, V. C. Autogenous healing of engineered cementitious composites under wet-dry cycles. *Cement and Concrete Research*. Vol. 39, p. 382-390, 2009.



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



Dosagem de concretos com substituição parcial de agregado graúdo natural **por resíduo de EVA** - avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais

MARCELA T. DE A. SILVA - DOUTORANDA - <https://orcid.org/0000-0001-6590-5044> (marcela.tavaress@ufpe.br);
ARNALDO M. P. CARNEIRO - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0002-4279-7156> | UFPE
ALEX J. V. BEZERRA - PROF. DR. - <https://orcid.org/0009-0005-8867-939X> | IFCE

RESUMO

CONCRETOS LEVES SÃO UMA NECESSIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL, SEJA PARA REDUÇÃO DO PESO DA ESTRUTURA, SEJA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO E SONORO, OS QUAIS PODEM SER PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE BAIXA DENSIDADE. O PRESENTE ESTUDO DESENVOLVE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL POR RESÍDUO DE ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA), SENDO UM CONCRETO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL E OUTRO SEM, COM 18% E 44% DE SUBSTITUIÇÃO, RESPECTIVAMENTE. POSTERIORMENTE, FOI AVALIADA A PRÉ-MOLHAGEM DO EVA, POR MEIO DA ANÁLISE MICROESTRUTURAL DA ZONA DE TRANSIÇÃO PASTA-AGREGADO DE EVA, UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE MEV COM EDS E DRX; EM SEGUIDA, ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS (RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, À TRAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE). CONCLUIU-SE QUE O PROCEDIMENTO DE MOLHAGEM PRÉVIA DO EVA É PREJUDICIAL AO CONCRETO, DEVIDO AO AUMENTO DA POROSIDADE NA ZONA INTERFACIAL DE TRANSIÇÃO (ZIT) PASTA-AGREGADO DE EVA. QUANTO ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS, NÃO FORAM AFETADAS PELO EFEITO DA IMERSÃO PRÉVIA.

PALAVRAS-CHAVE: AGREGADO RECICLADO, CONCRETO LEVE, IMERSÃO EM ÁGUA.

1. INTRODUÇÃO

O alto consumo de recursos naturais na produção de concreto tem levado ao desenvolvimento de novas pesquisas, com a finalidade de reduzir os danos ao meio ambiente. Nesse contexto, a substituição de agregados naturais por resíduos da in-

TABELA 1

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	SrO
11,2	2,8	4,3	74,5	0,8	4,4	1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1

dústria tem se mostrado viável, contribuindo tanto para redução do consumo dos recursos naturais, bem como evitando o depósito irregular dos resíduos.

O segmento da indústria calçadista no Brasil em 2022 produziu cerca de 840 milhões de pares de calçados, sendo o 5º maior produtor mundial deste segmento (ABICALÇADOS, 2022). Estima-se que a fabricação de cada par de sapatos gera em torno de 100 a 200g de resíduo (MARGUES, GUEDES e FERREIRA, 2017), sendo que cerca de 15% do resíduo é de etileno acetato de vinila - EVA (UNIDO, 2000 apud CHAGAS, 2021), resultando em aproximadamente 18.900 T/ano no Brasil. A maior problemática desse tipo de resíduo é que,

devido à sua baixa densidade, o volume ocupado é muito grande, além de demorar mais de 150 anos para se decompor. Diante deste cenário, diversos trabalhos têm avaliado o uso deste resíduo para diversas aplicações na construção civil. Tutikian *et al.* (2017) produziram argamassas com resíduo de EVA que apresentaram bons resultados para contrapisos com isolamento acústico. Balagopal *et al.* (2023) produziram piso intertravado com uso resíduo de EVA e cinza da casca de arroz, e verificaram a possibilidade do uso em tráfego leve.

Pesquisas demonstraram que o uso de EVA em concretos altera suas propriedades físicas e mecânicas (LIN e YU, 2022). Estudos na zona de transição pasta-agregado

TABELA 2

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS AGREGADOS

Ensaio Físico	Areia fina	Areia grossa	Brita	EVA
Massa específica (kg/dm ³)	2,65	2,62	2,78	0,686
Massa unitária estado solto (kg/dm ³)	1,58	1,53	1,35	0,156
Dimensão máxima característica (mm)	2,4	4,8	9,5	9,5
Módulo de finura	1,91	2,38	5,57	5,3
Absorção de água após 24h (%)	—	—	—	48,2

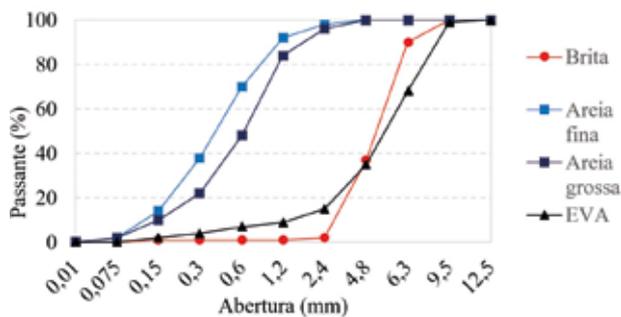


FIGURA 1
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

vem sendo desenvolvidos para avaliação da absorção prévia de agregados leves (VARGAS *et al.*, 2017). A avaliação da influência da pré-molhagem de agregados reciclados na dosagem dos concretos torna-se um desafio devido à sua alta porosidade (LIANG *et al.*, 2024). A avaliação sobre a imersão prévia em água do resíduo de EVA e os efeitos deste procedimento nas propriedades dos concretos carece de um estudo mais detalhado. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a utilização do agregado de resíduo de EVA da indústria calçadista em concretos de cimento Portland de consistência plástica com e sem função estrutural, sendo avaliadas as propriedades físicas, mecânicas e microestrutural para verificar as condições de imersão prévia em água deste agregado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram: cimento Portland tipo CP V - ARI; areia grossa e areia fina como agregados miúdos, como

dos agregados, na Tabela 2 e Figura 1. O resíduo de EVA foi proveniente da indústria calçadista no estado do Ceará.

2.2 Dosagem do concreto

Os concretos avaliados no estudo foram confeccionados de acordo com o trabalho de Bezerra *et al.* (2013), onde os dois percentuais de substituição apresentaram melhores resultados. As proporções foram realizadas em volume e o percentual de substituição em relação ao total de agregados. Foram produzidos 3 traços, um de referência (sem EVA); um com incorporação de 18% de EVA, classificado como CONCRETO NORMAL e ESTRUTURAL; e outro com incorporação de 44% de EVA, classificado como CONCRETO LEVE e NÃO ESTRUTURAL. A nomenclatura adotada apresenta o percentual de substituição de EVA, seguida das siglas SI (sem imersão) ou CI (com imersão) conforme Tabela 3. A imersão em água do agregado de EVA durou 60 minutos e, em seguida, foi retirada a água em excesso, pesado e complementado a

graúdos a brita e resíduo de EVA com as dimensões máximas características descritas na Tabela 2; não foi utilizado aditivo, pois os concretos atingiram o abatimento desejado. A composição química do cimento é apresentada na Tabela 1. As características físicas

diferença de água para manter-se fixa a relação a/c.

Para a etapa de avaliação das propriedades no estado endurecido do concreto foram executados corpos de provas cilíndricos (10 x 20 cm) e para análise microestrutural foram moldados corpos de provas prismáticos (2,5 x 2,5 x 6 cm) de pasta de cimento com EVA.

2.3 Propriedades avaliadas

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foram avaliadas as propriedades no estado endurecido e feita uma análise microestrutural para verificar a influência do efeito da imersão prévia do EVA em água, com utilização da análise de variância ANOVA e teste Tukey para os resultados com diferenças significativas, através do software ASSISTAT.

As propriedades avaliadas no estado endurecido foram: massa específica, absorção de água e índice de vazios aos 28 dias; resistência à compressão aos 25, 56, 91 e 154 dias; resistência à tração por compressão diametral na idade de 28 dias; módulo de elasticidade elástico à compressão na idade de 210 dias. Todos ensaios seguiram as normas técnicas brasileiras.

Para a análise microestrutural foi realizada a Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV e Espectroscopia de Energia Dispersiva - EDS na interface pasta-agregado. Não foi possível fazer o polimento das amostras, pois a composição do polímero não permitiu, devido a tal procedimento danificar a superfície das amostras. As pastas foram moldadas com as proporções da Tabela 4.

As amostras foram ensaiadas aos 28 dias e passaram por uma imersão em

TABELA 3
MISTURAS SEPARADAS POR SEM OU COM IMERSÃO PRÉVIA DE EVA EM ÁGUA

Nomenclatura da mistura	Tratamento	Consumo de cimento (kg/m ³)	% EVA em volume	Traço (em volume)	a/c
			Em relação a todos os agregados	C:AF:AG:EVA:B	
EVA18:SI	Sem imersão	526	18		
EVA18:CI	Com imersão	525	18	1:0,7:0,58:0,41:0,61	
EVA44:SI	Sem imersão	534	44		0,49
EVA44:CI	Com imersão	514	44	1:0,7:0,58:1,02:0,0	
EVA0	—	522	—	1:0,7:0,58:0,0:1,02	

TABELA 4

PASTAS DE CIMENTO COM EVA (SEM OU COM IMERSÃO PRÉVIA DE EVA EM ÁGUA)

Nomenclatura da mistura	Tratamento	Traço (em volume)	a/c
		C:EVA	
EVA18:SI	Sem imersão	1:0,41	0,4
EVA18:CI	Com imersão		
EVA44:SI	Sem imersão	1:1,02	
EVA44:CI	Com imersão		
EVA0	—	1:0,00	

TABELA 5

RESULTADOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO

Traços	Percentual de substituição (%)	Absorção de água por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (Kg/m ³)
EVA18:SI	18	7,2	14	2005
EVA18:CI	18	7,2	13,9	2001
EVA44:SI	44	8	13,2	1661
EVA44:CI	44	8,7	14,1	1630
EVA0	0	6,4	13,9	2182

acetona durante 24 horas para interrupção da hidratação. Em seguida, realizou-se a secagem em estufa por 24 horas, temperatura de 35°C e colocadas em desidratador até o momento do ensaio. O ensaio ocorreu em 11 pontos situados desde a pasta até o agregado de EVA, com comprimento de 200 µm, conforme esquema da Figura 2.

Com a análise de EDS nos pontos observados, fez-se uma regra de três para, a partir dos elementos encontrados, estimar-se o teor dos principais óxidos em cada

ponto. Também foi realizada no pó da pasta de cimento e EVA a técnica Difractograma de Raios-X (DRX).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Propriedades físicas: absorção de água, índice de vazios e massa específica

Na Tabela 5, são apresentadas as médias dos resultados para os traços analisados.

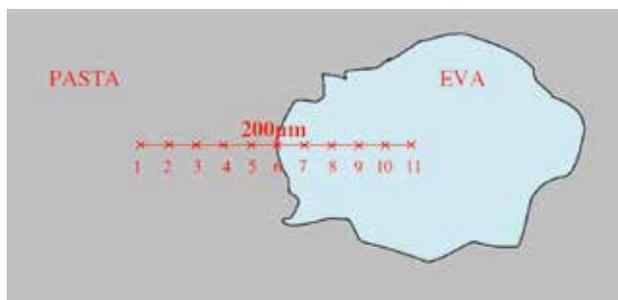
Nas Tabelas 6, 7 e 8, são apresentados os resultados da análise estatística ANOVA para absorção, índice de vazios e massa específica, respectivamente.

