

CONCRETO

& Construções

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

ECOEFICIÊNCIA DO CONCRETO E DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO



IBRACON
Instituto Brasileiro do Concreto

Ano XLII

77

JAN-MAR
2015

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

LUIZ HENRIQUE CEOTTO:
DIRETOR DE PROJETO E
CONSTRUÇÃO DA TISHMAN
SPEYER

MERCADO NACIONAL

**O FUTURO DA INDÚSTRIA DE
CIMENTO NUMA ECONOMIA
DE BAIXO CARBONO**

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

**ABNT NBR 9783:
ACEITAÇÃO DE APARELHOS
DE APOIO DE ELASTÔMERO
FRETADO**

Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



Adote concretamente

a revista CONCRETO & Construções



Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundada 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

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO

Aditivos



Adições



Juntas



Equipamentos



Equipamentos e Serviços de Estrada



Recuperação Estrutural



Pires | Giovanetti | Guardia
Tratamento de estruturas

Armadura



Ensino, Pesquisa e Extensão



Escola Politécnica - USP



Escritórios de Projetos



Pré-fabricados



Controle Tecnológico



Construtoras



Cimento



Fôrmas



Governo



Concreto



Agregados



JUNTE-SE A ELAS

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



CRÉDITOS CAPA

PERSPECTIVA DE EDIFICAÇÕES LADEANDO A AVENIDA DAS NAÇÕES UNIDAS, COM DESTAQUE PARA O CENTRO EMPRESARIAL NAÇÕES UNIDAS (CENU), E O TOWER BRIDGE. CRÉDITO: TISHMAN SPEYER

SEÇÕES

- 7 Editorial
- 8 Converse com IBRACON
- 9 Encontros e Notícias
- 13 Personalidade Entrevistada: Luiz Henrique Ceotto
- 86 Mercado Nacional
- 97 Mantenedor
- 116 Acontece nas Regionais
- 122 Agenda de Eventos

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

- 20 Nanotubos de carbono: sustentabilidade dos materiais cimentícios
- 25 ACV e Produção mais Limpa em empresas de artefatos de cimento
- 33 Emissões de CO₂ em pavimentos de concreto armado e reforçado com fibras
- 41 Concreto ontem: cimento amanhã
- 48 Propriedades mecânicas de concretos com RCD
- 58 CAD com escória de ferro-níquel como agregado miúdo
- 65 Propriedades mecânicas do concreto com cinza de bagaço de cana de açúcar
- 71 CCR com fibras de polipropileno
- 77 Durabilidade de estruturas impermeabilizadas por cristalização



ESTRUTURAS EM DETALHES

- 92 Sustentabilidade em projeto de estrutura de concreto armado



ENTENDENDO O CONCRETO

- 98 Concreto drenante e a sustentabilidade

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

- 105 Análise da segurança em estruturas de concreto existentes – Parte II

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

- 112 Aparelhos de apoio estruturais



REVISTA OFICIAL DO IBRACON

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

ISSN 1809-7197

Tiragem desta edição: 5.500 exemplares
Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luís Pedrosa - MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

→ Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br
→ Hugo Rodrigues
hugo.rodrigues@abcp.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Ipsis Gráfica e Editora
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 2015 IBRACON

Todos os direitos de reprodução reservados. Esta revista e suas partes não podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos autores e editores.

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

→ Eduardo Barros Millen (pretendido)

COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Elton Bauer (argamassas)
- Enio Pazini de Figueiredo (durabilidade)
- Evandro Duarte (pretendido)
- Frederico Falconi (projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin (normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
- José Tadeu Balbo (pavimentação)
- Nelson Covas (informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos (arquitetura)
- Paulo Helene (PhD, Alcompat, Epusp)
- Selmo Chapiro Kuperman (barragens)



IBRACON

Rua Julieta Espírito Santo Pinheiro, 68 – CEP 05542-120 Jardim Olimpia – São Paulo – SP Tel. (11) 3735-0202



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

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

DIRETOR PRESIDENTE
Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE
Julio Timerman

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE
Nelson Covas

DIRETOR 1º SECRETÁRIO
Antonio D. de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO
Arcindo Vaquero Y Mayor

DIRETOR 1º TESOUREIRO
Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO
Carlos José Massucato

DIRETOR DE MARKETING

Hugo da Costa Rodrigues Filho

DIRETOR DE EVENTOS

Luiz Prado Vieira Júnior

DIRETORA TÉCNICA

Inês Laranjeira da Silva Battagin

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Ricardo Lessa

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Paulo Helene

DIRETORA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Ana Elisabete Paganelli Guimarães A. Jacintho

DIRETORA DE CURSOS

Íria Lícia Oliva Doniak

DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA

Roseni Cezimbra





Comunicação, conhecimento e inovação

Caro leitor,



Brasil está passando por mais um período de turbulência. Já passamos por outros, graves e não tão graves. A extensão e profundidade das dificuldades atuais só saberemos exatamente depois que as tivermos ultrapassado.

Sim, porque certamente elas serão vencidas, graças à força, competência, resistência e coragem do brasileiro, cuja tolerância e paciência estão se esgotando.

Nesse contexto, os meios de comunicação têm papel fundamental na informação dos fatos, devendo ser precisos e éticos, de modo a não distorcer os acontecimentos. Em hipótese alguma é aceitável qualquer tipo de censura.

O conhecimento das questões técnicas em jogo e seu uso na direção e sentido do bem, do progresso e do desenvolvimento, também fazem parte da solução.

Inovação é a palavra do momento.

Nas situações de crise é ela que diferencia os sobreviventes dos que ficam para trás.

A cadeia da construção, toda ela muito afetada pelos acontecimentos, tem que atuar nas três frentes: comunicar para não se isolar, buscar e fornecer o conhecimento que tem, conforme suas necessidades e competência, e inovar para se diferenciar do lugar comum e sobreviver.

A engenharia nacional em todos os seus níveis está no mínimo equiparada às mais capazes e competentes do mundo em todos os estágios: desde o planejamento, projeto, construção até a manutenção. Evidentemente, desde que tenha tempo para isso.

De seu lado, o IBRACON faz a sua parte cumprindo com sua missão de valorizar, divulgar e defender a cor-

reta utilização do concreto, através, além de outros meios, da revista Concreto & Construções, que nesta edição aborda como assunto de capa a sustentabilidade.

Assunto este colocado nesta edição, exatamente para contribuir para a solução dos problemas atuais que atravessarmos, pois através das tecnologias de concretos de alto desempenho, autoadensáveis e pré-moldados, o desperdício é minimizado e a redução do consumo de materiais e insumos é atingida.

No quesito comunicação, procurando tornar sua leitura mais produtiva, a nossa revista, através do conhecimento do jornalista responsável Fabio Luís Pedroso, das sugestões do Conselho Editorial e, em especial, das sugestões do Diretor de Publicações e Divulgação Técnica do IBRACON, Paulo Helene, inovou e se revitalizou através de um novo Projeto Gráfico, com as seguintes mudanças:

- aumento da área da mancha gráfica, com redução de margens e espaços em branco;
- mudança de duas para três colunas nas principais seções;
- mudança de vinhetas das páginas e das molduras das figuras e tabelas, adequando-as ao novo padrão gráfico.

Com isso, a Revista abre espaço para mais artigos técnicos e maior facilidade de leitura, sem onerar o orçamento.

Esperamos que, assim, nossos leitores e patrocinadores possam ter leitura mais agradável, maior volume de informações e, com isso, poder adquirir mais conhecimento para poder inovar.

EDUARDO BARROS MILLEN

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL DA
REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES

ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL: fabio@ibracon.org.br

PERGUNTAS TÉCNICAS

EM INÚMEROS ARTIGOS E EM ALGUNS LIVROS RELACIONADOS À PATOLOGIA DO CONCRETO, OBSERVEI QUE OS AUTORES DE TAIS TEXTOS ESTABELECEM A SEGREGAÇÃO DO CONCRETO (E, POR CONSEQUENTE, OS NINHOS DE CONCRETAGEM) COMO SENDO MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA. A MINHA DÚVIDA É: AS “BICHEIRAS” OU “BEXIGAS” PODEM SER CONSIDERADAS SINTOMAS DE QUE ALGO NÃO VAI BEM NA ESTRUTURA OU SÃO APENAS ERROS DE EXECUÇÃO OU ESCOLHA DOS MATERIAIS? OUTRA DÚVIDA: A APLICAÇÃO DE INIBIDOR DE CORROSÃO DIRETAMENTE NO CONCRETO, SEJA POR DESCUIDO OU POR DESCONHECIMENTO, ACARRETA EM DANOS A ESTE MATERIAL?

IVAN P. FERRO

ESTUDANTE DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE PIRACICABA (EEP/FUMEP) E ASSOCIADO DO IBRACON

Segue o diagnóstico relativo à primeira pergunta:

- *mecanismo: ausência de pasta ou argamassa no traço de concreto por deficiência de dosagem, ou por lançamento sobre fôrmas e armaduras limpas, ou por falta de vibração;*
- *sintoma: ninhos de concretagem;*
- *origem: procedimento inadequado de concretagem durante a execução;*
- *agentes causadores: operários mal treinados;*
- *prognóstico: acarreta redução da capacidade resistente do concreto e reduz vida útil da estrutura;*
- *ação: precisa corrigir corretamente.*

O termo *segregação do concreto* não se aplica somente a ninhos de concretagem. Esse termo também se aplica a excesso de vibração, que acarreta uma *segregação interna*,

que também pode ocorrer nos concretos fluidos e nos autoadensáveis (existe ensaio específico para medir segregação interna). De forma ampla, a exsudação também é uma forma de segregação particular, ou seja, segregação da água de amassamento do concreto.

Quanto à segunda pergunta, sem dúvida a aplicação de inibidor de corrosão causa danos ao concreto. Os inibidores de corrosão têm atuação química e como toda reação química depende de um equilíbrio entre os compostos químicos do cimento (que são variáveis de um a outro cimento), da concentração de cloretos no ambiente e da composição do inibidor. Tudo deve respeitar certo balanço estequiométrico para bem funcionar. Concentrações de inibidor abaixo das porcentagens ideais, por exemplo, fica bom com 3 a 5%, mas só se usa 1,5%, ou acima de 6%, pode funcionar ao revés, ou seja, vai acelerar a corrosão. Sem falar nos efeitos secundários de reduzir a resistência do concreto à compressão.

PAULO HELENE, DIRETOR DE PUBLICAÇÕES TÉCNICAS DO IBRACON E DIRETOR DA PhD ENGENHARIA

A PARTIR DE COMENTÁRIOS DE EXECUTORES DAS OBRAS E DE ALGUNS ENGENHEIROS, VERIFIQUEI O USO DE UM TRAÇO MAIS RICO EM CIMENTO PARA REALIZAR A JUNTA DE PRIMEIRA FIADA DA ALVENARIA. REALIZEI A LEITURA DA ABNT NBR 15812-2 “ALVENARIA ESTRUTURAL - BLOCOS CERÂMICOS”, REFERENTE À EXECUÇÃO, E NÃO ENCONTREI NENHUMA REFERÊNCIA PARA ESSA CONDIÇÃO, QUE VEM SENDO USADA COM MAIS FREQUÊNCIA EM MINHA REGIÃO. SEU LIVRO “ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS CERÂMICOS”

FALA DAS PROPRIEDADES ESPERADAS PARA A ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO, PORÉM GOSTARIA DE LHE PERGUNTA SE EXISTE ALGUMA EXPLICAÇÃO LÓGICA QUE JUSTIFIQUE O USO DE UMA JUNTA DE ASSENTAMENTO MAIS RESISTENTE NO CONTATO DA LAJE (OU CONTRAPISO) COM A ALVENARIA ESTRUTURAL?