De acordo com os resultados, o fator tratamento imersão prévia do EVA apresenta-se como não significativo, já o fator teores de EVA e, ao comparar os concretos com EVA ao concreto de referência, gera efeito significativo ao nível de 1% de significância nos resultados. Aplicando o teste de Tukey, percebe-se que a diferença ocorre no percentual de substituição de 44%. Tal comportamento ocorreu porque o maior excesso de água presente nas regiões da pasta próximas aos agregados de EVA saturados provocou, nas misturas com volume excessivo de EVA, uma maior quantidade de poros e, assim, ficaram mais suscetíveis à absorção de água. Para o índice de vazios, os valores não apresentaram diferenças significativas conforme Tabela 7.

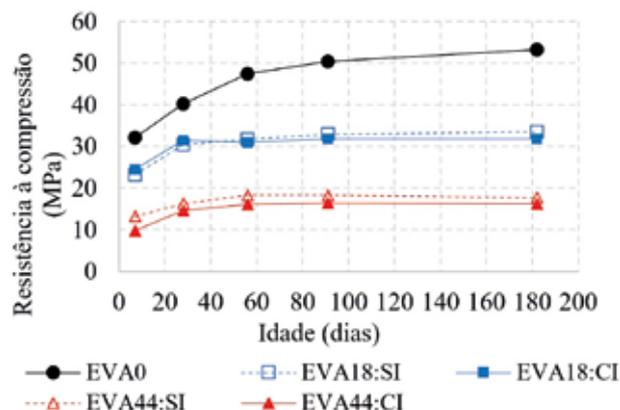
Em relação à massa específica, o fator tratamento imersão prévia e teores de EVA são significativos, também em relação ao concreto de referência conforme Tabela 8. Ao se realizar o teste de Tukey, encontra-se a diferença nas misturas com teores de 44%.

3.2 Propriedades mecânicas: resistência à compressão, à tração diametral, módulo de elasticidade estático.

Em relação à resistência à compressão, os resultados encontram-se na Figura 3.

**FIGURA 2**

DESENHO DA LINHA IMAGINÁRIA COM OS PONTOS PARA OBTENÇÃO DO EDS

**FIGURA 3**

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO X IDADE

TABELA 6

ANOVA (ABSORÇÃO DE ÁGUA)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	0,45	3,32	4,54	0,09	Ns
Fator 2 - Teores de EVA	1	5,32	39,08	8,68	<0,001	**
Int. F1 x F2	1	0,54	4,00	4,54	0,06	Ns
Fatores x Concreto de referência	1	5,95	43,73	8,68	<0,001	**
Erro	15	0,14	—	—	—	—
Total	19	—	—	—	—	—

** = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 1% DE SIGNIFICÂNCIA ($p < 0,01$); Ns = NÃO SIGNIFICATIVO ($p > = 0,05$).**TABELA 7**

ANOVA (ÍNDICE DE VAZIOS)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	0,54	1,26	4,54	0,28	Ns
Fator 2 - Teores de EVA	1	0,30	0,70	0,001	>0,05	Ns
Int. F1 x F2	1	1,16	2,66	4,54	0,12	Ns
Fatores x Concreto de referência	1	0,03	0,07	0,001	>0,05	Ns
Erro	15	0,43	—	—	—	—
Total	19	—	—	—	—	—

Ns = NÃO SIGNIFICATIVO ($p > = 0,05$).**TABELA 8**

ANOVA (MASSA ESPECÍFICA SECA)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	1242,86	7,06	4,54	0,0179	*
Fator 2 - Teores de EVA	1	511409,13	2904,07	8,68	<0,001	**
Int. F1 x F2	1	715,79	4,06	4,54	0,0619	Ns
Fatores x Concreto de referência	1	410322,86	2330,05	8,68	<0,001	**
Erro	15	0,43	—	—	—	—
Total	19	—	—	—	—	—

** = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 1% DE SIGNIFICÂNCIA ($p < 0,01$); * = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE SIGNIFICÂNCIA ($0,01 = < p, 0,05$); Ns = NÃO SIGNIFICATIVO ($p > = 0,05$).

A análise estatística encontra-se na Tabela 9. Percebe-se que há diferença significativa entre o tratamento de imersão prévia, os teores de substituições e idade. Da interação entre os fatores não há diferença significativa, o que significa que, dentro do mesmo grupo, o tratamento por imersão não apresentou diferença. Porém, a resistência diminui com o aumento do percentual de substituição e aumenta com a idade do ensaio para todos os grupos.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, o procedimento

de imersão prévia em água do agregado de EVA também não influencia: os valores são próximos, indicando comportamentos semelhantes para a resistência à tração quando se utiliza agregados sem ou com imersão prévia em água conforme Figura 4.

Já, os concretos com EVA apresentaram uma redução significativa no valor do módulo de elasticidade, em comparação ao concreto de referência. Entretanto, ao comparar concretos utilizando agregados de EVA com traços iguais, o procedimento de imersão prévia do

agregado de EVA em água não influencia no módulo, ou seja, tanto faz se usar agregado previamente saturado ou não. Por meio da Figura 5, verifica-se a diminuição do módulo com o aumento da incorporação do EVA, e, ao se compararem concretos com traços iguais nas condições EVA:SI e EVA:CI, os resultados ficaram muito próximos.

Diante das propriedades mecânicas analisadas, é possível a substituição do agregado natural por resíduo de EVA na produção de concreto leves, tanto estruturais como não estruturais.

TABELA 9

ANOVA (RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	27,6	5,67	4	0,0205	*
Fator 2 - Teores de EVA	1	4228,22	868,15	7,08	<0,001	**
Fator 3 - Idades	4	147,45	30,27	4	<0,001	**
Int. F1 x F2	1	18,03	3,7	3,65	0,0589	Ns
Int. F1 x F3	4	1,03	0,21	0,12	>0,05	Ns
Int. F2 x F3	4	7,26	1,49	2,52	0,2164	Ns
Int. F1 x F2 x F3	4	3,53	0,72	0,12	>0,05	Ns
Erro	60	4,87	—	—	—	—
Total	79	—	—	—	—	—

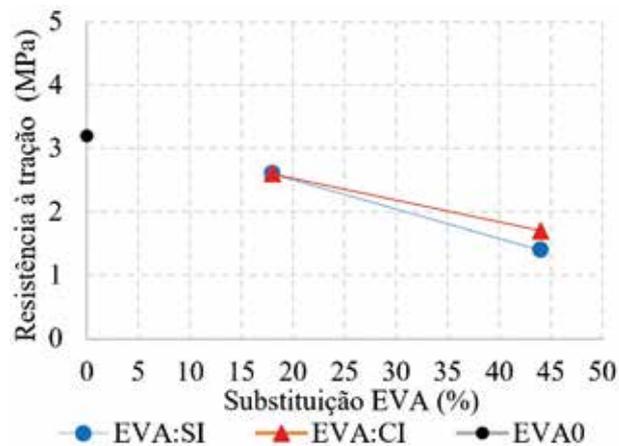
** = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 1% DE SIGNIFICÂNCIA (p < 0,01); * = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE SIGNIFICÂNCIA (0,01 = < p,0,05); Ns = NÃO SIGNIFICATIVO (p > = 0,05).

TABELA 10

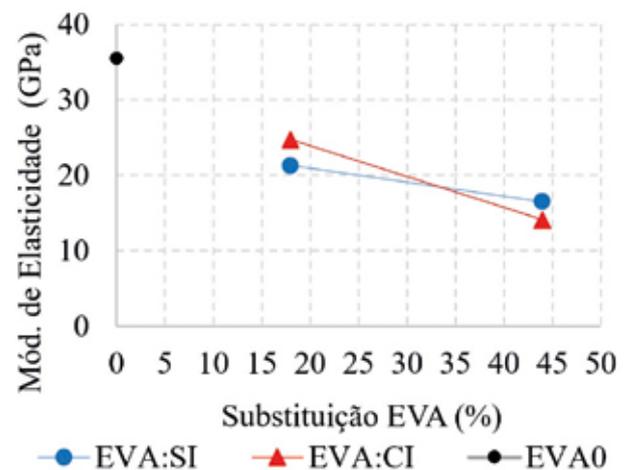
RELAÇÕES DOS ÓXIDOS PARA A IDADE DE 28 DIAS

Relação	Mistura	Pos.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		(μm)	-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
		Elem.	Pasta					Int.	EVA				
CaO	EVA18:SI		7,85	6,89	5,10	5,97	7,86	6,35	4,55	2,79	2,03	1,66	1,82
	EVA18:CI		9,31	5,26	5,54	5,50	4,94	7,71	4,62	6,23	4,32	7,36	7,64
SiO_2	EVA44:SI		5,01	4,07	5,04	4,78	6,93	7,80	7,10	7,16	5,46	3,23	4,08
	EVA44:CI		4,35	5,51	5,67	5,79	12,66	10,24	1,60	0,91	0,81	1,42	1,66
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	EVA18:SI		0,11	0,11	0,12	0,12	0,08	0,15	0,31	0,43	0,53	0,71	0,53
	EVA18:CI		0,06	0,13	0,09	0,13	0,10	0,11	0,17	0,16	0,28	0,10	0,01
CaO	EVA44:SI		0,15	0,15	0,14	0,10	0,08	0,12	0,40	0,50	0,78	1,17	1,25
	EVA44:CI		0,12	0,11	0,08	0,11	0,08	0,12	0,57	1,73	1,85	1,16	1,08
SO_3	EVA18:SI		0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	—	—	—	—	—
	EVA18:CI		0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	—	—	—	—	—
CaO	EVA44:SI		0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	—	—	—	—	—
	EVA44:CI		0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	—	—	—	—	—

FONTE: AUTORES

**FIGURA 4**

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL X SUBSTITUIÇÃO EVA (%)

**FIGURA 5**

MÓDULO DE ELASTICIDADE X SUBSTITUIÇÃO EVA (%)

3.3 Análise microestrutural

A Tabela 10 apresenta a média das relações entre as massas atômicas totais dos óxidos encontrados através da técnica de EDS nas pastas aos 28 dias, conforme descrição do item 2.3, da mistura com 18% e 44% de substituição.

Ao observar a evolução das relações dos óxidos para os concretos EVA18:SI e EVA18:CI, percebe-se que as relações molares se situam em faixas de grandezas semelhantes, não havendo modificações significativas dos valores dos elementos de hidratação do cimento ao se aproximar do grão de EVA. Ambos os concretos demonstram ter comportamentos microestruturais semelhantes. Já, para os concretos com maiores incorporações de EVA (EVA44:SI e EVA44:CI), em ambos ao se aproximar da interface, tem-se uma elevação da relação CaO/SiO_2 , sendo maior para a condição com imersão, indicando um aumento na formação da fase CH e redução da quantidade de C-S-H nesta região, fato característico das zonas de transição, como ocorre quando se utiliza agregados comuns.