BRUNO MACCAGNAN

Estudante de Engenharia Civil na Universidade de Caxias do Sul

Pelo que consigo enxergar, essa junta difere das outras por ser de regularização, com espessura entre 0,5 a 3 cm. Uma junta muito espessa deformável (fraca) pode prejudicar o desempenho da parede. Também é um ponto mais sujeito à umidade e outras condições adversas.

Por isso, deve ser feita sob toda a face do bloco e com traço mais rico. Em todo caso, a definição do traço busca sempre um equilíbrio. Argamassas fortes têm maior resistência à compressão, mas são mais suscetíveis a fissuras.

GUILHERME PARSEKIAN, PROFESSOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL DA UFSCAR E MEMBRO DO COMITÊ EDITORIAL

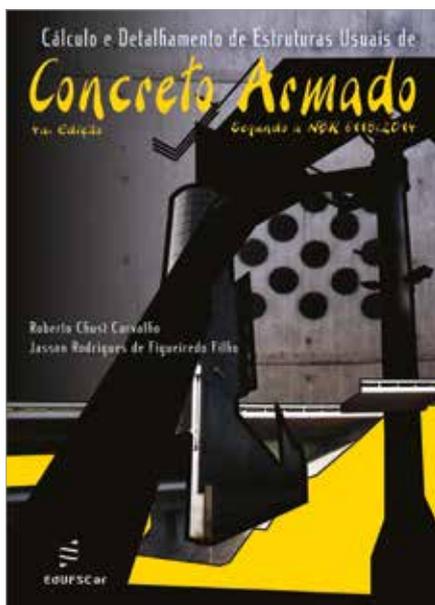
ERRATA

A informação de que o MIS/RJ tem previsão de vida útil de 75 anos, que aparece na página 46 da edição 76 da CONCRETO & Construções, não consta em projeto, especificação ou memória da obra, devendo ser desconsiderada. 📧



Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado

Depois de mais de treze anos, três revisões, várias reimpressões e



cerca de dezoito mil exemplares vendidos, o livro *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado* chega a sua quarta edição pela EdUFSCar. Os engenheiros civis Roberto Chust Carvalho e Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho mantiveram o formato e a sequência das edições anteriores e, para facilitar o uso e aplicação dos assuntos contidos, criaram adendos (para cada capítulo) em que reúnem as fórmulas empregadas.

Uma revisão ampla do texto e exercícios foi realizada para adaptar o conteúdo às prescrições da norma ABNT NBR 6118, de 2014, contemplando o cálculo de elementos em que se

usa concreto de classes C50 a C90. Fruto da experiência acadêmica dos dois autores em diversas instituições de ensino em cursos de graduação, pós-graduação e especialização, principalmente na UFSCar, e da vivência adquirida com a participação em inúmeros projetos de estruturas de concreto, a obra continua sendo um livro didático destinado a alunos de cursos de engenharia civil e a profissionais que desejam aprofundar seus conhecimentos no cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado, apresentando fundamentos teóricos básicos acompanhados de exemplos práticos.

A INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS NO BRASIL TEM VIABILIZADO IMPORTANTES PROJETOS.



As vantagens deste sistema construtivo, presente no Brasil há mais de 50 anos:

- Eficiência Estrutural;
- Flexibilidade Arquitetônica;
- Versatilidade no uso;
- Conformidade com requisitos estabelecidos em normas técnicas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Velocidade de Construção;
- Uso racional de recursos e menor impacto ambiental.

CONHEÇA NOSSAS AÇÕES INSTITUCIONAIS
E AS EMPRESAS ASSOCIADAS.

www.abcic.org.br

Abcic
Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto

Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimentos de concreto: avaliação de ciclo de vida modular

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é metodologia normalizada para o levantamento dos principais impactos ambientais causados por um produto ou serviço, por meio da quantificação dos fluxos de entrada e saída de seu processo produtivo. Para tornar a ACV factível em sistemas que não possuam todos os dados mensuráveis disponíveis, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) desenvolveu um projeto para levantamento de impactos ambientais causados pela indústria brasileira de materiais de construção (Projeto ACV Modular), inicialmente implementado no setor de



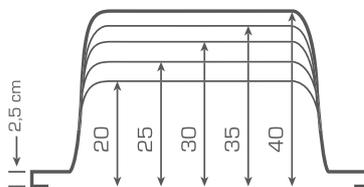
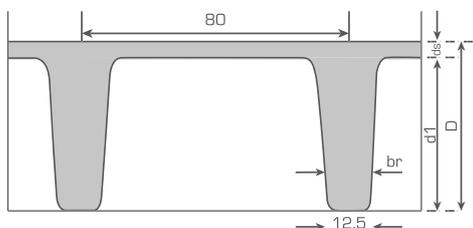
blocos de concreto para alvenaria e para pavimento.

O objetivo do Projeto ACV-m foi estimar faixas nos cinco principais indicadores do setor de blocos de concreto: uso de materiais, consumo de energia e água, emissão de CO₂ e geração de resíduos no processo de produção. Para o estudo foi utilizada a metodologia da ACV simplificada, denominada modular, por representar uma primeira etapa, com um escopo específico, para a execução de uma ACV completa.

A obra, editada pelo CBCS, ABCP e Bloco Brasil, apresenta a metodologia ACV-m, sua implementação na indústria brasileira de blocos de concreto e os indicadores ambientais obtidos.



FÔRMAS CIENTIFICAMENTE PROJETADAS PARA EVITAR DEFORMAÇÕES DURANTE A CONCRETAGEM



Ao utilizar a fôrma 80x72,5 cm, o cliente encontra à sua disposição alguns fornecedores, podendo negociar melhores preços.

Disponibilizamos meias-fôrmas em todas as alturas citadas acima.

31 3392.6550 • 9712.6642
contato@brasilformas.com
www.brasilformas.com



Congresso Brasileiro de Concretagem, Pré-moldados e Agregados

Realizado nos últimos dias 4 e 5 de março, no Hotel Radisson, em São Paulo, o Congresso Brasileiro de Concretagem, Pré-moldados e Agregados (Brascon 2015) contou com a presença de 130 profissionais do setor brasileiro de construção civil.

Realizado pela GMI Global, a programação do evento teve sessões técnicas e comerciais, mesa-redonda sobre acidentes em estruturas de concreto e 15 palestras com especialistas, além de área de exposição com produtos e serviços das empresas do setor.

Durante o evento, houve a premiação “Obra mais notável de concreto”, vencida pelo projeto “Ponte Estaia-

da – Alça da Ponte Paulo Guerra”, localizada em Recife e projetada pelo Eng. José do Patrocínio Figueiroa, da Engedata. O segundo e terceiro lugar ficaram com a Ponte de Laguna, em Santa Catarina, e o Museu da Imagem e do Som, no Rio de Janeiro.

“Conseguimos reunir os profissionais mais destacados na área de concreto e pré-moldado, que compartilhou as últimas ideias, práticas e desenvolvimentos no setor através de excelentes palestras realizadas durante o evento. A participação ativa dos congressistas



Palestra do Prof. Paulo Helene no Brascon 2015

durante o debate de cada sessão enriqueceu e contribuiu para a troca de informação do setor no país”, avaliou Marília Cardoso, gerente de desenvolvimento ao cliente, da GMI Global.

consultoria e projetos estruturais



viabilização de tráfego de cargas especiais

recuperação e reforço de edificações



adequação funcional de obras de arte

projetos de obras de arte



soluções de qualidade

www.engeti.eng.br

Avenida angélica, 1996, conj. 404 - Consolação, São Paulo - SP - CEP: 01228-200 Tel: (11) 3666.9289



Brazil Road Expo 2015

Feira de infraestrutura viária e rodoviária, com participação dos fabricantes e distribuidores de equipamentos e produtos para construção e manutenção de estradas e vias urbanas, pontes, viadutos e túneis, pavimentação em asfalto e concreto, soluções para drenagem, contenção de encostas, segurança, sinalização e gestão de vias e rodovias, a Brazil Road Expo 2015 aconteceu no Transamérica Expo Center, em São Paulo, de 24 a 26 de março.

O Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) esteve presente no evento, com a organização, em conjunto com a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (Abcic), do Seminário de Infraestrutura Viária e Mobilidade Urbana no Congresso da Brazil



Road Expo. No Seminário, que aconteceu no dia 24 de março, no período da manhã, o presidente do IBRACON, Prof. Tulio Bittencourt, apresentou as ferramentas computacionais e tecnoló-

gicas à disposição para o monitoramento das estruturas de pontes. O engenheiro da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Ronaldo Vizzoni, apresentou os pavimentos de concreto como alternativas construtivas sustentáveis. O vice-presidente do IBRACON mostrou o estado da arte da normalização brasileira na inspeção de pontes. E o engenheiro da Cassol, Gustavo Rovaris, trouxe, para o público presente de aproximadamente 40 profissionais, o caso do complexo do Itaguaí, no Rio de Janeiro, obra gerenciada e construída pela empresa.

→ **Informações:** www.brazilroadexpo.com.br

Para construir seus projetos mais importantes, conte com a força do vergalhão Gerdau GG 50. **A força da transformação.**

Ogilvy



O aço da Gerdau tem a força da transformação.

A qualidade da sua obra começa pela estrutura. Por isso, conte com a força do vergalhão Gerdau GG 50. Com ele, você tem a resistência que sua construção precisa, além de toda a confiança de uma marca que você já conhece. **Vergalhão é Gerdau GG 50.**



www.gerdau.com.br

Luiz Henrique Ceotto



Formado engenheiro civil pela Universidade de Brasília, Luiz Henrique

Ceotto especializou-se em engenharia de estruturas na Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

Com passagens por grandes empresas do setor imobiliário e de empreendimento brasileiro, como Impar e Encol, onde chegou ao cargo de diretor de construção, Ceotto é atualmente diretor de projeto e construção da Tishman Speyer.

Membro do Comitê de Tecnologia e Qualidade do Sinduscon-SP, Ceotto atua também como professor convidado do curso de mestrado profissional da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

IBRACON – CONTE-NOS SOBRE SUA CARREIRA PROFISSIONAL.

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Meu pai é engenheiro civil e eu o ajudava nas construções. Por isso, a opção pela Engenharia foi natural. Formei-me na Universidade de Brasília (UnB). Depois, fiz mestrado em engenharia de estruturas na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Participei da empresa de projetos SRTC durante uns três anos. Fui sócio do Nelson Sato, ainda meu amigo, na SRTC. Em seguida, foi trabalhar na Encol, em 1979, em plena crise do BNH, que deixou o mercado imobiliário sem financiamento. Em razão disso, sai da Encol e me tornei prestador de serviços para diversas empresas nos ramos petrolífero (Wirth Latina) e alcooleiro (Dedini, Zanini). Até ser convidado novamente para trabalhar na Encol, onde fiquei nove anos, chegando ao cargo de diretor de construção. Depois disso, fui diretor de construção da Inpar, que hoje é a Viver. Em seguida, tornei-me diretor de projeto e construção da Tishman.