Os resultados obtidos nas análises de DRX para as pastas das misturas que utilizam resíduos de EVA e também da mistura de referência (EVA0) na idade de 28 dias estão apresentados nas Figuras 6 a 8. As amostras com EVA mantiveram as fases cristalinas hidratadas do cimento, pois, ao se comparar os picos nos difratogramas da amostra da pasta sem EVA (Figura 6) com as amostras de pastas com EVA (Figuras 7 e 8), não houve o surgimento de picos diferentes aos registrados pela mistura sem EVA, indicando que não deve ter se formado produtos de reações do cimento com o polímero.

Em todas as amostras foram detectados diversos picos referentes às principais fases do clínquer (alita e belita), indicando que a hidratação do cimento ainda não foi completamente concluída. Surgiram, também, picos de etringita com baixa intensidade e não foram observados picos de monosulfoaluminato. O halo detectado entre os ângulos 28° e 36° (2θ) pode ser atribuído à formação do gel amorfo de silicato de cálcio hidra-

tado. O outro halo entre 13° e 26° (2θ), percebido principalmente na amostra EVA44:CI, pode ser atribuído à presença do polímero.

De forma complementar, foram realizadas análises na interface pasta-EVA por meio de imagens do tipo elétrons secundários (ES) e elétrons retroespalhados (BSE) por meio do MEV, que são apresentadas nas Figuras 9 e 10.

Na zona próxima à interface com o agregado artificial, as pastas EVA:SI apresentaram-se mais densas, se comparadas com as pastas EVA:CI (Figura 9).

As pastas EVA:CI demonstraram também existir uma ligação física entre o agregado e a pasta, em que se percebe a penetração da pasta nas saliências de contorno do grão de EVA (Figura

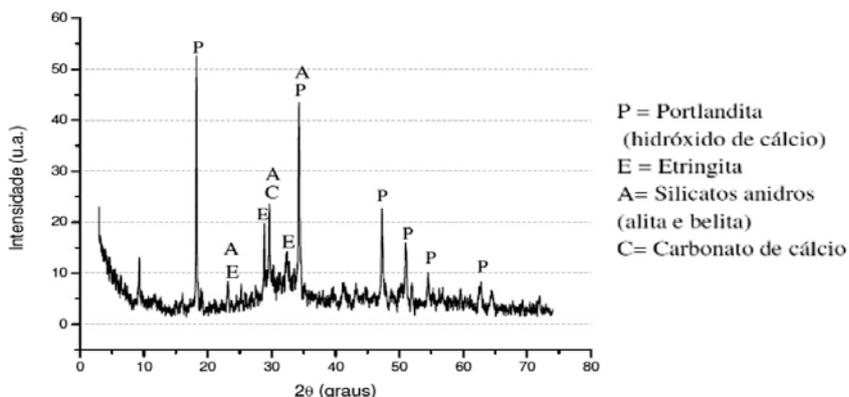


FIGURA 6
DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA PASTA EVA0

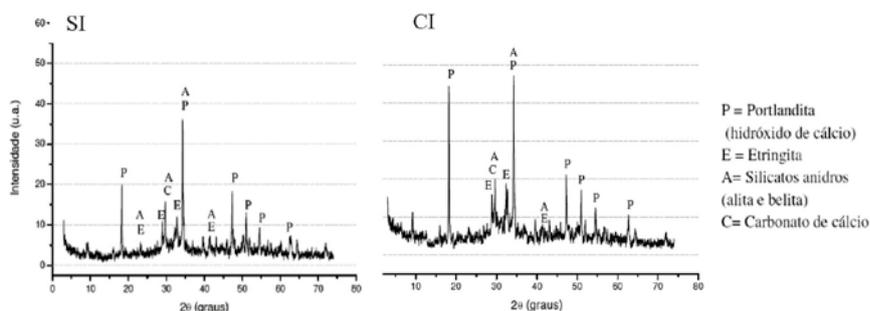


FIGURA 7
DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA PASTA EVA18:SI E EVA18:CI

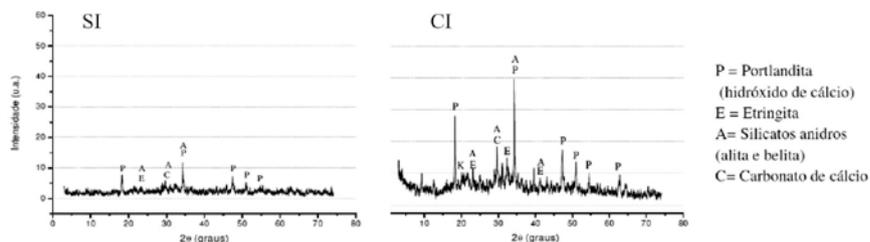


FIGURA 8
DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA PASTA EVA44:SI E EVA44:CI

9b). Porém, nessa mesma imagem, pode-se ver a presença de poros nas regiões próximas ao agregado, deixados pelo excesso de água. Na Figura 9d, observa-se que existem pontos de vazios na interface.

Outra provável consequência da maior presença de água é a formação de uma película que torna a superfície do agregado lisa e, conseqüentemente, diminui a sua capacidade de entrelaçar com a pasta, enfraquecendo a interface, podendo intensificar o efeito parede.

As alterações microestruturais da presença de EVA na pasta se restringiram às alterações quantitativas dos elementos hidratados do cimento. Sendo assim, a presença do EVA na mistura tem a função característica de um agregado.

Não foram detectados depósitos volumosos de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio, e foram encontrados alguns cristais de etringita envolvendo o EVA em pontos das amostras EVA:CI (Figura 9f).

4. CONCLUSÃO

O presente estudo buscou avaliar a necessidade de imersão prévia em água do agregado produzido com resíduos de EVA, quando utilizado em concretos convencionais de consistência plástica. Diante dos resultados apresentados e da análise estatística aplicada, percebeu-se que tal procedimento gerou mudanças não significativas quando comparadas através das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais dos concretos avaliados.

Em relação às propriedades físicas do concreto como massa específica, absorção e índice de vazios, a absorção e massa específica sofreram pequena alteração quando o percentual de EVA foi maior, indicando uma maior porosidade devido ao aumento percentual do agregado. Já as propriedades mecânicas como resistência à tração por compressão diametral, compressão e módulo de elasticidade não foram afetadas pelo efeito da imersão prévia em água, apresentando resultados semelhantes dentro de um mesmo grupo.

Quanto à microestrutura do concreto, a presença do agregado de EVA manteve a formação dos compostos constituídos da pasta de cimento hidratada, indicando que não houve reação do polímero com o aglomerante, o que carac-

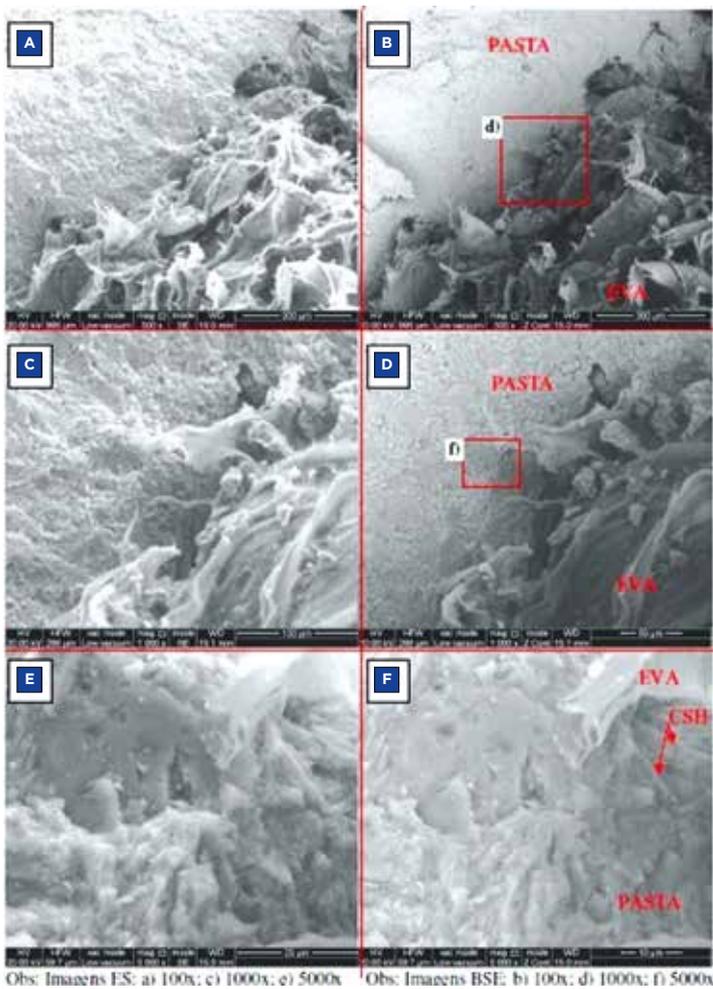


FIGURA 9
IMAGENS MEV DA PASTA DE CIMENTO EVA:SI

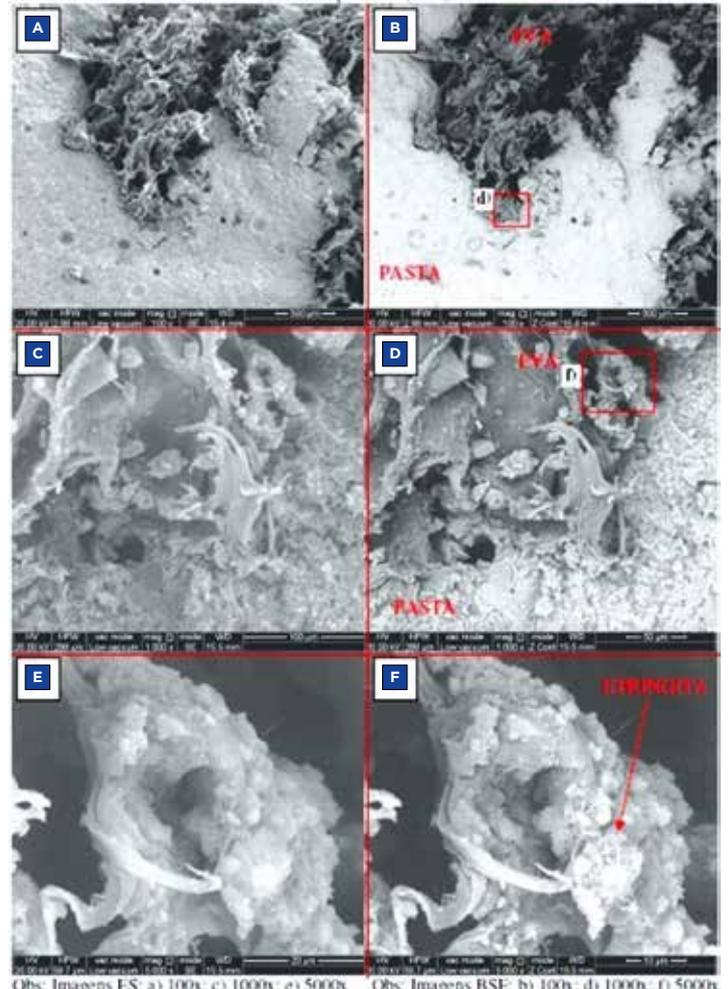


FIGURA 10
IMAGENS MEV DA PASTA DE CIMENTO EVA:CI

teriza de fato o EVA como um agregado inerte. Quando se analisa a microestrutura na zona de transição pasta-agregado de EVA, existe uma diferenciação entre o uso do agregado previamente saturado ao que não passou por esse procedimento. Existindo uma maior formação

de hidróxido de cálcio nas misturas com imersão prévia. Comportamento semelhante aos agregados naturais.