IBRACON – EM ALGUMAS PALESTRAS E ARTIGOS, VOCÊ TEM DEFENDIDO O USO DE TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS CAPAZES DE DIMINUIR O IMPACTO DA CONSTRUÇÃO NO MEIO AMBIENTE. DO PONTO DE VISTA DO PROJETO, QUAIS AS PRINCIPAIS INOVAÇÕES QUE PODEM SER INTRODUZIDAS PARA TORNAR UMA EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Hoje, para edifícios localizados em áreas urbanas, toda tecnologia que possa reduzir o consumo de água e de energia elétrica é extremamente bem-vinda e desejada. Fala-se muito da sustentabilidade durante o período da construção, mas, numa área urbana, onde não se devastam florestas, o maior impacto da edificação no meio ambiente vem de seu uso, durante sua vida útil. Uma premissa da Tishman é que se custa muito, então impacta muito. O impacto ambiental se traduz em diversas formas. É difícil homogeneizar todas essas formas numa única unidade. Uma maneira indireta de medir o impacto seria, então, medir o custo da operação. Desde a concepção até a operação, se impacta, custa. Se for analisado o custo do edifício durante 50 anos, tempo que é o ciclo de vida de um edifício no Brasil (aqui, no país, temos considerado dois ciclos de 50 anos, com um profundo ‘retrofit’ entre esses dois períodos; na Europa, consideram-se quatro ciclos de 50 anos), apenas 15% deste custo é gerado até o final da construção. O restante do custo é durante sua vida útil. Este restante consiste em água e energia consumidas, bem como em materiais consumidos e emissão de gás carbônico para as atividades de manutenção. Assim, da ordem de 80 a 85% do impacto do edifício no meio ambiente ocorre durante sua vida útil. Sendo assim, a prioridade do projeto

não deve ser tanto na construção, mas sim no seu uso. No fundo, a sustentabilidade para edifícios urbanos deve ter como prioridade fazer edifícios econômicos, de fácil manutenção e que possam ser reutilizados no futuro.

IBRACON – O QUE ESTUDOS RECENTES INDICAM QUANTO AO BALANÇO ENTRE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS EM PROJETO DE EDIFICAÇÕES E O RETORNO PROPICIADO EM TERMOS DE BENEFÍCIOS PARA OS USUÁRIOS, CONSTRUTORES E INVESTIDORES?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Antigamente, havia esta dúvida. Hoje, ela não existe mais. O ‘payback’ de qualquer tecnologia que possa ser adotada para economizar água e energia num edifício é alcançado em três ou quatro anos. E vai cada vez mais ser pago em menos tempo, porque a tendência é da energia e da água ficarem mais caras, não apenas no Brasil, mas no mundo. Um exemplo disso são os elevadores inteligentes. Chama-se o elevador inteligente teclando o andar para aonde você vai. O computador faz uma programação sofisticada, reduzindo os percursos do elevador. Além disso, esses elevadores têm uma frenagem regenerativa, consistindo numa freio eletromagnético que produz energia, ao invés de desperdiçá-la em calor, que, antes era armazenada num capacitor, para uma nova partida do elevador, mas, que hoje, entra diretamente na rede elétrica, diminuindo o consumo

“

NUMA ÁREA URBANA,
O MAIOR IMPACTO DA
EDIFICAÇÃO NO MEIO
AMBIENTE VEM DE
SEU USO

”



“

NÃO É SOMENTE UMA QUESTÃO ÉTICA, MAS UM FATO ECONÔMICO O DE LIDERAR UM PROJETO VISANDO À SUSTENTABILIDADE

”

de energia elétrica. Há dez anos, o elevador inteligente era muito caro, em torno de 15 a 20% mais caro que o elevador convencional. Hoje em dia, a diferença deve ser de 2 a 3%. Cada vez mais as tecnologias estão ficando mais baratas e, como cada vez mais a água e a energia estão ficando mais caras, a diferença de preços entre novas e velhas tecnologias diminui. Nas minhas palestras, em pesquisas de custos feitas por mim, tenho demonstrado para o pessoal que, atualmente, é burrice não investir. Não é somente uma questão ética, embora a ética seja importante, mas um fato econômico o de liderar um projeto visando à sustentabilidade. Hoje em dia, quem constrói edifícios não pensando em sustentabilidade está construindo edifícios que serão inviáveis no futuro próximo. São edifícios ‘gastões’ e de manutenção e operação extremamente caras, que inviabilizam o edifício.

IBRACON – AS ESTIMATIVAS CUSTO/RETORNO DESSAS SOLUÇÕES VALEM TAMBÉM PARA O ‘RETROFIT’?

Luiz Henrique Ceotto – Valem sim, não tenho dúvidas. É claro que, no ‘retrofit’, fica-se um pouco mais limitado. Por exemplo, no edifício que estamos (Centro Empresarial das Nações Unidas), feito pela Tishman há quinze anos, estamos atualizando a tecnologia. A arte na construção de edifícios não é apenas torná-los econômicos, mas projetá-los para que possam ser

‘retrofitados’ com facilidade, com um pé direito que permita a passagem de novas instalações que se fizerem necessárias. A ideia é não precisar demolir um edifício para fazer um novo, mas aproveitá-lo no máximo possível. É preciso ter ‘shafts’ sobrando, com ocupação de 50% nos verticais. Temos na Tishman o seguinte ditado: não sabemos as tecnologias que serão usadas daqui a 30 anos, mas meus edifícios vão suportar essas tecnologias. É preciso ter pisos elevados, para passar sistemas elétrico e de dados, e vãos maiores entre pilares. São itens que precisam estar compostos como diretrizes de projeto. Isto é o que considero um edifício realmente sustentável.

IBRACON – A Certificação LEED (Liderança em Energia e Projeto Ambiental) e a Certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) tornaram-se sinônimos de edifícios sustentáveis. Essas certificações ambientais são compatíveis com os critérios defendidos por você? Elas têm atendido bem as necessidades do mercado construtivo nacional? Ou se fazem necessárias adaptações à realidade construtiva nacional?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Muitas vezes, o peso dado a determinados itens são diferentes. O LEED nasceu nos Estados Unidos e, por isso, a prioridade dada à energia é maior do que à água, porque lá a infraestrutura de captação e canalização da água é melhor do que



Faria Lima 3500, com pré-certificação Leed Gold

“

OS EDIFÍCIOS CERTIFICADOS SÃO PARQUES DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DE DESENVOLVIMENTO DE ALTAS TECNOLOGIAS

”

a daqui. Mas, independentemente da prioridade, todos tocam fortemente nos itens que dizem respeito à durabilidade, ao consumo de energia e água durante e após a construção. Ouve-se muita bobagem por aí: “O LEED é americano, defende os interesses americanos e foi feito na realidade americana”. A realidade do mundo é uma só do ponto de vista energético: temos que economizar! Pode-se discutir que o peso dado a um item é maior do que o que daríamos, mas o que importa nessas certificações é que conduzem a projetos de edifícios bastante razoáveis. A certificação é um processo orientado para fazer edifícios sustentáveis. Esse processo precisa ser incorruptível. É preciso uma terceira parte, uma ONG, de absoluta confiabilidade, para dizer à sociedade que o edifício foi feita de acordo com os princípios da sustentabilidade. Por isso, uma certificação brasileira é difícil. Embora a certificação do Ministério de Minas e Energia (MME), o PROCEL, está sendo feita de maneira bastante honesta e competente. Estou vendo com bons olhos que essa certificação brasileira, que é bastante simples, que cabe tanto num edifício e quanto num dispositivo, tem chances de vingar. Precisa-se evoluir um pouco mais nos requisitos e nas pontuações.

IBRACON – O GOVERNO TEM INCENTIVADO A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL EM TERMOS DE REDUÇÃO DE IMPOSTOS, FINANCIAMENTO DE

PROJETOS E FORMAS DE CONTRATAÇÃO?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Tenho visto muito mais discurso do que realidade. Uma coisa que o governo poderia fazer é uma redução de impostos para dispositivos que economizam energia e água, principalmente no sentido de incentivar o ‘retrofit’. A grande realidade é a seguinte: da ordem de 1% a 2% das cidades são renovadas todo ano. O pessoal fala: Esse negócio de certificação é uma grande bobagem porque a cidade se renova, em média, em 1% ao ano; os edifícios sustentáveis são 0,1% deste 1%; então, o impacto positivo é nenhum!”. Mas, não é bem assim. Os edifícios certificados são parques de avaliação de desempenho e de desenvolvimento de altas tecnologias, que, depois, serão disseminados para toda sociedade. São ícones, no sentido de que os outros poderão se orientar por eles. Os elevadores inteligentes foram desenvolvidos para certificação. Hoje, vão para toda a sociedade. Antigamente, ter uma fachada de vidros significava ter dentro do edifício uma estufa. Agora, não. A tecnologia de vidros está tão sofisticada que a quantidade da energia que passa por ele é muito pequena, em torno de 20 a 30%. Os edifícios sustentáveis são ícones que puxam uma quantidade de tecnologias que, depois de dois ou três anos que foi implantada, ficam disponíveis para toda sociedade a um custo muito baixo. Temos que avaliar

a importância da certificação não pelo número de edifícios certificados, mas pelo impacto positivo que traz para todo setor, especialmente para o setor de edifícios já construídos.

Então, qual deveria ser a prioridade governamental? Primeiro: propiciar financiamento para que a população pudesse adquirir essas tecnologias mais econômicas de energia e de água, como as lâmpadas LED, que gasta de 10 a 15% de uma lâmpada comum. Segundo: diminuir os impostos para esses produtos, para que fossem mais acessíveis ainda. Com essa renúncia fiscal o governo estaria ganhando, porque ele investiria menos em infraestrutura. Se reduzirmos o consumo de energia e de água, a infraestrutura começa a sobrar para novos edifícios, sem necessidade de novos investimentos.

IBRACON – COMO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PODERÃO IMPACTAR AS EDIFICAÇÕES? DE QUE FORMA, SOLUÇÕES ADOTADAS NA FASE DE PROJETO PODERÃO DEFENDER O EDIFÍCIO DESSE IMPACTO?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Temos duas situações. Aquela em que o edifício impacta o meio ambiente, com os consumos e emissões. E aquela em que as mudanças climáticas, caracterizadas por longos períodos de seca e períodos muito intensos de chuvas, impactam as edificações. Em períodos de seca e calor, usa-se mais o ar condicionado



e os sistemas hidráulicos, criando a necessidade de maiores reservas de água e de dispositivos que economizem o uso da água. Em períodos de alta concentração de chuva, a rede pública é sobrecarregada, fazendo retornar as águas pluviais e os esgotos para os edifícios, inundando garagens. Então, é preciso projetar a rede de esgoto do edifício para ter válvulas para não deixar o esgoto retornar, com tanques de armazenamento desse esgoto, enquanto as galerias não esvaziam, por duas a três horas. É necessário prever reservatórios no edifício para armazenar a enorme quantidade de chuva, esperando a galeria de água pluvial ceder, e proteger as entradas desses edifícios contra o transbordamento das águas da chuva para as garagens. Com relação à energia elétrica, durante os grandes temporais acontece geralmente falta de energia. Os edifícios precisam ser dotados de geradores a gás ou diesel, de modo que, neste caso, passe a operar em ilha, isolado da rede pública de energia, mantendo seu funcionamento. Além disso, é necessário colocar filtros e redundâncias no sistema elétrico do edifício, de modo que, caso um componente queime, ele seja substituído, sem afetar o funcionamento do edifício. Hoje em dia, projeta-se o edifício para se retirar qualquer componente de grande porte sem mexer em mais nada: paredes, calhas elétricas, etc. A manutenibilidade é total.



Fachada do edifício do complexo Castello Branco Office Park

IBRACON – Os SELOS DE CERTIFICAÇÃO DE PROCESSOS E PRODUTOS, EMITIDOS POR ASSOCIAÇÕES, EMPRESAS E ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS, SÃO UM PASSO IMPORTANTE DO SETOR BRASILEIRO RUMO À CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – São. Desde que se tenha um selo honesto, controlado por entidades que tenham credibilidade junto à sociedade, no sentido de avaliar o produto quanto ao atendimento de requisitos, como economia de água, de energia e de emissão de gás carbônico, entre outros.

IBRACON – A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO É OUTRO PASSO IMPORTANTE RUMO À CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – A industrialização da construção envolve alta produtividade, o que reverte em menos desperdício, seja

de energia, seja de material. A construção manual, artesanal, traz normalmente grandes desperdícios. A construção trabalha com materiais que, na sua produção, consomem muita energia ou emitem muito gás carbônico. O cimento consome muita energia e emite muito gás carbônico na sua produção, porque, no fundo, a produção de cimento consiste em retirar o gás carbônico do calcário, para que ele possa reagir novamente com a água. Fala-se em 6% as emissões de gás carbônico de países industrializados na produção de cimento. O alumínio e aço consomem muita energia.

IBRACON – QUAIS TÊM SIDO AS BARREIRAS PARA UMA MAIOR INCORPORAÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS NO BRASIL?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – O setor está mudando gradativamente, mas



**A INDUSTRIALIZAÇÃO DA
CONSTRUÇÃO ENVOLVE ALTA
PRODUTIVIDADE, O QUE REVERTE
EM MENOS DESPERDÍCIO, SEJA DE
ENERGIA, SEJA DE MATERIAL**





**Tower Bridge Corporate,
com Certificação Leed Gold**

a mentalidade do empresário da construção civil no Brasil ainda é a de empilhar tijolos. Hoje, poucas empresas de construção fazem planejamentos estratégicos e essas poucas raramente utilizam a tecnologia construtiva como ferramenta para viabilizar seu projeto estratégico. Qualquer outro setor produtivo utiliza a tecnologia como base para sua competitividade e para seu planejamento estratégico. A construção civil é um dos poucos setores onde empresários não discutem tecnologia, que não impacta no planejamento estratégico da empresa. Por outro lado, não existe uma política setorial para a construção civil, como, por exemplo, houve para a agricultura.

O papel da Embrapa dentro de uma política de desenvolvimento da agricultura foi fundamental para o Brasil. A construção civil precisa de uma “Embrapa” e precisa de uma política clara para aumentar a produtividade. A construção civil tem sido usada politicamente até hoje para absorver mão de obra pouco qualificada. Existe pouca liderança no setor construtivo brasileiro, que são muito mais políticas do que técnicas, que possam orientar o setor no sentido do desenvolvimento.

IBRACON – QUE CONTRIBUIÇÕES SÃO ESPERADAS NESTE SEGMENTO DOS EDIFÍCIOS VERDES ADVINDAS DA VIGÊNCIA DA NORMA DE DESEMPENHO?

LUIZ HENRIQUE GEOTTO – A Norma de Desempenho foi um trabalho iniciado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e continuado por empresas do Sinduscon-SP (Sindicato da Construção de São Paulo). Depois de muito luta, a norma foi aprovada. Houve muita reação em cima de requisitos básicos e rudimentares. Discutimos coisas que foram discutidas na Europa e nos Estados Unidos há mais de cinquenta anos. Assim, o papel da norma é muito importante, porque, se é elementar, significa que não fazemos nem isso! A qualidade das edificações no Brasil é ruim. A partir de agora, o cliente tem a ferramenta que ele precisa para fazer cumprir a Lei de Defesa do Consumidor na área de edificações.

Mas, falta muita coisa para evoluir. Daqui uns dois anos, é preciso formar uma Comissão para revisar a Norma. Temos que melhorar itens que colocamos em nível mínimo. Um desses itens é o isolamento acústico entre pavimentos; outro é o nível de escorregamento de pisos cerâmicos. Temos que ter um capítulo sobre sistemas elétricos.

IBRACON – O USO DE MATERIAIS RECICLADOS E RECICLÁVEIS É UMA REALIDADE NO MERCADO IMOBILIÁRIO NACIONAL?

LUIZ HENRIQUE GEOTTO – Existem certos tipos de materiais para os quais o nível de aproveitamento é alto, como o alumínio e o aço. Provavelmente, de 30 a 40% do aço consumido é reciclado. Normalmente, esta reutilização acontece com os materiais mais caros. No setor cimentício, temos a utilização das escórias de alto forno no cimento. O CP-III utiliza muita escória de alto forno, que era um problema ambiental. Mas, agora, estamos utilizando um cimento com mais de 50% de escória de alto forno. O CP-III chega à mesma resistência do cimento comum, mas de maneira mais lenta. Existe uma forma de projetar, com coordenação modular, que é outra maneira de reduzir o desperdício. Embora a norma de coordenação modular exista no país, ela não é obedecida pelos fornecedores de materiais e componentes.

IBRACON – COMO VOCÊ VÊ AS PESQUISAS REALIZADAS NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS



**A CONSTRUÇÃO CIVIL É UM DOS POUCOS
SETORES ONDE OS EMPRESÁRIOS NÃO
DISCUTEM TECNOLOGIA, QUE NÃO IMPACTA NO
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA EMPRESA**



“

FALTA LIDERANÇA, UMA POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO PARA O SETOR

”

SOBRE A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AO CONCRETO, POR EXEMPLO, EM SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO E AOS AGREGADOS? ESSES ESTUDOS TÊM BOAS PERSPECTIVAS DE SER APLICADOS NO MERCADO CONSTRUTIVO?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Há quinze anos, tínhamos o problema dos concretos normalmente produzidos no mercado paulista serem de até 20Mpa. Enquanto que, na universidade, fazia-se concretos de 50Mpa. Isto porque os aditivos para o concreto não eram feitos para o nosso cimento.

O grupo de estruturas do Comitê de Tecnologia e Qualidade do Sinduscon juntou a cadeia – fabricantes e universidades – para superar o problema. Um ano depois, tudo mudou. Hoje, o normal nos edifícios é 50Mpa a um custo viável: a diferença de custo entre o concreto de 20 e o de 50 deve ser de, no máximo, 15%. Então, não tem por que usar o de 20, porque a durabilidade é maior e a taxa de armadura é menor no concreto de 50, que permite estruturas mais esbeltas e de melhor desempenho. Falta uma liderança, uma política de desenvolvimento tecnológico para o setor. Se tivéssemos uma política que orientasse, que financiasse teses e a aplicação dessas teses na indústria, de uma maneira mais uniforme e focada, o desenvolvimento do setor seria muito grande. Porque temos equipes muito boas no Brasil. Nosso problema cultural é falta de gestão.

IBRACON – UM PROBLEMA TÍPICO NOS CANTEIROS DE OBRAS NO PAÍS É O DA

INCOMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS, POR FALTA DE UMA VISÃO GERAL E INTEGRADA DO EMPREENDIMENTO POR PARTE DE ARQUITETOS, PROJETISTAS E TÉCNICOS, O QUE GERA DESPÉRDÍCIOS DE MATERIAIS, DE TEMPO E DE DINHEIRO. QUE SOLUÇÕES EXISTEM PARA DAR CONTA DO PROBLEMA? O BIM É UMA DESSAS SOLUÇÕES?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Antes do BIM precisaríamos mudar a mentalidade do arquiteto brasileiro. O arquiteto nos Estados Unidos e na Europa é responsável por todo projeto, pela construtibilidade, pela coordenação dos projetos, e não apenas pela estética. Aqui no Brasil o arquiteto preocupa-se com a estética e tem horror à coordenação de projetos, que é feita por um terceiro e, normalmente, o arquiteto não se envolve nesta coordenação. Então, muitas vezes a construtora modifica o projeto inicial e o arquiteto nem vê. Tem que haver uma mudança radical na maneira do arquiteto enxergar o seu trabalho. O arquiteto tem que ser responsável pelo projeto do começo até o fim, tendo que ajudar durante a obra, com a especificação, com o desempenho do edifício.

O BIM é, na verdade, um conjunto de softwares para fazer o projeto e as maquetes eletrônicas, evitando o problema das interferências. A obrigação do setor é executar obras e projetos com o mínimo de interferências, independentemente de usar ou não o BIM. Laje plana com foro de gesso evita a interferência entre a estrutura

e os sistemas prediais e reduz a interferência entre estrutura e paredes. Os sistemas computacionais vêm para facilitar a construção, de modo a não se improvisar durante a construção.

IBRACON – AS ENTIDADES DO SETOR CONSTRUTIVO TÊM SIDO ATUANTES NA FORMULAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE DIRETRIZES E NA DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO PARA TORNAR AS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Tem, mas falta conversar. Temos muitas entidades de classe, mas que conversam pouco. E existem algumas entidades que querem prevalecer sobre outras, o que é um desastre. Falta uma coordenação voltada para o desenvolvimento do setor com focos claros, com um papel de cada entidade muito bem negociado. Falta isso. Muitas vezes existe uma atuação descoordenada. Dão resultados, mas que poderiam ser, talvez, dez vezes melhores, se houvesse uma coordenação.

IBRACON – O QUE GOSTA DE FAZER EM SEU TEMPO LIVRE?

LUIZ HENRIQUE CEOTTO – Gosto de comprar aviões pequenos antigos, na forma de sucata, para serem restaurados para eu voar. Já restaurei quatro aviões. Estou no quinto. Aviões com 70 a 80 anos de idade. Moro numa casa hangar, em Sorocaba. São cinquenta chácaras com uma única pista, com vizinhos que adoram aviões antigos e os reformam para voar. ✈

Nanotubos de carbono: um caminho para a sustentabilidade de materiais cimentícios

TARCIZO CRUZ C. DE SOUZA – ENGENHEIRO

CTNANOTUBOS

SEIITI SUZUKI – ENGENHEIRO

INTERCEMENT

PÉTER LUDVIG – PROFESSOR

CEFET – MG

JOSÉ MARCIO CALIXTO, LUIZ ORLANDO LADEIRA – PROFESSORES

UFMG

I. INTRODUÇÃO

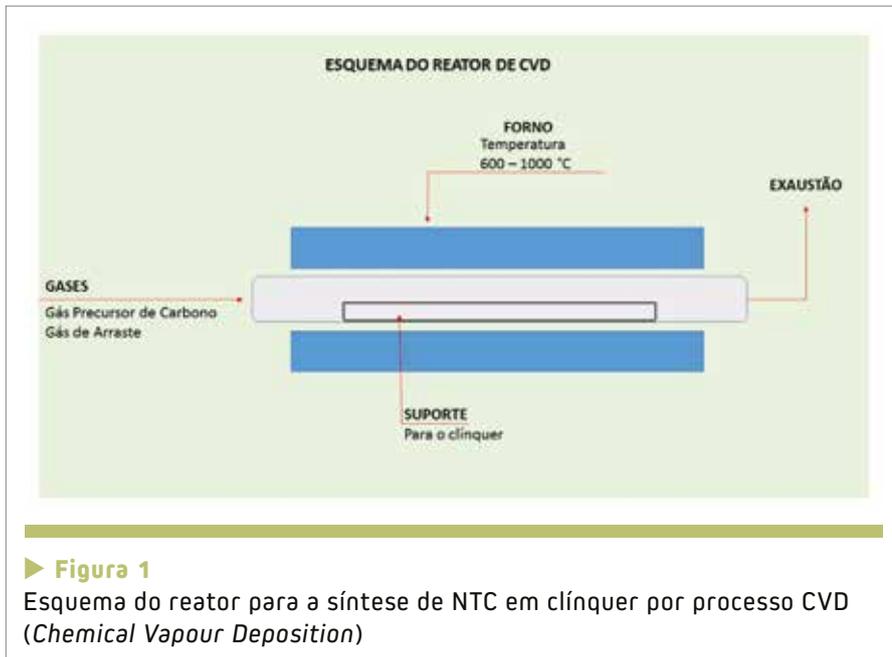
Apelo às questões ambientais e a preocupação com a sustentabilidade são assuntos que cada vez mais devem estar incorporados às atividades industriais. Como um dos maiores setores da indústria, a Construção Civil não está fora de todo o contexto da indústria sustentável. À produção de cimento, insumo que é largamente utilizado na construção civil, é atribuída uma grande parcela da emissão global de dióxido de carbono (CO₂). O gás que é um dos grandes responsáveis pelo agravamento do efeito estufa na atmosfera é também um subproduto de etapas da produção do cimento. Estudos mostram que, para cada tonelada de clínquer produzida, é emitida de 0,8 a 1,0 tonelada de CO₂ na

atmosfera, o que representa cerca de 5% das emissões globais, segundo o WBCSD (2009). Esta é uma relação preocupante, dentro do contexto do desenvolvimento da sociedade e da sustentabilidade, já que a demanda de cimento vem em crescimento vertiginoso e será duplicada até o ano de 2030, segundo a mesma fonte.