Enfim, conclui-se que, para os teores de EVA incorporados nos concretos dosados nesse estudo, não há diferenças significativas provocadas pelo procedimento

de imersão prévia em água do agregado de EVA. As propriedades avaliadas não sofreram modificações que justificassem tal procedimento antes da utilização do EVA, sendo indicado o uso deste resíduo para produção de concretos leves estruturais e não estruturais. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS (ABICALÇADOS). Relatório anual 2022. Nova Hamburgo, 2022, 68. Disponível em: < <https://assets.abicalcados.com.br/6684/Relato%CC%81rio-Anual-2022.pdf>>. Acessado em 20 de maio de 2024.
- [2] BEZERRA, A. J. V. et al. use of EVA (ethylene vinyl acetate) aggregates in plastic consistency concrete: dosage study. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE SUSTAINABILITY, 2013, Tokyo. Anais do evento. ICCS13, 2013.
- [3] BALAGOPAL, V. et al. Sustainable concrete interlock tile using rice husk ash & EVA polymer. Materials Today: Proceedings. v. 3, 2023.
- [4] CHAGAS, D. T. et al. Gestão de resíduos produzidos na indústria calçadista e implantação de programas ambientais. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 10, n. 1, p. 189-202, 2021.
- [5] LIANG, C. et al. Effect of additional water content and adding methods on the performance of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 423, 2024.
- [6] LIN, Chen-Han; YU, Jason. Research on improving polymer pervious concrete mechanical strength by adding EVA to UP resin binder material. Construction and Building Materials, v. 359, p. 129416, 2022.
- [7] MARQUES, A.; GUEDES, G.; FERREIRA, F. Leather wastes in the Portuguese footwear industry: new framework according design principles and circular economy. Procedia Engineering, v. 200, p. 303-308, 2017.
- [8] TUTIKIAN, B. F. et al. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. Ambiente Construído, v. 17, n. 3, p. 295-306, 2017.
- [9] VARGAS, P. et al. Microstructural analysis of interfacial transition zone (ITZ) and its impact on the compressive strength of lightweight concretes. Construction and Building Materials, v. 137, p. 381-389, 2017.

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>

Durabilidad de hormigones autocompactantes **con adición de polvo de perlita natural**

VERÓNICA ARTIGAS - INGENIERA (veronicaartigas6@gmail.com);

MARÍA V. QUINTANA - DOCTORA PROFESORA (quintanamvirginia@gmail.com) | **INIQUI-CONICET, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA, SALTA, ARGENTINA**
MARÍA J. POSITIERI - DOCTORA PROFESORA (mpositieri@gmail.com) | **CINTEMAC, FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, ARGENTINA**

RESUMEN

LA SOCIEDAD ACTUAL TIENDE A GENERAR PRODUCTOS ECO-SUSTENTABLES Y LA INDUSTRIA DEL HORMIGÓN NO ES AJENA A ESTA TENDENCIA. UNA OPCIÓN PARA LOGRARLO ES PRODUCIR HORMIGONES MÁS SUSTENTABLES MEDIANTE EL REEMPLAZO DE PARTE DEL CEMENTO PORTLAND POR MATERIALES MENOS CONTAMINANTES, COMO PUEDEN SER LOS DESECHOS GENERADOS POR OTRAS INDUSTRIAS. EN ESA LÍNEA ENCONTRAMOS AL POLVO DE PERLITA NATURAL (PPN), DESECHO GENERADO DURANTE EL PROCESAMIENTO DE ROCA DE PERLITA. ESTE TRABAJO PLANTEA LA INCORPORACIÓN DE PORCENTAJES CRECIENTES DE PPN (HASTA 30%) COMO REEMPLAZO DEL CEMENTO EN HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES (HAC). SE CARACTERIZÓ EL PPN Y SE REALIZARON ENSAYOS EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO SOBRE EL HORMIGÓN PARA ANALIZAR LA INFLUENCIA DE ESTE RESIDUO EN ATRIBUTOS COMO SER FLUIDEZ, RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL Y PROPIEDADES DE TRANSPORTE DE LOS HAC, DIRECTAMENTE VINCULADAS CON SU DURABILIDAD. LOS RESULTADOS PERMITEN AFIRMAR QUE ES FACTIBLE REEMPLAZAR HASTA 10% DE CEMENTO PORTLAND EN LOS HAC SIN ALTERAR SIGNIFICATIVAMENTE LAS PROPIEDADES ANALIZADAS.

PALABRAS CLAVES: HAC, PERLITA, DURABILIDAD.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción, el Cemento Portland es el material más utilizado, dado que abarca un amplio rango de propiedades y posibilidades de uso, siendo a su vez un material económico. La producción mundial anual de cemento ronda los 10.000 millones de toneladas, haciendo que este sea el material artificial más utilizado por la humanidad (Bonnet,

y otros, 2019) y el hormigón, elaborado a partir del cemento, es un material ampliamente consumido en todo el mundo y los nuevos avances en materia de construcción, impulsan aún más su utilización.

Por otro lado, la industria cementera se encuentra ante diversos retos que incluyen además de la constante elevación en la demanda de cementos y hormigones, el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, la escasez de materias primas, crecientes problemas medioambientales relacionadas con el cambio climático, y una economía mundial en situación crítica. Cada tonelada producida de Cemento Portland Ordinario (CPO) libera en promedio una cantidad similar de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, representando aproximadamente el 7% de todas las emisiones de carbono causadas por actividades humanas (Pal, 2018).

Los compuestos ambientalmente sostenibles se estudian cada vez más y se utilizan en la práctica para reducir las emisiones de los procesos industriales y, por lo tanto, el deterioro gradual del medio ambiente. En este sentido, la sustitución de materia prima juega un papel fundamental en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en cualquier industria, lo que da como resultado productos más sostenibles y con menos emisiones de carbono (Mishra, Sarsaiya, & Gupta, 2022). Además, dadas todas las implicaciones ambientales de la industria de la construcción, el interés por los materiales de construcción alternativos ha ido creciendo continuamente en las últimas décadas. En este marco, que

cobra importancia el desarrollo de hormigones sustentables que, además de cumplir con los requerimientos como material estructural, también resulten más amigables con el ambiente (Raggioti, 2015).

Siguiendo esta línea, la utilización de residuos de otras industrias como reemplazo de parte del cemento en la elaboración de hormigones se constituye en un objetivo de desarrollo sostenible. Esta investigación evalúa los efectos de la adición de polvo de perlita natural en la durabilidad de HAC; para ello se plantea el reemplazo de parte del cemento Portland por este material de descarte. De esta forma se busca disminuir el consumo de clínker de cemento, minimizar la emisión de dióxido de carbono y contribuir al ahorro energético, todo esto sin afectar negativamente las propiedades durables del hormigón.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La perlita es una roca de origen volcánico con la capacidad sobresaliente de expandirse alcanzando hasta 20 veces su volumen original cuando es sometida a la acción del calor. Al expandirse, la perlita adquiere propiedades que la hacen muy atractiva para diversas industrias; por ejemplo, es muy utilizada en la construcción por ser un excelente aislante térmico y acústico.

La composición de la perlita, principalmente formada por sílice y alúmina, la convierte en un material con potencial puzolánico. El empleo de materiales puzolánicos en los hormigones es beneficioso no sólo para el medioambiente, sino también en términos de durabilidad

y economía de las estructuras (Metha, 1998). En los últimos años, se han llevado a cabo estudios del PPN en HAC como los realizados por Abdulkader y Salem (2017), Karein y otros (2018), Esfandiari & Loghmani (2019) y Abdulkader y otros (2020); los resultados positivos alientan su utilización en estos hormigones llevando a una disminución del consumo de cemento y consecuentemente a contribuir con la sustentabilidad ambiental.

Los yacimientos de perlita se encuentran distribuidos por el mundo; particularmente en la zona de la Puna (Salta, Argentina) existen numerosos yacimientos donde la perlita es extraída por métodos a cielo abierto y posteriormente procesada. Se emplean medios mecánicos para llevar las rocas de perlita a un tamaño menor y así poder transportarlas para continuar su procesamiento. Durante la molienda del material se origina una parte de finos que es considerada desecho y es acumulada al aire libre, formando montículos como los que se aprecian en la Figura 1. El polvo desechado representa un problema para los habitantes de la zona debido a la dispersión de las partículas producida por los fuertes vientos (Artigas, y otros, 2016). Se estima que el 20% de la perlita extraída se convierte en desecho, esto representa cerca de 19 toneladas por día.

3. METODOLOGÍA

3.1 Materiales

El Cemento Portland CPC30 utilizado tiene una densidad de 3,20 g/cm³, el agregado fino natural 2,61 g/cm³, el agregado grueso tamaño máximo 19 mm y densidad 2,66 g/cm³ y el aditivo hiperplastificante a base de policarboxilato presenta un residuo sólido de 35%.

El Polvo de Perlita Natural (PPN) que se utilizó es el proveniente de San Antonio de los Cobres, Salta, Argentina. La densidad es de 2,64 g/cm³ y la superficie específica BET de 5.28 m²/gr. La distribución granulométrica del material, obtenida por difracción laser, muestra que el 90% de las partículas tiene un tamaño inferior a 75 µm. La composición química del PPN está resumida en la Tabla 1 (Artigas *et al.*, 2022), donde se aprecia su elevado contenido de sílice y alúmina.

TABLA 1
COMPOSICIÓN QUÍMICA PPN

Compuesto	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Sulfato	O ₂	H ₂ O
%	30-36	6-8	0-1	0-1	0-1	2.5-5	2-4	exenta	44.5-47.5	3-5

FUENTE: ARTIGAS *et al.* (2022)

3.2 Dosificación

Para analizar la influencia de la utilización de PPN en la durabilidad del hormigón se planteó la elaboración de mezclas con adición de PPN en reemplazo de parte del cemento en HAC. Partiendo de un hormigón patrón (GO), se reemplazó perlita finamente molida en porcentajes del 10, 20 y 30% del peso de cemento (G10, G20 y G30 respectivamente). Se utilizó el método ACI 237 R-07 para las dosificaciones que se resumen en la Tabla 2.

La relación agua/material cementante se mantuvo constante en 0,45. El aditivo hiperfluidificante se incorporó como porcentaje del peso del material cementante, la dosis de aditivo resultó la necesaria para alcanzar una fluidez de $D_F = 70 \pm 2$ cm de diámetro de extendido medido por el *Slump-flow*.

3.3 Ensayos

Con el fin de estudiar la durabilidad de los hormigones elaborados se llevaron a cabo ensayos en estado fresco y se elaboraron probetas destinadas a los ensayos en estado

endurecido. Se moldearon 15 probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para los ensayos de compresión, absorción e índice de vacíos y succión capilar y 3 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para los ensayos a penetración de agua a presión.