O paradigma, então, passa a ser a coordenação entre o crescimento e o baixo impacto ambiental decorrente deste. Em uma visão holística, com foco na indústria de produção de cimentos, esta deve atuar dentro do conceito da “ecologia industrial”, onde se incorpora, no processo de produção, resíduos oriundos de outras indústrias, em substituição às matérias-primas da própria. Desta ideia, surgem os cimentos compostos.

MEHTA (2009), por meio do que ele intitulou como ferramentas sustentáveis (*sustainability tools*), propõe interferências técnicas no modo de produção do cimento e na concepção e dimensionamento de estruturas de concreto, buscando um menor consumo deste material. São três essas “ferramentas”: menor consumo de concreto, menor consumo de cimento nos traços de concreto e menor consumo de clínquer na fabricação do cimento.

A primeira e a segunda “ferramentas” estão associadas ao modo de concepção estrutural e à organização da cadeia produtiva da construção civil. Com o atual desenvolvimento de métodos computacionais, é possível trabalhar de maneira bem efetiva a otimização dos materiais quando da concepção estrutural de um edifício.



A segunda “ferramenta” está relacionada ao dimensionamento estrutural, associado à escolha de uma idade do concreto na qual cada elemento estrutural deverá ter desempenho pleno, de tal forma que suporte os esforços atuantes. Por fim, a terceira “ferramenta” está relacionada ao desenvolvimento na tecnologia de produção do cimento e no estudo de adições e/ou agregados que permitam ao concreto maior resistência e durabilidade, com um consumo mais otimizado de cimento.

Entende-se que sob a ótica do reaproveitamento de resíduos e do desenvolvimento tecnológico na produção do cimento, pode-se chegar a resultados que venham ao encontro do que MEHTA (2009) chama de *Global Concrete Industry Sustainability*, ou seja, enquadrando a indústria de produção de cimentos na sustentabilidade.

Com o uso da nanotecnologia, um grupo de pesquisa na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) desenvolveu um método para sintetizar nanotubos e nanofibras de carbono (NTCs e NFCs) diretamente so-

bre partículas de clínquer (LADEIRA *et al.*, 2008). Nanotubos de carbono são uma forma alotrópica de átomos de carbono na forma de folhas de grafeno, apresentando um arranjo hexagonal e enroladas de modo a formarem um cilindro (NTC de paredes simples) ou cilindros (NTC de paredes múltiplas). Os NTC de paredes simples apresentam diâmetros entre um e dois nanômetros (10^{-9} m) e os de paredes múltiplas, diâmetros da ordem de dezenas de nanômetros. As NFCs são estruturas fibrosas de carbono, com estrutura não tão bem definidas como os NTCs, sendo as folhas de grafeno não orientadas paralelamente ao eixo da NFC e formando uma estrutura no formato de um tronco de cone. Apesar das dimensões diminutas desses materiais, NTCs puros possuem excelentes propriedades mecânicas: a bibliografia cita valores da ordem de 1,0 TPa para o módulo de elasticidade e para resistência à tração de aproximadamente vinte vezes maior que a do aço.

O método desenvolvido para a síntese, além de ser aplicável para pro-

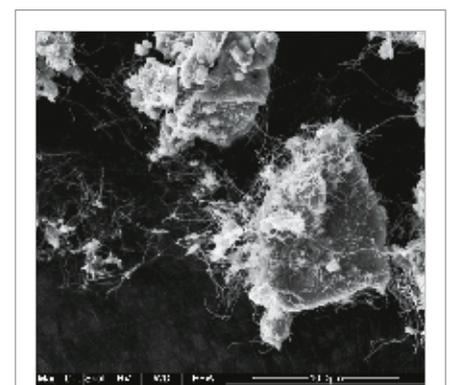
dução em larga escala, envolve ainda o uso de resíduos siderúrgicos, com alto teor de ferro como catalisador, reduz os custos de produção, além de contribuir para uma melhor dispersão desses nanomateriais na matriz de cimento, com ganhos de resistência mecânica e durabilidade.

2. SÍNTESE DO CLÍNQUER NANOESTRUTURADO

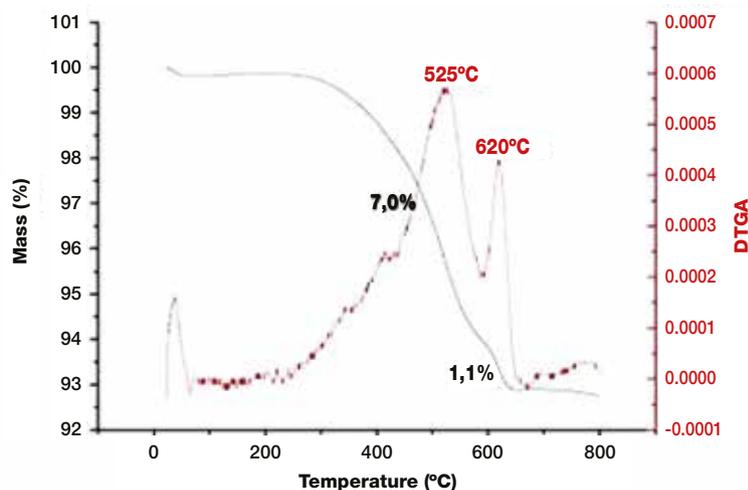
Os NTCs e NFCs são sintetizados de acordo com a metodologia descrita em LUDVIG *et al.* (2011). A Figura 1 ilustra o sistema de síntese empregado.

A presença das nanoestruturas de carbono foi confirmada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), conforme mostra a Figura 2. Os NTCs e NFCs sintetizados no clínquer possuem diâmetro, comprimento e morfologia variados, o que pode ser explicado pela variabilidade da matéria-prima utilizada como catalisador (pó de aciaria). Os diâmetros variam tipicamente entre 30 e 100 nm, com o comprimento podendo chegar a dezenas de micra (μm).

Para a determinação do teor em NTCs e NFCs no clínquer nanoestruturado, realizou-se análise



► **Figura 2**
Imagem de MEV dos NTCs e NFCs sintetizados nas partículas de clínquer



► **Figura 3**
Resultados da análise termogravimétrica dos NTCs e NFCs sinterizados diretamente em clínquer. Preto: curva TGA; vermelho: curva DTGA

termogravimétrica, verificando a perda de massa da amostra. Os produtos sintetizados em clínquer se decompueram em duas temperaturas: a 525 °C e a 620 °C (Figura 3). Estes dois picos de temperatura indicam a presença de dois tipos de materiais: NFCs e NTCs, respectivamente. A taxa de perda de massa na análise ficou entre 7 e 10 %, correspondendo ao teor total de NTCs/NFCs no material nanoestruturado.

3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CIMENTO NANOESTRUTURADO

Para se verificar a influência da presença dos NTCs/NFCs, foi realizada uma caracterização físico-química dos cimentos CP-III e CP-V, fabricados pela Intercement, com a incorporação do clínquer nanoestruturado. O teor de NTCs/NFCs foi de 0,3% da massa de cimento. Os ensaios de caracterização foram realizados de acordo com a normalização brasileira para cimentos Portland. As tabelas 1

e 2 apresentam os resultados da caracterização química e física, respectivamente.

Estes resultados mostram que a adição de 0,3% de NTCs/NFCs aos cimentos tipo CP-III e CP-V não alterou significativamente sua composição química, finura, demanda de água e perda ao fogo, sendo respeitados os limites definidos pelas normas brasileiras. Por outro lado, tempos de pega

inicial e final para ambos os cimentos foram ligeiramente atrasados com a adição do clínquer nanoestruturado. Os tempos de pega observados durante os ensaios, superiores ao tempo convencional para esses tipos de cimentos, podem ser explicados pela utilização de aditivos plastificantes, que têm como objetivo a melhora da dispersão dos NTCs/NFCs em meio aquoso, e que possuem efeito de retardador de pega. Estes aditivos foram adicionados às pastas contendo clínquer nanoestruturado, assim como às pastas convencionais, em concentração igual.

4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CIMENTO NANOESTRUTURADO

Corpos de prova de argamassas, empregando o cimento CP-V, foram preparados utilizando este material nanoestruturado para investigar o seu efeito nas propriedades mecânicas. Os traços utilizados foram na proporção de 1:3 e o fator água cimento foi de 0,43. A areia empregada foi composta de quatro frações iguais em peso de granulometria igual a 0,15 mm,

► **Tabela 1 – Caracterização química dos cimentos Portland CP-III e CP-V**

Composto	Cimento CP-III puro (%)	Cimento CP-III com 0,3% de NTCs/NFCs (%)	Cimento CP-V puro (%)	Cimento CP-V com 0,3% de NTCs/NFCs (%)
SiO ₂	25,89	25,60	21,03	20,89
Al ₂ O ₃	6,64	6,56	5,12	5,07
Fe ₂ O ₃	2,09	2,22	2,56	2,63
CaO	56,31	56,46	61,00	60,94
MgO	3,60	3,59	2,61	2,60
SO ₃	2,38	2,32	3,31	3,24
Na ₂ O	0,28	0,30	0,28	0,28
K ₂ O	0,59	0,58	0,74	0,73



0,30 mm, 0,60 mm e 1,2 mm. O teor de NTC/NFC do traço foi de 0,3 % com relação ao peso de cimento. Um aditivo plastificante foi utilizado para melhorar a fluidez e ajudar na dispersão dos NTCs e NFCs. Além dessas argamassas contendo material nanoestruturado, misturas de referência (REF), com exatamente o mesmo traço, foram produzidas para cada tipo de suporte, porém sem NTCs ou NFCs.

Para cada mistura, corpos de prova prismáticos, no tamanho 40 x 40 x 160 mm³, foram moldados em fôrmas de acrílico. Os corpos de prova foram desmoldados com um dia de idade e mantidos em cura com água até a data dos ensaios. As argamassas foram ensaiadas aos 28 dias de idade. Ensaios de flexão em três pontos foram realizados numa prensa servo-controlada com capacidade de 20 kN. Em seguida, a resistência à compressão foi determinada numa das metades do corpo de prova prismático restante. Os valores de resistência de cada composição apresentados nas Figuras 4 e 5 corresponderam às médias dos

► Tabela 2 – Caracterização física dos cimentos Portland CP-III e CP-V

Composto	Cimento CP-III puro (%)	Cimento CP-III com 0,3% de NTCs/NFCs (%)	Cimento CP-V puro (%)	Cimento CP-V com 0,3% de NTCs/NFCs (%)
Finura <i>Blaine</i> (cm ² /g) (NBR NM76)	4199	4209	4653	4752
Relação água/cimento para consistência normal (NBR NM43)	0,280	0,286	0,297	0,302
Perda ao fogo (%) (NBR NM18)	2,69	2,74	3,72	3,64
Início do tempo de pega (NBR NM65)	475 min.	485 min.	205 min.	240 min.
Final do tempo de pega (NBR NM65)	550 min.	565 min.	305 min.	320 min.

valores de resistência de pelo menos quatro corpos de prova.