Los ensayos realizados sobre los hormigones son los que se describen a continuación:

En estado fresco:

- **Slump-flow:** Ensayo que permite evaluar la fluidez del hormigón (horizontalmente y en ausencia de obstrucciones) y la resistencia a la segregación de la mezcla. El ensayo se rige por la Norma IRAM 1890-1 y consiste en medir los parámetros diámetro final (D_F), tiempo T50 e índice de estabilidad visual (IEV).



FIGURA 1
DESECHOS DE FINOS DE PERLITA ACUMULADOS AL AIRE LIBRE
FUENTE: ARTIGAS Y OTROS (2021)

TABLA 2
DOSIFICACIONES (KG/M³)

Hormigón	Cemento	Agua	PPN	Ag. Fino	Ag. Grueso	Aditivo
GO	445		—			0,60
G10	400	200	45	890	851	0,65
G20	355		90			0,65
G30	310		135			0,70

FUENTE: PROPIA

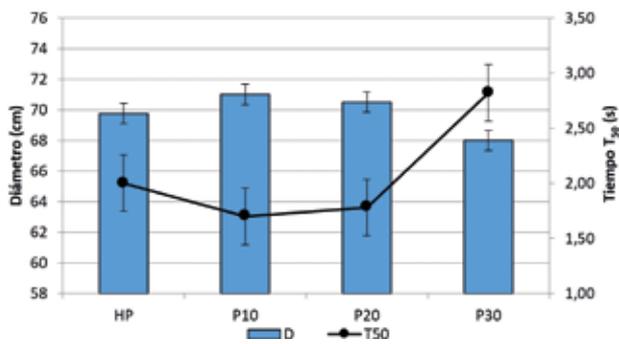


FIGURA 2

DIÁMETROS DE EXTENDIDO D_F Y TIEMPOS T_{50} PARA HORMIGONES CON DISTINTOS PORCENTAJE DE PPN

En estado endurecido:

- **Resistencia a compresión:** La resistencia a la compresión axial del hormigón se determinó siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1546 (2013). Las probetas se mantuvieron sumergidas en pileta de curado hasta horas antes del ensayo, luego fueron extraídas para la medición de sus dimensiones y mantenidas en ambiente de laboratorio hasta el momento del ensayo.
- **Absorción e índice de vacíos:** La absorción de agua y la porosidad del hormigón son factores que afectan su resistencia y durabilidad. Para la determinación de la absorción de agua por inmersión, la densidad y el índice de vacíos de los hormigones se procedió de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM C642-97. Los ensayos se realizaron sobre las probetas con 90 días de edad para tener una mejor consideración del efecto puzolánico del PPN.
- **Succión capilar:** La capacidad y la velocidad de succión capilar del hormigón son parámetros directamente relacionados con la durabilidad del mismo. Como se describe en la norma IRAM 1871 (2004), el ensayo consiste en registrar el incremento de masa de una muestra de hormigón que se encuentra en contacto con el agua en una de sus bases. Se realizó el ensayo a las edades de 28, 90 y 180 días para apreciar la evolución de los resultados con el tiempo y el efecto de la adición de PPN.
- **Penetración de agua a presión:** El ensayo consiste en aplicar agua bajo presión sobre la superficie del hormigón endurecido y posteriormente dividir la probeta en dos partes por rotura para medir la profundidad de penetración

del frente de agua. Se siguió lo dispuesto en la norma IRAM 1554 (1983), considerando la edad de ensayo de 90 días para lograr una mejor apreciación del efecto de la adición de PPN sobre la permeabilidad del hormigón.

Abdulkader y Salem (2017) encuentran que el efecto observado de aumento en la demanda de aditivo hiperfluidificante en los HAC con PPN puede explicarse por la capacidad de absorción de agua de la adición, que aumenta la demanda de agua y, por lo tanto, afecta la trabajabilidad de la mezcla. En conjunción con lo expuesto, para Esfandiari y Loghmani (2019) a mayor sustitución de cemento por PPN, más agua y superplastificante es necesario para alcanzar el flujo de asentamiento adecuado, debido a la gran área superficial y la gran cantidad de poros en la estructura de la perlita, lo que aumenta la demanda de agua.

De la apreciación visual de los extendidos durante el ensayo de escurrimiento (Figura 3) se observa que todas las mezclas son bastante homogéneas. Hay muy pocos o nulos indicios de segregación ya que no se concentra agregado grueso en la parte central ni hay un halo significativo de pasta en el borde del extendido. Los hormigones G0 y G10 presentan un IEV igual a 1, mientras que los G20 y G30 tienen un IEV de 0, lo cual demuestra un leve incremento de la cohesión con la incorporación del PPN.

Del análisis de los resultados en estado fresco puede decirse que el reemplazo de hasta 20% de cemento por PPN en los HAC no afecta significativamente su fluidez, considerando la incorporación de dosis levemente superiores de aditivo hiperfluidificante. Al incorporar 30% de PPN se obtienen valores de D_F y T_{50} similares a los obtenidos en el hormigón patrón, sin embargo, se requiere una dosis

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los principales resultados obtenidos en los ensayos realizados.

4.1 Slump-flow

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros D_F y T_{50} de los hormigones en estudio con sus barras de error correspondientes. Del análisis de los mismo se observa que, dentro de los límites fijados para el D_F , (entre 68 y 72 cm) a menor diámetro mayor es el T_{50} . También, que el valor de T_{50} varía entre 1,5 y 3 segundos, disminuye ligeramente para porcentajes de PPN de 10 y 20% respecto del patrón, pero se incrementa notablemente para el 30% de adición.

De acuerdo a las guías del EFNARC (2005) los HAC con D_F entre 66 y 75 cm son de aplicación para la mayoría de las estructuras, por lo tanto los HAC elaborados para este trabajo están dentro de esta clasificación.

Para todos los porcentajes de reemplazo de cemento por PPN, si se mantiene constante la cantidad de aditivo, a medida que aumenta la dosis de sustitución disminuye el extendido, haciendo visible la influencia de la adición en la consistencia de las mezclas en estado fresco. Este efecto se debe a que el PPN tiene una densidad menor a la del cemento y, como el reemplazo por la adición se realiza en peso, el volumen de perlita a incorporar es mayor y, consecuentemente, también el volumen de sólidos en la pasta y el contacto entre ellos es mayor para un mismo contenido de agua. Por otro lado, la mayor superficie específica de las partículas de PPN con respecto a las de cemento contribuyen a que la absorción de agua sea mayor y aumente la dosis de aditivo requerida para mantener el diámetro de extendido.



FIGURA 3

ENSAYO DE *SLUMP-FLOW*

FUENTE: PROPIA

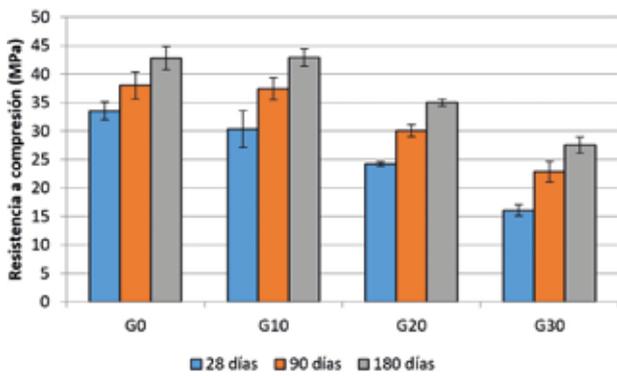


FIGURA 4
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS HAC A 28, 90 Y 180 DÍAS

FUENTE: PROPIA

de aditivo considerablemente superior, un 17% aproximadamente.

4.2 Resistencia a compresión

En la Figura 4 se presentan los resultados de resistencia a compresión de los HAC en estudio a las edades de 28, 90 y 180 días, con sus barras de error correspondientes.

Del análisis de la evolución de la resistencia a compresión en los hormigones, se destacan tres aspectos importantes:

- ▶ A la edad de 28 días, el hormigón G0 es clase resistente H30, el G10 es H25, el G20 es H20 y el G30 es H15. A los 90 días, los hormigones G0 y G10 se posicionan dentro de la clase resistente H35, el G20 en la H25 y el G30 en la H20. A los 180 días, el G0 y el G10 alcanzan la clase resistente H40, mientras que el G20 la H30 y el G30 la H25.
- ▶ A la edad de 90 días el HAC con 10% de PPN alcanza prácticamente la misma resistencia que el HAC patrón a la misma edad.
- ▶ La resistencia a compresión del HAC con 20% de PPN a los 180 días supera la resistencia del hormigón de referencia a 28 días.
- ▶ Hay una mayor evolución de resistencia entre los 28 y 90 días en todos los hormigones con perlita en comparación con el hormigón patrón.

Por lo mencionado se aprecia el efecto puzolánico causado por el PPN, incrementando la resistencia a edades avanzadas

4.3 Absorción, densidad y porosidad

Los resultados de absorción después de inmersión y después de inmersión y ebullición obtenidos para los hormigones en estudio se resumen en la Figura 5 junto

con sus barras de error correspondientes, cada valor corresponde al promedio de tres probetas ensayadas.

Los porcentajes de absorción después de inmersión de los hormigones elaborados son relativamente altos, se encuentran en el

rango de 5,1% a 5,8%. Después de la inmersión y ebullición, los valores de absorción descienden, posicionándose entre 3,4% y 4,3%. La incorporación de PPN disminuye la absorción después de inmersión respecto al patrón, alcanzando una disminución máxima del 13% para el G20. La absorción después de la inmersión y ebullición es un 20% menor en el G30 respecto del G0.

La capacidad de absorción de agua por parte del hormigón depende de múltiples factores, el reemplazo de parte del cemento por PPN origina efectos que se contraponen y pueden modificar la absorción, disminuyéndola como es el caso de los HAC en estudio. La incorporación de perlita en el hormigón genera productos de hidratación que contribuyen a refinar los poros del material, disminuyendo el volumen de poros accesibles y, consecuentemente, la capacidad de absorción del conjunto. Por otro lado, como indica Najimi *et al.* (2012), la absorción de agua del hormigón se ve influenciada por la absorción de agua de cada uno de los materiales empleados

en su fabricación y, especialmente, por la pasta que se encuentra en la superficie del mismo. En este sentido, la perlita al ser un material con mayor capacidad absorbente en relación al cemento podría incrementar los valores de esta propiedad en el hormigón. En este caso, la reducción de la capacidad de absorción debida al refinamiento de los poros del hormigón tiene mayor relevancia que el aumento de la capacidad de absorción que podría generar la perlita debido a su mayor capacidad absorbente.

En la Figura 5 también se presentan los resultados de densidades D_s y D_{SS} y volumen de vacíos, cada valor corresponde al promedio de tres probetas ensayadas. Las densidades D_s y D_{SS} tuvieron una variación prácticamente imperceptible con la adición de PPN en el hormigón (inferior al 2% respecto al patrón). Las densidades aumentan probablemente debido a los productos de hidratación de la perlita, que llenan los poros de la estructura.

En cuanto al volumen de vacíos se observa una disminución de este valor con la incorporación de mayores cantidades de perlita, alcanzando un valor máximo del 19% para el G30. Da Silva y de Brito (2015) destacan que este ensayo tiene ciertas limitaciones, ya que mide únicamente el volumen de poros accesibles (porosidad abierta), pero no es representativo de la porosidad absoluta del hormigón, debido a que no tiene en cuenta los poros cerrados.

4.4 Succión capilar

La Figura 6 presenta la capacidad de

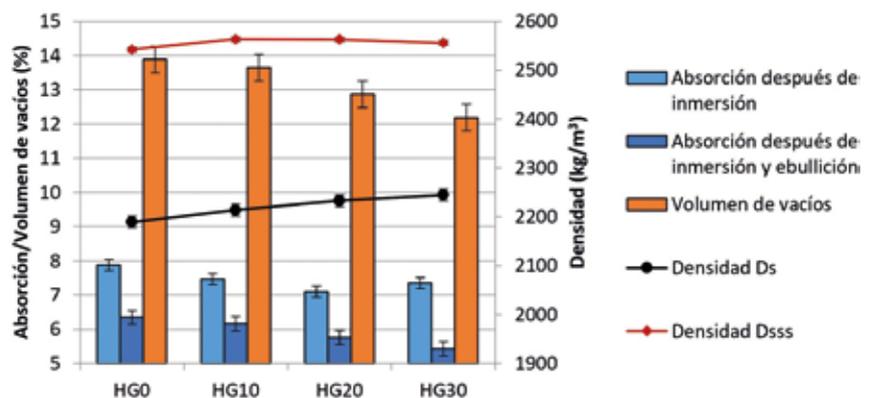


FIGURA 5
ABSORCIÓN, DENSIDAD Y VOLUMEN DE VACÍOS DE LOS HAC

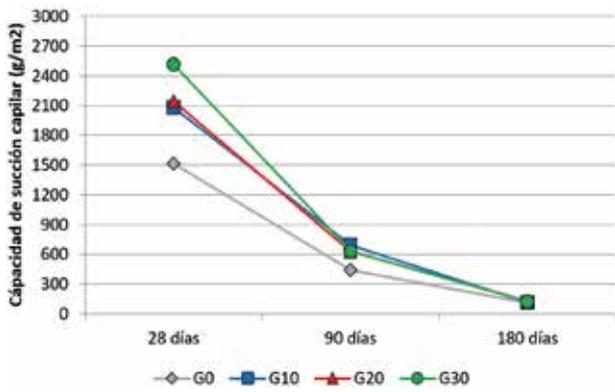


FIGURA 6
CAPACIDAD DE SUCCIÓN A CAPILAR POR CONTENIDO DE PPN EN EL HORMIGÓN A 28, 90 Y 180 DÍAS

succión capilar de los hormigones elaborados para las edades de ensayo de 28, 90 y 180 días. Cada valor representa el promedio de tres probetas ensayadas.

En todos los casos, los valores de capacidad de succión capilar disminuyeron con el paso del tiempo, efecto de la evolución en la hidratación del cemento y de la perlita. A los 28 días los resultados se encuentran entre 1517 y 2516 g/m², mientras que a los 180 días disminuyen considerablemente, hallándose entre 110 y 128 g/m².

La incorporación de PPN incrementa la capacidad de succión capilar del hormigón principalmente a los 28 y 90 días, a estas edades se presentan las mayores diferencias con el hormigón de referencia G0. A los 180 días, todos los valores se aproximan, la diferencia máxima es del 16% y la succión capilar medida en el G10 es apenas 5% mayor que la del patrón.

El incremento de la capacidad de

men de pasta obtenido con el reemplazo es superior al del patrón. La pasta resulta ser más porosa que los agregados, consecuentemente se produce una mayor absorción de agua en los hormigones con mayores dosis de PPN.

Las velocidades de succión capilar alcanzadas por los hormigones en estudio se muestran en la Figura 7 y también los coeficientes de correlación lineales considerados para el cálculo. Del análisis de los resultados se observa que las velocidades de succión capilar a 28 y 90 días calculadas para todos los hormigones son elevadas, mientras que a 180 días estos valores disminuyen considerablemente, presentando velocidades por debajo del límite de 4 g/m².s^{1/2} fijado por Reglamento CIRSOC 201 (2005). Además, las curvas de succión capilar obtenidas se ajustan bien a líneas de tendencia con aproximación lineal, brindando altos coeficientes de correlación, por encima de 0,9727.

Los HAC alcanzan velocidades de succión capilar rela-

tivamente similares a todas las edades, a 180 días la diferencia del G10 con el HAC patrón es de solo 3% y la del G30 resulta un 7% menor.

Se aprecia una disminución de la velocidad de succión capilar entre los 90 y 180 días para los hormigones con perlita, lo cual se debe al efecto puzolánico de este material que genera un refinamiento de la estructura de poros del hormigón, dificultando así el paso del agua.

4.5 Penetración de agua a presión

Los valores de profundidad media y máxima de penetración de agua a presión se presentan en la Figura 8 con sus barras de error correspondientes, cada valor resulta del promedio de tres probetas ensayadas.

De acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201:2005, "los hormigones destinados a estructuras que contengan o conduzcan agua, y que requieran muy baja permeabilidad, deben tener una penetración de agua máxima igual o menor que 50 mm, y una penetración de agua media igual o menor que 30 mm". Considerando los límites reglamentarios impuestos para estos casos extremos, los valores de penetración de agua a presión alcanzados por los hormigones en estudio caen por debajo de lo estipulado tanto para la profundidad media como para la máxima.

Se ve una marcada disminución en la profundidad de penetración con la incorporación de 10% de PPN respecto del patrón, alcanzando una disminución del 34%

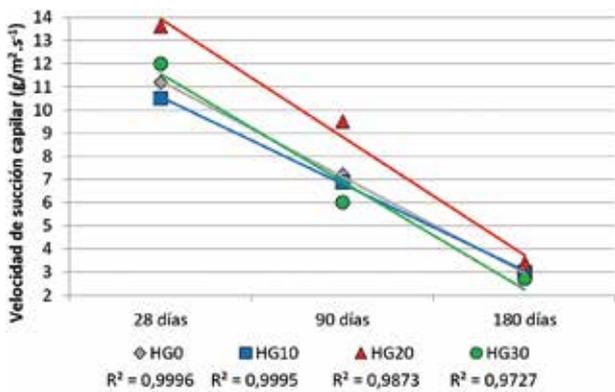


FIGURA 7
VELOCIDAD DE SUCCIÓN A CAPILAR POR CONTENIDO DE PPN EN EL HORMIGÓN A 28, 90 Y 180 DÍAS

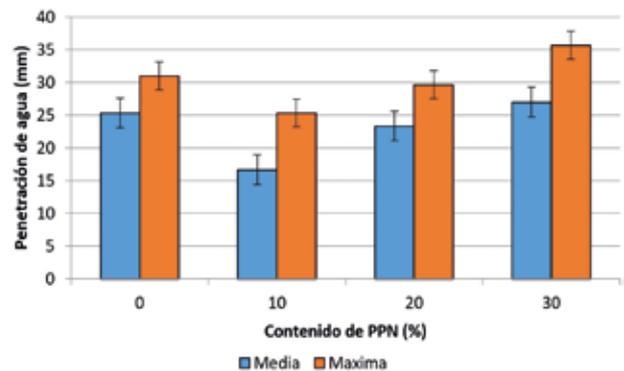


FIGURA 8
PENETRACIÓN DE AGUA A PRESIÓN POR CONTENIDO DE PPN EN EL HORMIGÓN

en la profundidad media. El HAC G20 presenta valores levemente por debajo del G0, mientras que en el G30 las profundidades medias y máximas son mayores, en un 7% y 15% respectivamente.

Najimi *et al.* (2012) indica que la penetración de agua está ligada a la microestructura, entonces la actividad puzolánica y el consumo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dados por la incorporación de PPN disminuyen el volumen de poros del hormigón. Este efecto se observa en los HAC con hasta 20% de perlita donde se reduce la profundidad de penetración de agua con respecto al patrón.

4.6 Relación entre las propiedades de transporte

En los esquemas de la Figura 9 se aprecia la relación entre los resultados de las distintas propiedades de transporte medidas sobre los hormigones en estudio: absorción, velocidad de succión capilar y penetración media de agua a presión. Los valores de velocidad de succión capilar corresponden a los ensayos realizados a 90 días.

Se aprecia claramente como los valores máximos y mínimos correspondientes a absorción y penetración de agua a presión no son coincidentes. Por ejemplo, mientras el G0 presenta la mayor absorción de la serie, el G30 alcanza el valor de penetración de agua a presión más elevado. Para Najimi *et al.* (2012) este efecto puede deberse a las diferencias en cuanto al origen y el proceso de medición de los ensayos. La penetración de agua a presión está relacionada con la microestructura del hormigón; por su parte, la absorción depende en mayor medida de los materiales empleados en la elaboración del hormigón. La incorporación de PPN produce un refinamiento de poros en el hormigón que lleva a la disminución de la penetración de agua a presión; paralelamente, la adición de este material que posee una mayor capacidad absorbente, aumenta la absorción del conjunto.

De acuerdo con Taus (2010), hormigones que presenten valores similares de porosidad y/o absorción, pueden ostentar velocidades de succión capilar muy desiguales. Lo mencionado por la autora se pone de manifiesto en el caso particular de los HAC G20 y G30, donde se obtienen valores de absorción similares; sin embargo,

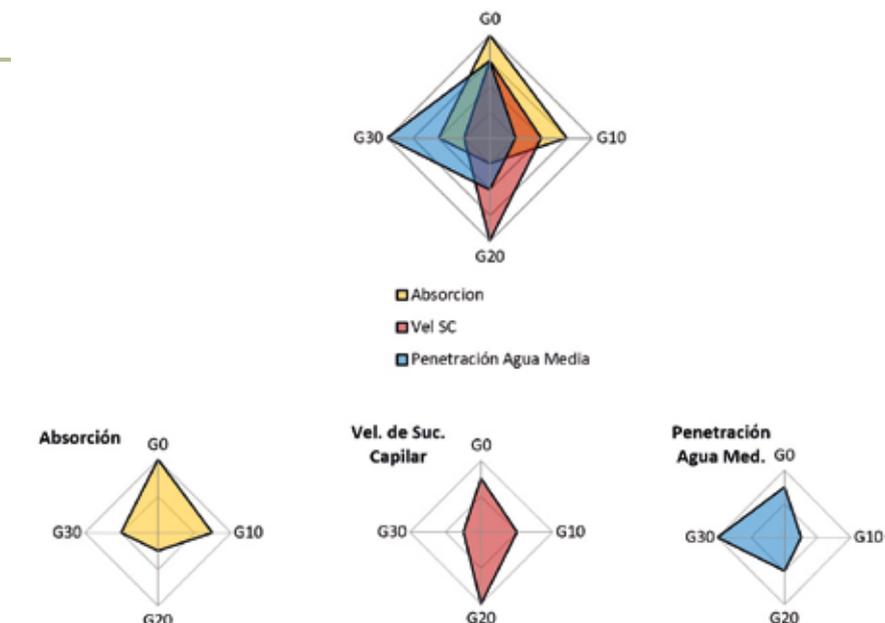


FIGURA 9
RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LAS DISTINTAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE MEDIDAS

las velocidades de succión capilar son muy diferentes. Incorporar PPN hasta una dosis de 20% genera una estructura de poros más fina por la que el ingreso de agua por capilaridad resulta más rápido. Para el hormigón gris con 30% de PPN, el efecto dilución toma más relevancia que el desarrollo de productos de hidratación por efecto puzolánico, generando una estructura con poros más gruesos, a través de la cual mermará la velocidad de succión capilar.