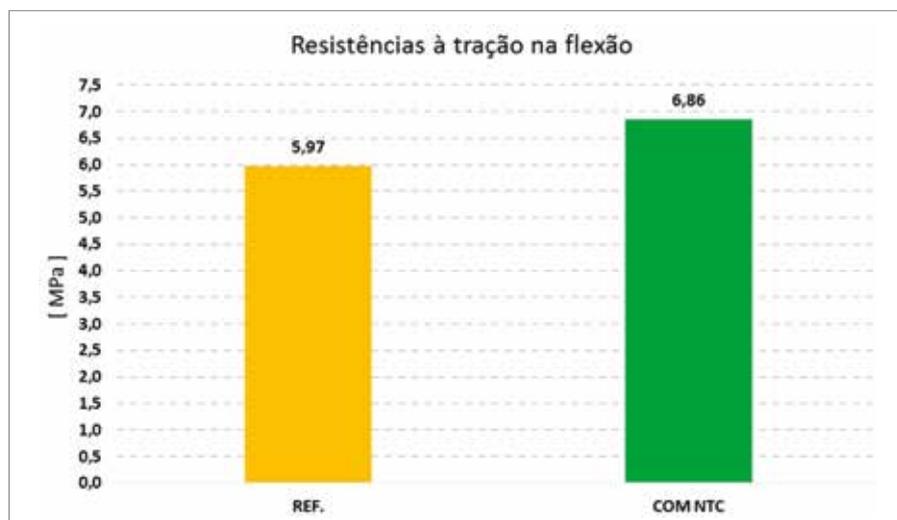
Observou-se um ganho de 15% na resistência à tração e 43% na resistência à compressão como efeito da adição de NTCs e NFCs. Esses valores não foram significativamente diferentes dos resultados obtidos anteriormente,

utilizando NTCs de alta qualidade em mistura física (MELO *et al.*, 2011). Esses ganhos contribuem para um material de desempenho mecânico melhor, abrindo o caminho para novas aplicações do cimento. O aumento da resistência à tração pode levar a uma resistência maior para a formação de fissuras e trincas, o que melhora a durabilidade das estruturas construídas com adição de NTCs e NFCs.

5. MICROESTRUTURA

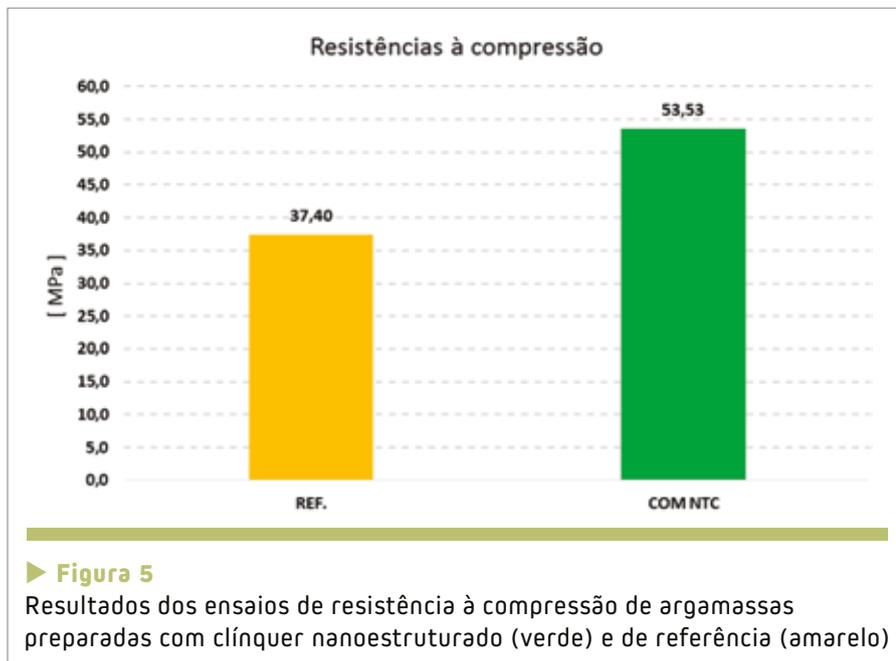
Dos corpos de prova de argamassa previamente ensaiados, foram retiradas amostras para análise da microestrutura. Os métodos utilizados foram a porosimetria por adsorção de nitrogênio e picnometria de hélio.

Os resultados observados durante a análise de adsorção gasosa foram um aumento de 40% na área superficial específica e uma redução de 20% no diâmetro médio dos poros, quando comparado com as amostras das argamassas preparadas sem



► Figura 4

Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão de argamassas preparadas com clínquer nanoestruturado (verde) e de referência (amarelo)



adição de NTCs/NFCs. Ao mesmo tempo, um aumento de 2% na densidade foi observado nas argamassas contendo NTCs/NFCs. Esses resultados podem ser interpretados como um refinamento dos poros das argamassas produzidas com o clínquer nanoestruturado, o que, por sua vez, pode levar a uma menor permeabilidade diante de agentes corrosivos, melhorando, assim, a durabilidade dessas estruturas.

6. CONCLUSÕES

A adição de 0,3% de nanotubos/nanofibras em massa não alterou as características físico-químicas dos ci-

mentos Portland CP-III e CP-V. Para ambos os cimentos, a presença do clínquer nanoestruturado retardou tanto o início quanto final do tempo de pega. Por outro lado, foram observados ganhos significativos nas resistências à compressão e à tração na flexão. Além disso, as propriedades de microestrutura também foram alteradas, incluindo um refinamento dos poros e pequeno aumento da densidade.

Essas propriedades podem contribuir para diminuir o impacto ambiental causado pela indústria de cimento. Utilizando a terminologia proposta por MEHTA (2009), duas

das três ferramentas podem ser influenciadas positivamente no rumo a uma indústria de construção mais sustentável. Um cimento com resistência maior pode permitir a redução do consumo de concreto nas estruturas, ou uma redução do consumo de cimento para obter um concreto com uma determinada resistência. As alterações observadas na estrutura dos poros das argamassas sugerem um maior esforço necessário para a penetração de qualquer agente corrosivo. Isso influencia positivamente na durabilidade dos materiais produzidos a partir de clínquer nanoestruturado, elevando os intervalos para qualquer intervenção de reparo ou reforço, aumentando a vida útil e reduzindo os custos e impactos ambientais.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo auxílio financeiro e material da Intercement e pela ajuda na realização dos ensaios mecânicos por parte da Magnesita SA. O projeto é parcialmente financiado pelo INCT – Nanomateriais de Carbono, pela FAPEMIG e pelo projeto CAPES/PROCAD. Os experimentos envolvendo microscopia eletrônica foram realizados no Centro de Microscopia da UFMG (<http://www.microscopia.ufmg.br>). 📧

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ABNT NBR NM43: Cimento Portland – Determinação da água de consistência normal no estado fresco. Rio de Janeiro, 2002.
- [02] ABNT NBR NM76: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método Blaine). Rio de Janeiro, 1998.
- [03] ABNT NBR NM65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.
- [04] Ladeira, L. O.; Silva, E. E.; Oliveira, S.; Lacerda, R. G.; Ferlauto, A. S.; Ávila E. e Lourençon, E. Processo de síntese contínua e em larga escala de nanotubos de carbono sobre o clínquer de cimento e produtos nanoestruturados, Patente Brasileiro, INPI 014080002727 (30.04.2008).
- [05] Ludvig, P.; Calixto, J. M.; Ladeira, L. O. e Gaspar, I. C. P. (2011) Using converter dust to produce low cost cementitious composites by *in situ* carbon nanotube and nanofiber synthesis, *Materials*, Vol. 4, pp. 575-584.
- [06] Mehta, P. K. (2009) Global Concrete Industry Sustainability - tools for moving forward to cut carbon emissions, *Concrete International*, No. 2, pp. 45-48.
- [07] Melo, V. S.; Calixto, J. M.; Ladeira, L. O. e Silva A. P. (2011) Macro- and micro-characterization of mortars produced with carbon nanotubes, *ACI Materials Journal*, Vol. 108, No. 3, pp. 327-332.
- [08] WBCSD, Cement Technology Roadmap – Carbon emissions reductions up to 2050, 2009.



Aplicação da ACV e da produção mais limpa em empresas de artefatos de cimento

CLÁUDIO OLIVEIRA SILVA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP

VANDERLEY M. JOHN

ESCOLA POLITÉCNICA, USP

I. INTRODUÇÃO

A avaliação do ciclo de vida - ACV é a ferramenta do sistema de gestão ambiental ISO14000 para gerar os dados quantitativos necessários a gestão ambiental. Em seu conceito, ela envolve medir os fluxos de matéria (incluindo matérias primas, todos os resíduos, emissões de poluentes) e energia ao longo do ciclo de vida do produto. Como o ciclo de vida do produto inclui a fabricação, uso e descarte final do produto em questão e também de todos insumos nele utilizados. Assim o inventário deve se estender também a cadeia de fornecedores e consumidores, requerendo enorme massa de dados.

A ACV completa, devido à sua complexidade e custos elevados, é de difícil implantação em pequenas e médias empresas. Em consequência o uso da ACV tem ficado mais restrito às grandes corporações, que a fazem esporadicamente, e a estudos acadêmicos. Até o momento a ACV gerou um número limitado de indicadores de impactos am-

bientais de produtos, que de uma forma geral não são representativos da diversidade industrial de muitos setores. No Brasil ainda é mais incipiente

A prática internacional tem sido considerar que, dentro de um mesmo mercado e usando uma mesma rota tecnológica, um produto padronizado tem também um impacto ambiental “padrão”, independente do seu fabricante. No entanto, é importante observar que, diferentes empresas concorrentes, certamente possuem diferentes culturas e filosofias empresariais, equipes com capacidades diversas, variadas abordagens tecnológicas e podem utilizar diferentes fornecedores para insumos e máquinas. Estas diferenças podem implicar em variações significativas de seus impactos ambientais para um mesmo produto. Quando se fala de setores industriais, ou de um produto padronizado – blocos de concreto – é necessário comunicar ao mercado, não apenas um valor médio de indicadores de impacto ambiental, mas sim as suas faixas de variação, alertando os fabricantes e os

consumidores para a diversidade e estimulando a melhoria.

A prática de considerar que cada produto tem um impacto médio, impede a diferenciação entre empresas do mesmo setor, além de permitir o uso do *greenwashing*¹, ou seja, permite que uma empresa cuja tecnologia resulta em impacto ambiental muito acima da média setorial divulgue em sua propaganda os impactos médios setoriais obtidos pelo esforço dos melhores fabricantes. Neste cenário, este fabricante não tem qualquer incentivo para melhorar. A proposta de ACV Modular, que está sendo implantada na construção civil brasileira, busca superar estes problemas: permite que pequenas e médias empresas participem, pois seu módulo básico é simples; é modular, pois pode ser expandida futuramente a uma ACV completa; não divulga dados médios (ou típicos) dos produtos, mas a faixa de variação esperada para os impactos principais, impedindo o *greenwash*; torna evidente aos consumidores a diferença entre os

¹ TERMO UTILIZADO PARA INDICAR A APROPRIAÇÃO INDEVIDA DE VIRTUDES AMBIENTAIS DE DETERMINADO PRODUTO OU EMPRESA, MEDIANTE O USO DE TÉCNICAS DE MARKETING, COM O OBJETIVO DE CRIAR UMA IMAGEM POSITIVA JUNTO O PÚBLICO ALVO, ACERCA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS, OCULTANDO-SE OS REAIS IMPACTOS CAUSADOS.

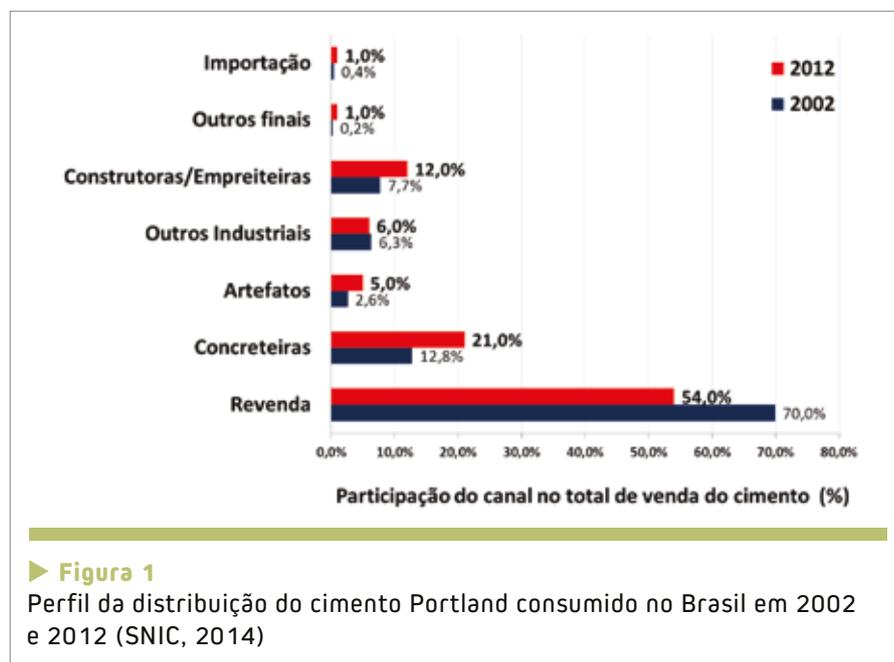
fabricantes de um mesmo produto e a necessidade de selecionar fornecedores; em consequência, incentiva as empresas a melhorarem e a elaborarem declarações ambientais dos seus produtos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um caso prático de uso da ferramenta de ACV-Modular, na promoção de tecnologias de Produção mais Limpa no setor de blocos de concreto.

2. A PRODUÇÃO DE CIMENTO E O SETOR DE ARTEFATOS NO BRASIL

O setor de cimento é responsável globalmente por cerca de 5% das emissões de gases do efeito estufa – GEE, devido a dois fatores intrínsecos ao processo de produção do cimento Portland: a calcinação de matérias-primas e o consumo dos combustíveis necessários para manter as altas temperaturas do forno de produção de clínquer. Nos próximos anos, a expectativa é que a participação da indústria nas emissões de CO₂ aumente, à medida que a demanda por cimento cresça, principalmente nos países em desenvolvimento, aumentando a pressão ambiental sobre o setor de cimento (WBCSD-IEA, 2009).

Conforme o *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD*, uma redução significativa de emissões do setor de cimento pode ser alcançada por meio da aplicação de técnicas de captura e armazenagem de carbono (CAA), porém essas técnicas demandam elevados investimentos e encarecem os custos de produção (CAMIOTO, 2013) (WBCSD-IEA, 2009). Esta opção tem elevado custo social em países em desenvolvimento e certamente implica em redução da competitividade. Tradicionalmente a indústria de cimento tem adotado tradicionalmente alternati-



vas de menor custo, como a melhoria da eficiência térmica e elétrica, o uso de combustíveis alternativos e a substituição do clínquer por outros materiais, como a escória de alto-forno, a cinza volante, as pozolanas e o filer calcário (WBCSD-CSI, 2014).

O Brasil tem se tornado referência mundial, com uma das taxas de CO₂ por tonelada de cimento mais baixas do mundo graças a adoção das estratégias tradicionais. Em 2011, o Brasil apresentava indicador médio de 568 kg CO₂/t de cimento, enquanto que a média mundial dos melhores fabricantes era de 629 kg CO₂/t de cimento (WBCSD-CSI, 2014). Assim, diante da necessidade de ampliação da produção, as emissões de CO₂ da indústria brasileira tende a crescer. Mesmo que não tenha um substituto competitivo em alta escala e preço de produção: o aumento das emissões deverá reduzir a competitividade do setor, afetando o potencial de crescimento dos produtos à base de cimento.

Neste cenário, o aumentar a competitividade ambiental dos produtos e sistemas construtivos à base de cimen-

to, e não apenas do cimento de forma isolada, é uma opção importante. Uma das formas de alcançar este objetivo é a otimização do consumo de cimento na produção dos produtos como concretos, blocos e argamassas. Neste contexto, as cadeias industriais que utilizam o cimento como principal insumo ganham importância, pois dada sua capacidade técnica são o local mais favorável ao uso de tecnologias de otimização de consumo de cimento, através da aprimoração dos processos produtivos envolvidos.

É com este foco na cadeia industrial que destacamos as mudanças no perfil da distribuição do consumo de cimento no Brasil na última década, demonstrando um expressivo crescimento da industrialização no uso do cimento. Isto pode ser evidenciado através dos dados fornecidos pelo SNIC – Sindicato da Indústria do Cimento (Figura 1). Em 2002, o perfil de distribuição do cimento consumido no Brasil apresentava o canal revenda com 70,1% do consumo anual de cimento, sendo que, em 2012, este número caiu para 54%. Entre os setores da indústria que

utilizam o cimento, destacam-se: as concreteiras, com crescimento de 12,8% para 21%, e o setor de artefatos de cimento, que passou de 2,61% para 5% de participação no consumo anual de cimento no mesmo período, entre 2002 e 2012 (SNIC, 2014).

O crescimento significativo dos últimos anos do setor de blocos de concreto foi possível devido a uma série de ações estruturantes e de melhoria continua desenvolvidos para superar as deficiências identificadas (Figura 2). Destaca-se o aumento da articulação da cadeia – um dos resultados da criação da Associação de fabricantes – BlocoBrasil – através de programas de melhoria da tecnologia e dos processos de gestão dos principais fabricantes em diferentes regiões do país, levando a atualização do parque industrial, com aquisição, por parte desse fabricantes, de modernos equipamentos de produção, além das ações de divulgação dos sistemas construtivos. As normas técnicas sofreram atualização e ampla divulgação entre os fabricantes. Programas de certificações de qualidade passaram a ser referência

para os especificadores e compradores dos blocos de concreto. Assim foi superada a falta de oferta de qualidade, anteriormente comum em diversas regiões do Brasil. O setor também se alinhou às demandas de racionalização e industrialização, fomentando o desenvolvimento de ferramentas, componentes complementares e mecanização de processos, aumentando a produtividade dos tradicionais sistemas construtivos de alvenaria e pavimentação.

Atualmente, o novo e crescente desafio imposto pelo mercado, e que deve atingir não só o setor de blocos de concreto, mas todos os materiais e sistemas construtivos, está ligado à sustentabilidade. Disso decorre a grande importância que o setor de blocos de concreto, de forma pioneira, atribuiu a ferramentas de gestão ambiental particularmente a Avaliação de Ciclo de Vida.

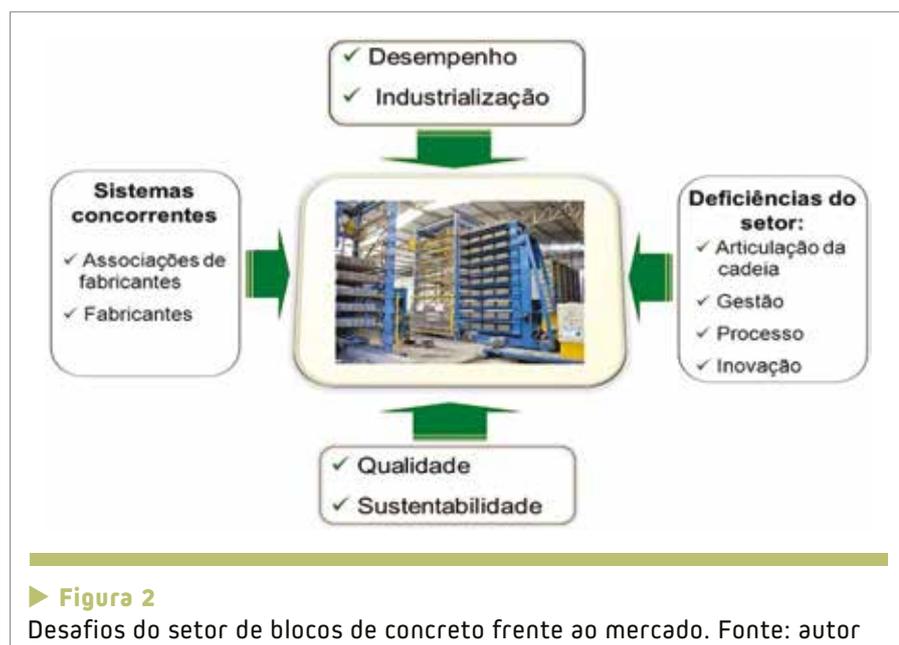
3. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Em 2002, na cidade de Johannesburg, ocorreu o encontro mundial para desenvolvimento sustentável. Foco do evento foi promover ferramentas, políti-

cas e mecanismos de gestão ambiental baseados na análise do ciclo de vida – ACV, pois estes são pré-condição para padrões mais sustentáveis padrões de produção e consumo e incremento da ecoeficiência de produtos e serviços (HERTICH, 2005).

A ACV inclui todo o ciclo de vida de um produto, processo ou sistema, englobando a extração e processamento de matéria-prima, a produção, transporte e distribuição, o uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final (HOXHA *et al*, 2014). O conceito do ciclo de vida se estende também a cadeia de fornecedores e consumidores. Os parâmetros para a realização de uma ACV estão estabelecidos na norma ISO 14040, e inclui etapas analíticas: definição de objetivo e escopo, criação do inventário de ciclo de vida e interpretação dos resultados (ISO 2006).

Embora a ACV seja a melhor ferramenta para mensurar e comparar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de produtos e serviços, sua complexidade e custos de implementação tornam seu uso bastante limitado, principalmente para pequenas e médias empresas (JOHN *et al*, 2013). Mesmo em países europeus a maior parte dos dados do ciclo de vida disponíveis se referem a valores “típicos” ou médios do setor, não permitindo que fabricantes e consumidores entendam diferenças entre empresas que fazem um mesmo produto. Com o objetivo de viabilizar o uso da ACV em pequenas e médias empresas, com redução de custos e prazos de implementação, e criar *benchmarks* que incentivem prática de produção mais limpa, o CBCS – Conselho Brasileiro da Construção Sustentável apresentou na conferência Rio+20 uma proposta de desenvolvimento de ACV com características que respeitam



às especificações da ISO 14040 e, ao mesmo tempo, possibilitam o acesso de empresas de menor porte de diferentes setores industriais mesmo nos países em desenvolvimento.

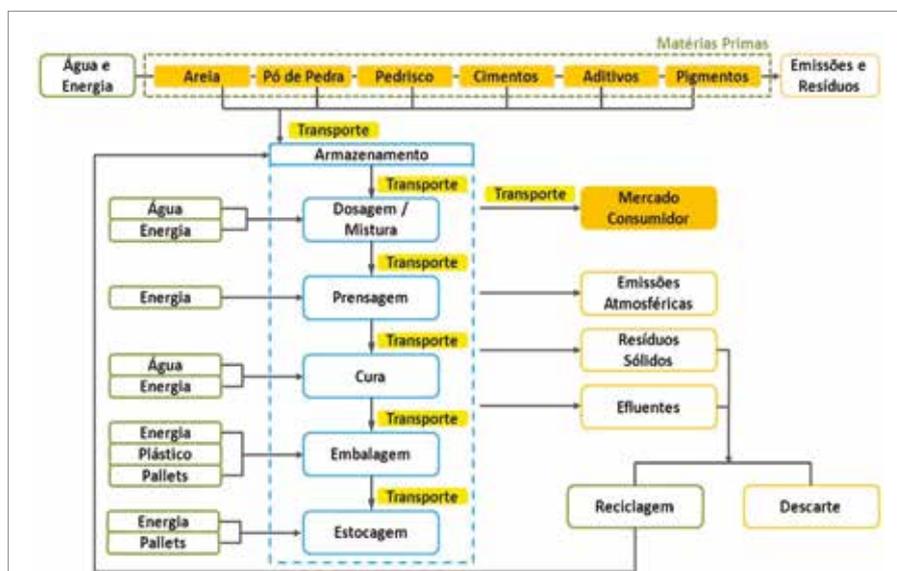
A metodologia proposta pelo CBCS, intitulada de ACV-modular (ACV-M) é evolutiva modular já adotada pela construção na área de qualidade: a adesão ao sistema inicia com requerimentos simples, que se tornam mais sofisticados a medida que a empresa e o setor se tornam mais capazes. A simplificação é resultado da redução dos fluxos (ou aspectos) ambientais incluídos no módulo básico. Esses fluxos foram escolhidos com base nos seguintes critérios (JOHN *et al*, 2013):

- ▶ Fluxos predominantes, aqueles com maior relevância ambiental;
- ▶ Facilidade de mensuração dos fluxos pela própria empresa e fácil auditoria por terceira parte;
- ▶ Minimização da necessidade de uso de dados secundários de emissões, que introduzem erros;
- ▶ Fluxos que isoladamente sejam coerentes conceitos de “pegada ambiental”, que é bastante popular.