5. CONCLUSIONES

El reemplazo de parte del cemento Portland por polvo de perlita natural, considerado material de descarte, produce un aumento de la absorción de agua de la mezcla, que se traduce en una pérdida de trabajabilidad de la misma; sin embargo, este efecto puede contrarrestarse con un leve incremento de la cantidad de aditivo hiperfluidificante.

Con respecto a los efectos que se producen en las propiedades en estado endurecido, la resistencia a compresión a edades tempranas (28 días) de los HAC disminuye con el reemplazo de mayores proporciones de cemento por PPN. Sin embargo, esta tendencia se revierte a edades avanzadas (90 y 180 días), donde se observa un mayor desarrollo de resistencia en los hormigones con perlita. El reemplazo de hasta 10% de cemento por PPN no afecta significativamente la resistencia a

compresión del hormigón a ninguna edad.

No hay una tendencia clara en la variación de la absorción, la velocidad de succión capilar y la penetración de agua a presión medidas en los HAC con distintas proporciones de PPN en reemplazo del cemento, aunque se observa una mejora en las propiedades de transporte al reemplazar 10% de cemento por PPN. Por lo tanto, desde el punto de vista de la durabilidad del hormigón, es factible el reemplazo de hasta el 10% de cemento por PPN sin afectar negativamente las propiedades del material tanto en estado fresco como endurecido para las propiedades analizadas.

La posibilidad de empleo de los finos de perlita impactaría positivamente en lo que se refiere a la sustentabilidad del ambiente, utilizando un material de descarte que actualmente es un contaminante, disminuyendo la emisión de dióxido de carbono y el consumo de materias primas y energía asociadas al consumo de cemento Portland.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial al LEMIT, particularmente a Alejandro Pittori, Técnico Asociado LEMIT-CICPBA, y a Leandro Carrizo, Profesional LEMIT-CICPBA, por la realización de los ensayos de penetración de agua a presión para este trabajo. Este trabajo fue parcialmente subsidiado por el CIUNSA y por el CONICET. ©

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Abdulkader, E., & Salem, G. (2017). Utilization of industrial waste perlite powder in self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production* 156, 507-517.
- [2] Abdulkader, E., Nehme, S., & Assaad, J. (2020). Durability of self-consolidating concrete containing natural waste perlite powders. *Heliyon* 6.
- [3] Artigas, V., Cortez, F., Burgos, L., Cardozo, H., & Sastre, M. (2016). Diseño de pastas autocompactantes con adición de finos de perlita. VII Congreso Internacional 21ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- [4] Artigas, V., Positieri, M., Quintana, M., & Oshiro, A. (2021). Influencia de finos de perlita en hormigones. *Revista Tecnología y Ciencia* 41, 18-33.
- [5] Bonnet, C., Carcanague, S., Hache, E., Jabberi, A., Seck, G. S., & Simoën, M. (2019). The impact of future generation on cement demand: An assessment based on climate scenarios.
- [6] da Silva, P., & de Brito, J. (2015). Experimental study of the porosity and microstructure of self-compacting concrete (SCC) with binary and ternary mixes of fly ash and limestone filler. *Construction and Building Materials* Vol. 86, 101-112.
- [7] Esfandiari, J., & Loghmani, P. (2019). Effect of perlite powder and silica fume on the compressive strength and microstructural characterization of self-compacting concrete with lime-cement binder. *Measurement* 147.
- [8] Karein, S., Joshaghani, A., Ramezani-pour, A., Isapour, S., & Karakouzian, M. (2018). Effects of the mechanical milling method on transport properties of self-compacting concrete containing perlite powder as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials* 172, 677-684.
- [9] Metha, P. (1998). Role of pozzolanic and cementitious materials in sustainable development of the concrete industry. 6th International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete (págs. 1-25). Farmington Hills: MI: V.M. Malhotra .
- [10] Mishra, U. C., Sarsaiya, S., & Gupta, A. (2022). A systematic review on the impact of cement industries on the natural environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 18440-18451.
- [10] Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B., & Shekarchi, M. (2012). An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials* Vol. 35, 1023-1033.
- [12] Pal, A. (2018). Developing Low-Clinker Ternary Blends for Indian Cement Industry. *J. Inst. Eng. India Ser. A*.
- [13] Raggioti, B. B. (2015). Hormigones con adiciones activas: diseño, optimización y caracterización con criterio de sustentabilidad. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba.
- [14] Taus, V. (2010). Análisis de la succión capilar en hormigones: Influencia de distintos parámetros de ensayo. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires: Tesis Magister.

Prática Recomendada IBRACON/ABECE

Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



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

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

Patrocínio



DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 39

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Aquisição

www.ibracon.org.br
(loja virtual)

Congresso Brasileiro de Túneis

O 6º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, promovido pelo Comitê Brasileiro de Túneis e Espaços Subterrâneos, vai acontecer de 10 a 12 de março de 2025, no Espaço Frei Caneca, em São Paulo/SP. O evento cobrirá 16 temas, que vão desde o projeto até a manutenção e

operação de túneis, destacando o papel vital que as estruturas subterrâneas desempenham na promoção de um desenvolvimento mais sustentável.

O IBRACON apoia o evento, que está com inscrições abertas.

Saiba mais no site do evento:

<https://6cibt.tuneis.org.br/>

SPINFRA acontece em setembro

O X Simpósio de Pesquisas em Infraestrutura Urbana vai discutir os desafios para a infraestrutura no contexto de crise climática, tema transversal aos seus seis eixos temáticos: água potável e saneamento; energia limpa e acessível; indústria, inovação e infraestrutura; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; e ação contra a mudança global do clima. O evento, que acontece nos dias 23 e 24 de setembro, tem formato semipresencial. A palestra de abertura com o secretário mu-

nicipal de infraestrutura de São Paulo, Eng. Marcos Monteiro, e a mesa-redonda serão presenciais, no campus da PUC-Campinas, organizadora do SPINFRA. Já, as apresentações de trabalhos técnico-científicos serão em formato remoto, visando a maior participação da comunidade técnica.

O Simpósio conta com parceria das instituições de ensino UFSCar, UDESC, UFPB, UNICAMP e UFABC.

Mais informações:

<https://spinfra.com.br/>

IBRACON é condecorado no Summit IDD 2024



O presidente do IBRACON, Julio Timerman, recebe prêmio ao lado de outras autoridades

O IBRACON foi uma das entidades condecoradas no Summit IDD 2024, que ocorreu de 27 a 29 de julho, em Curitiba, que completou 15 anos. O evento trouxe palestras, imersões e jantar comemorativo para os profissionais da engenharia civil. Destaque para o estudo de caso da maior piscina de surf indoor do Brasil e do silo de grandes dimensões do Porto de Paranaguá.



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



Campanha de combate à violência contra a mulher em dias de jogos

No último 23 de agosto, foi lançada a campanha de combate à violência contra a mulher em dias de jogos e o selo de boas práticas no combate à violência contra a mulher pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Instituto Nós por Elas e o IBRACON. O objetivo é sensibilizar a socieda-

de sobre a importância do enfrentamento à violência de gênero no âmbito do futebol, incluindo estádios, arenas e torcidas, e incentivar as vítimas e testemunhas a denunciarem os agressores.

O evento contou com personalidades engajadas na luta pelos direitos das mulheres, como Renata Gil, funda-

dora do Instituto Nós por Elas e pela campanha “Sinal Vermelho contra a Violência Doméstica”, Natalie de Castro Alves e Luiza Brunet, presidente e embaixadora do Instituto Nós por Elas.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, prestigiou o lançamento da Campanha no Museu do Futebol.

São Paulo ganha sua primeira passarela de UHPC

Uma passarela de concreto de ultra-alto desempenho (UHPC) foi instalada sobre um córrego no bairro Jardim Marilu, em São Paulo, para facilitar a mobilidade das pessoas da comunidade local.

A passarela, projetada pelo Eng. Roberto Christ e construída pela Cassol Pré-Fabricados, para a entrada do Centro de Convenções de Florianópolis, onde ocorreu o 64º



Diretores do IBRACON e funcionários que realizaram a instalação da ponte

Congresso Brasileiro do Concreto, foi cedida pela Cassol para a comunidade paulistana.

A inauguração, ocorrida em 27 de agosto, contou com a presença do secretário municipal de infraestrutura urbana, Eng. Marcos Monteiro, e do presidente, vice-presidente e diretora de cursos do IBRACON, Eng. Julio Timerman, Prof. Paulo Helene e Engª Jéssika Pacheco, respectivamente, bem como da pesquisadora Cássia Felet.



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

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

Diretor do IBRACON recebe prêmio da IABMAS

O diretor de eventos do IBRACON, Prof. Tulio Bittencourt, recebeu o prêmio Senior Awards 2024 da IABMAS, em reconhecimento às suas contribuições na área de engenharia de pontes. Ele foi o primeiro brasileiro a receber o prêmio da instituição.

A IABMAS é uma associação internacional, fundada em 1999, voltada à



Tulio Bittencourt recebendo o Prêmio 2024 IABMAS Senior Award dos Professores Dan Frangopol (Lehigh University - USA) e Joan Ramon Casas (UPC - Barcelona)

manutenção, segurança e gerenciamento de pontes.

O Prof. Tulio Bittencourt é professor titular da Escola Politécnica da USP e coordenador do Brazilian IABMAS Group. Ele foi presidente do IBRACON de 2011 a 2015.

O prêmio foi entregue no evento da IABMAS em 26 de junho último, em Copenhague, na Dinamarca.

Lançamento da Prática Recomendada PUC permeável moldado *in loco*

O lançamento da Prática Recomendada IBRACON: "Pavimento Urbano de Concreto Permeável Moldado *in Loco*" aconteceu no último dia 1º de julho, no Auditório do Villa Lobos Park Office, em São Paulo.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman e o presidente da ABESCE, Eng. Wagner Lopes, abriram o evento e foram seguidos pela palestra da coordenadora

do CT 306 Pavimentos de Concreto, Andréia Cargnin, que apresentou a publicação aos presentes, que, na sequência, participaram da sessão de autógrafos e do coquetel de lançamento.

A Prática Recomendada, fornece orientações sobre



Presidente do IBRACON, Julio Timerman, abre o Lançamento da Prática Recomendada, observado pelo presidente da ABESCE, Wagner Lopes, e pela coordenadora do CT 306, Andréia Cargnin

seleção de materiais, procedimentos de dosagem, dimensionamento estrutural e hidráulico, execução e manutenção de pavimentos urbanos de concreto permeável, pode ser adquirida na Loja Virtual do site www.ibracon.org.br.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

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

Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre *Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras*, a Prática Recomendada especifica os requisitos técnicos das macrofibras de vidro álcali resistentes para uso estrutural em concreto.

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

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-28-2

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 26

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE MACROFIBRAS DE VIDRO ÁLCALI RESISTENTE (AR) PARA CONCRETO DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



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

CT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

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

Patrocínio



Seminários IBRACON na 15ª Concrete Show

Contribuindo com a disseminação do conhecimento e das práticas para o bom uso do concreto, o Instituto Brasileiro do Concreto organizou dois seminários no Congresso Construindo o Conhecimento, na 15ª Concrete Show, que ocorreu de 6 a 8 de agosto, no São Paulo Expo.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman abriu e coordenou o seminário “O uso do Ultra High Performance Concrete nas Estruturas de Concreto”, no primeiro dia do evento. Nele foram discutidas aplicações e o processo de normalização do UHPC no Brasil. Palestraram a professora da USP, Renata Monte, o professor da Unisinos, Bernardo Tutikian, e o engenheiro da Empório



do Pré-Moldado, Francisco Pedro Oggi. O Seminário Inovação e Sustentabilidade na Indústria Cimenteira apresentou as tendências e as incertezas com relação ao futuro na indústria cimenteira nacional. Seus palestrantes foram o gerente de inovação e desenvolvimento de produtos da CSN Cimentos, Eng. José Abreu, o gerente de novos negócios da Apodi, Eng. Mário Guilge, a diretora da Adibras, Ana Andrade. A coordenação dos trabalhos foi também do Eng. Timerman.

O presidente do IBRACON encerrou sua participação no evento com uma palestra no seminário “Insights da World of Concrete 2024 para a construção civil brasileira” sobre as técnicas emergentes para infraestrutura.

Seminário Inteligência & Inovação



O presidente do IBRACON, Julio Timerman participou da abertura do Seminário Inteligência & Inovação, no dia 2 de agosto, no auditório do Sinduscon-AL, evento promovido pela entidade e a Supermix. O diretor de eventos do IBRACON, Eng. Alexandre Brites, foi palestrante no evento, abordando as argamassas estabilizadas do futuro.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

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

Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a Prática Recomendada especifica os requisitos técnicos das macrofibras poliméricas para uso em concreto estrutural.

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

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-29-9

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 37

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



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

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

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio
Representante CTA: Sofia Maria Carrizo Diniz

Patrocínio



Congresso da AATH



A Associação Argentina de Tecnologia do Concreto realizou a 11ª edição de seu congresso, de 9 a 13 de setembro, em Córdoba. O vice-presidente do IBRACON, Prof.

Paulo Helene, participou do evento e foi jurado do concurso estudantil parecido com o CONCREBOL, juntamente com o Dr. Angel Castillo, diretor do Instituto Eduardo Torroja, de Madrid, na Espanha.

Curso sobre concreto aparente

O curso "Concreto aparente arquitetônico e colorido: conceitos e estudo de casos" ocorreu no último dia 17 de setembro, na empresa Sika, patrocinadora juntamente com a Lanxess.

O curso foi ministrado pelos instrutores Carlos Britez e Dener Altheman, e faz parte do Programa MasterPEC.

Pavimento Urbano de Concreto

O curso apresenta os procedimentos de projeto, orçamento, escolha e dosagem de materiais, execução e avaliação do Pavimento Urbano de Concreto (PUC).

Voltado para engenheiros, arquitetos e estudantes, o curso será ministra-

do pelo diretor técnico da Mixdesign, Eng. Eduardo Tartuce, e pelo coordenador técnico da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (Abesc), Eng. Álvaro Sérgio Barbosa Júnior.

O curso vai acontecer nos dias 22 e 23

de novembro, das 8h às 17h, na sede da Abesc, e conta com 16 créditos do Programa MasterPEC.

Mais informações:

www.ibracon.org.br

(Educação Continuada).

Durabilidade do Concreto

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



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT
Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

DURABILIDADE DO CONCRETO

- **Editores** Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
- **Editora francesa** Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées – França
- **Coordenadores da edição em português** Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)
- **Editora brasileira** IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto. A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-22-0
Edição: 1ª edição
Formato: 18,6 x 23,3cm
Páginas: 615
Acabamento: Capa dura
Ano da publicação: 2014

Patrocínio



FHECOR
DO BRASIL
Engenharia



Estanqueidade de estruturas de concreto em subsolo

O curso apresenta as diretrizes técnicas para a estanqueidade de estruturas de concreto em subsolos por meio de estudos de casos de obras.

Os instrutores e seus temas serão:

- ▶ Eng. Emílio Takagi, diretor técnico da Penetron, abordará as diretrizes do CT 501 Comitê Técnico sobre Estanqueidade de Estruturas de Concreto;
- ▶ Eng. Edward Louis de Mendonça

Uchôa, diretor da Uchoa Engenharia, vai tratar da evolução do projeto estrutural de lajes de subpressão;

- ▶ Eng. Alysson Paulo Schiavinato, superintendente da Supermix, explanará sobre a dosagem do concreto e os desafios na logística em concretagens de lajes de subpressão;
- ▶ Eng. Cláudio Neves Ourives, CEO da Penetron Brasil, apresentará um estudo de caso sobre os métodos executi-

vos adotados em subsolos estanques;

- ▶ Eng. Johnson Pinto, construtora Colil, vai abordar o sistema White Tank para subsolos estanques.

O curso vai ser realizado no Hotel BWP Premier, em Maceió, das 8h às 12h, no dia 22 de outubro, e conta quatro créditos no Programa MasterPEC.

Mais informações:

www.ibracon.org.br

Avaliação multinível para diagnóstico de concretos afetados por reações expansivas

O curso apresenta um método de avaliação das condições atuais de concretos deteriorados por reações expansivas, como reação álcali-agregado e ataque interno por sulfatos, que combina técnicas avançadas de microscopia e ensaios mecânicos, além de técnicas para estimar o potencial

de evolução dessas deteriorações. Seus instrutores são: o professor associado da Universidade de Ottawa, Leandro Sanchez, que contribuiu para o desenvolvimento de protocolos de teste padrão e de modelos descritivos de avaliação do concreto; o doutorando na Universidade de Ottawa e pes-

quisador convidado da Universidade Gustave Eiffel, Rennan Medeiros; e da doutoranda da Universidade de Ottawa, Ana Bergmann.

O curso vai ser realizado no Hotel BWP Premier, em Maceió, das 8h às 17h, de 22 de outubro, e conta com oito créditos no Programa MasterPEC.

COMENTÁRIOS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ABNT NBR 6118:2014

A publicação traz comentários e exemplos de aplicação da nova norma brasileira para projetos de estruturas de concreto - ABNT NBR 6118:2014, objetivando esclarecer os conceitos e exigências normativas e, assim, facilitar seu uso pelos escritórios de projeto.

Fruto do trabalho do Comitê Técnico CT 301, comitê formado por especialistas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), para normalizar o Concreto Estrutural, a obra é voltada para engenheiros civis, arquitetos e tecnologistas.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576244

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 480

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2020

AQUISIÇÃO:

www.ibracon.org.br

(Loja Virtual)



Patrocínio



ACONTECE NAS REGIONAIS

Diretora regional do IBRACON de Alagoas é homenageada como embaixadora do turismo

A diretora regional do IBRACON em Alagoas, Profa. Aline da Silva Barboza, foi uma das homenageadas na 5ª edição do Embaixadores do Turismo, iniciativa promovida pelo Maceió Convention & Visitors Bureau, em reconhecimento à atuação dos profissionais pelo bom desempenho deste segmento no estado. A cerimônia aconteceu no último dia 16 de julho, no restaurante Micale, no qual 33 profissionais das áreas esportivas, acadêmica, tecnológica, jurídica, institucional e

da saúde foram homenageados. A Profª Aline Barboza foi reconhecida na área acadêmica.

O evento contou com o apoio das secretarias de Turismo de Alagoas e Maceió.

Aline Barboza é coordenadora regional do 65º Congresso Brasileiro do Concreto, maior evento técnico-científico sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, que vai ser realizado de 22 a 25 de outubro, no Centro de Convenções de Maceió.



Regional Minas Gerais realiza seminário sobre materiais sustentáveis

A Regional do IBRACON em Minas Gerais realiza o Seminário "Materiais sustentáveis: passos para uma construção circular", no auditório da Amcham,

no dia 1º de outubro, a partir das 17h. Os painelistas Ana Rosa Aon (ACV Brasil) e Genicléio Santos (GMG Engenharia e Consultoria) vão abordar os desafios, oportuni-

dades e soluções para a construção circular e a avaliação de impactos ambientais na construção, respectivamente.

O seminário é co-organizado pela Agera.

Atividades na Regional de Mato Grosso do Sul

A Regional do IBRACON em Mato Grosso do Sul realizou o seminário "Construindo a base para o futuro", no dia 05 de junho último, no auditório da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, em Campo Grande.

Os palestrantes foram o professor Urbano Alonso e o engenheiro Clayton Dalla Cort. O evento contou com 81 participantes. No dia 17 de setembro, a Regional realizou o Encontro Técnico "Aditivo compensador de retração", com o palestrante Renan Sal-

vador, no Café Trentin, em Campo Grande. Já, no dia 20 de setembro, a Regional realiza um treinamento sobre o sistema parede de concreto moldado no local, na empresa EVO, em Campo Grande. A instrutora será a diretora regional, Sandra Bertocini.

Livro

CONCRETO: Ciência e Tecnologia



A publicação aborda os **componentes do concreto**, seu **comportamento no estado fresco e endurecido**, e abrange as **inovações na ciência do concreto**, como **dosagem, confecção e durabilidade**.

Com **2055 páginas**, divididas em **dois volumes**, o compêndio foi escrito por **65 especialistas brasileiros**, sendo voltado para pesquisadores, estudantes de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, profissionais que atuam no setor de construção civil.

ISBN / ISSN: 978-65-89675-00-6

Edição: 3ª edição

Páginas: 2055

Formato: 15,7 x 23cm

Acabamento: capa dura

Ano de Publicação: 2022

Coordenadores: Bernardo Tutikian

Fernanda Pacheco

Geraldo Isaia e

Inês Battagin



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



IBRACON



65º

CONGRESSO BRASILEIRO DO

CONCRETO

22 a 25 - outubro - 2024 - Alagoas - Maceió

Participe do maior evento nacional técnico-científico sobre o Concreto

PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- Estreite relacionamentos na Feira Brasileira da Construção em Concreto
- Associe sua marca a um evento do setor com mais de 50 anos
- Apresente seus cases no Seminário de Novas Tecnologias

PROGRAMAÇÃO

- Conferências plenárias
- Seminários temáticos
- Sessões técnico-científicas
- Cursos de atualização profissional
- Concursos estudantis

Inscrições on-line e promocionais até 20 de Setembro



IBRACON

MAIS INFORMAÇÕES



www.ibracon.org.br



[ibracon_oficial](https://www.instagram.com/ibracon_oficial)



[ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice)



[ibraconOffice](https://www.facebook.com/ibraconOffice)



office@ibracon.org.br

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