Para um setor participar do programa ACVm módulo básico deve incluir pelo menos cinco fluxos:

- ▶ Pegada de CO₂;
- ▶ Consumo de energia;
- ▶ Pegada de água;
- ▶ Pegada de resíduos;
- ▶ Intensidade de uso de matéria-prima.

Conceitualmente, a ACV-M pode ser escalada até contemplar todas as análises de uma ACV completa, dependendo do porte da empresa e do produto, processo ou serviço avaliado. Isto torna a ACV-M uma ferramenta mais flexível e apropriada à grande diversidade de empresas e segmentos dentro



▶ **Figura 3**

Fluxos de entrada e saída na produção de blocos de concreto (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS. Apresentação do programa ACV-M de blocos de concreto, 2012)

da cadeia da Indústria da Construção Civil (JOHN *et al*, 2013).

O fato de permitir a utilização ampla da ACV por empresas de todos os portes é um importante diferencial em comparação à ACV completa. Ao possibilitar a mensuração de impactos ambientais em um número maior de empresas de um mesmo segmento, permite desenvolver um *benchmark* setorial na forma de identificação clara das faixas de variação dos impactos ambientais do setor, e não apenas com um único valor médio ou típico. São estas as faixas dos impactos e não um simples valor médio ou típico, que são divulgados publicamente em banco de dados. As faixas evidenciam para os consumidores o potencial de mitigação de seleção do fornecedor. Em consequência, criam demanda para que os fabricantes ofereçam declarações ambientais de produtos. Mas as faixas de variação são também um importante *benchmark* setorial: tornam evidente para os fabricantes menos eficientes o seu potencial de

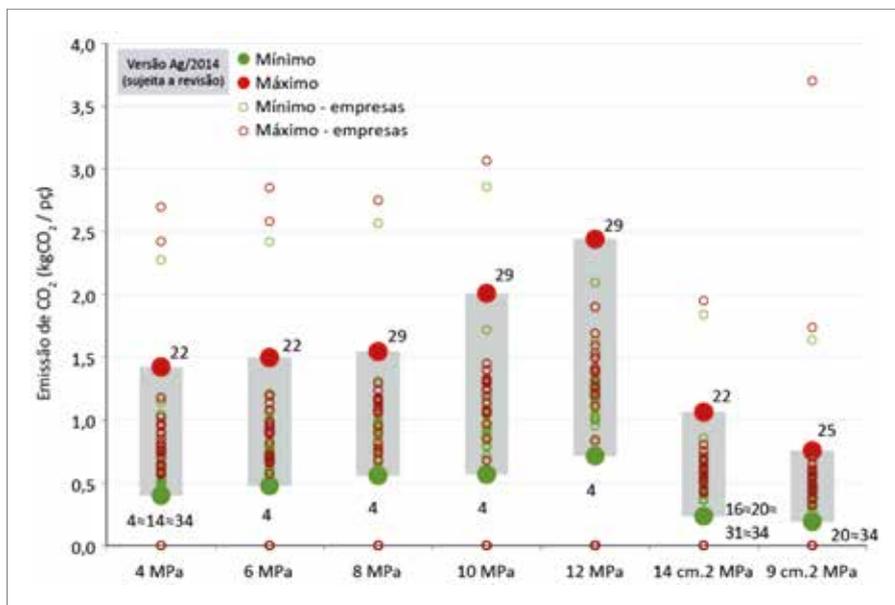
melhoria, incentivando a introdução de programas de produção mais limpa.

4. A APLICAÇÃO PIONEIRA DA ACVM EM BLOCOS DE CONCRETO

Uma parceria entre ABCP, BLOCO-BRASIL, CBCS e Universidade de São Paulo possibilitou a implementação, pioneira desta metodologia no setor de blocos de concreto. Além de permitir ao CBCS refinar a metodologia inovadora, o estudo permitiu que o setor fosse pioneiro na medição impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos blocos de concreto para alvenaria e peças de concreto para pavimentação, permitindo a introdução de um processo de melhoria continuada do desempenho ambiental.

A Figura 3 apresenta o fluxo típico de produção dos blocos de concreto dos fabricantes avaliados. Como usual, o escopo do estudo envolveu os fluxos do berço até o portão da fábrica.

Os indicadores de ACV foram avaliados inicialmente em 33 fabricantes,



► **Figura 4**

Indicador de emissão de CO₂ – blocos de concreto para alvenaria. Alguns resultados não foram considerados por serem considerados produtos de erro de inventário. Verifica-se a grande dispersão do indicador de CO₂ entre os fabricantes (JOHN et al, 2014)

distribuídos por diferentes regiões do Brasil. Todos os fabricantes possuem o Selo de qualidade ABCP, constituindo uma referência de desenvolvimento tecnológico e de qualidade. Os produtos avaliados foram: blocos de vedação com resistência à compressão de 2 MPa e dimensões normatizadas de (14x19x39) cm, blocos estruturais com resistências à compressão de 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa, 10 MPa e 12 MPa, com dimensões normatizadas de (14x19x39) cm e peças de concreto para pavimentação nos formatos retangular e dezesseis faces, com resistência à compressão de 35 MPa e 50 MPa.

Para ilustrar os resultados, a Figura 4 apresenta a variação de um dos indicadores mensurados: o teor de emissões de CO₂. O indicador de emissão de CO₂ é composto pela emissão total por bloco, ou seja, a quantidade estimada procedente da queima de combustíveis para o transporte das matérias-primas, extração e processamento das mesmas

e o CO₂ emitido devido ao funcionamento da fábrica (CBCS, 2012).

A figura apresenta as faixas do indicador CO₂ para os blocos de concreto com função estrutural com resistência à compressão de 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa, 10 MPa, 12 MPa, todos com dimensões de (14x19x39) cm, e blocos sem função estrutural – resistência de 2 MPa, com dimensões (14x19x30) cm e (9x19x39) cm.

Para cada tipo de bloco, as barras representam a faixa do indicador, sendo destacado os números individuais de identificação do fabricante que apresentou respectivamente, o maior e o menor para o indicador avaliado. Deste modo, pode-se verificar a grande dispersão do indicador entre os fabricantes (JOHN et al, 2014).

Os resultados finais da ACV-M de blocos de concreto apresentados na Figura 4 ilustram a importância de medir e divulgar as faixas de indicadores para cada produto, pois o grupo de fabrican-

tes avaliados utiliza a mesma rota tecnológica, com equipamentos de produção similares e todos são certificados com o Selo de Qualidade ABCP, atestando que este conjunto de fabricantes cumpre às mesmas especificações normativas para os blocos de concreto. Mesmo assim, observa-se a grande variação, não só no indicador de CO₂, mas a mesma variação ocorreu nos demais fluxos avaliados na ACV-M aplicada neste grupo de fabricantes, como os indicadores de consumo de Água e de consumo de Energia. Outro aspecto importante é que as emissões não foram controladas pelo teor de clínquer do cimento: embora tenham sido usados cimentos CII, as menores e maiores emissões de CO₂ foram obtidas usando cimento CPV. Detalhes dos resultados podem ser encontrados no relatório final (JOHN et al, 2014)².

As faixas também demonstram aos fabricantes participantes o potencial de mitigação de pegada ambiental que estratégias de produção mais limpa podem trazer. Além disso, a divulgação dos indicadores da ACV-M concebida pelo CBCS e colocada em prática de forma pioneira no setor de blocos de concreto permite alertar especificadores e consumidores a solicitar informações sobre o impacto ambiental dos produtos. Desta forma cria um círculo virtuoso dentro do setor, onde cada fabricante, tendo conhecimento de seus indicadores e sua posição dentro da faixa de indicadores de ACV-M, busque melhorar seu desempenho, ganhando competitividade, através da metodologia de Produção mais Limpa.

5. PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A apresentação de ACV em forma de faixas de indicadores é um passo bastante importante e deveria ser adotado por toda a cadeia de materiais de

² DISPONÍVEL [HTTP://WWW.ACNET.BR](http://www.acv.net.br)

construção, entretanto, é necessário também que as empresas tenham ferramentas que as orientem de forma propositiva a buscar um melhor posicionamento dentro das faixas de cada setor. Neste caso, a aplicação do conceito de Produção Mais Limpa, tendo como ponto de partida o conhecimento dos indicadores da fábrica e do setor em que ela está inserida é a condição adequada para tomada de decisões.

O conceito de Produção Mais Limpa foi introduzido pela primeira vez pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) em 1989, como uma abordagem inovadora para a conservação e gestão ambiental de recursos. Produção Mais Limpa é uma estratégia de gestão ambiental preventiva, que promove a eliminação de resíduos, antes de sua geração, reduzindo sistematicamente a poluição e melhorando a eficiência da utilização de recursos (UNEP, 2001).

O foco da metodologia é minimizar ou evitar a geração de resíduos, reciclar os resíduos gerados, aumentar a eficiência na utilização das matérias-primas, água e energia e de reduzir os riscos para as pessoas e para o meio ambiente. (UNEP, 2002) O Programa de Produção mais Limpa traz para as empresas benefícios ambientais e econômicos, que resultam na eficiência global do processo produtivo (CNTL, 2003). A existência de um *benchmark* validado, como o propiciado pela ACVm é importante ferramenta para evidenciar o potencial de melhoria.

A ABCP, em parceria com a REDE-TEC – Rede de Tecnologia e Inovação e o Centro de Tecnologia SENAI-RJ Ambiental – CTS Ambiental, iniciou um projeto piloto de implantação da metodologia de Produção mais Limpa em fabricantes de blocos de concreto. A metodologia I da Organização das Na-

ções Unidas para o Desenvolvimento Industrial – ONUDI foi aplicada em um fabricante do Estado do Rio de Janeiro, envolvendo de cinco etapas (CTS Ambiental, 2012).

- ▶ Etapa 1 – Planejamento e Organização;
- ▶ Etapa 2 – Diagnóstico ou Avaliação Prévia;
- ▶ Etapa 3 – Estudos e Avaliações (Balanço de Massa e de Energia);
- ▶ Etapa 4 – Desenvolvimento de Projetos de Produção mais Limpa ou Estudos de Casos;
- ▶ Etapa 5 – Implantação e Monitoramento dos Estudos de Casos.

5.1 O Programa de Produção mais Limpa implantado pelo CTS Ambiental

A Etapa 1 envolve a capacitação da equipe da empresa com formação do eco-time que será envolvido no projeto. Durante o evento inicial de capacitação e planejamento, o fabricante avaliado estabeleceu, como expectativas do Programa em sua empresa, os seguintes parâmetros:

- ▶ Aumento de produtividade;
- ▶ Redução de desperdícios e não conformidades;
- ▶ Qualidade dos produtos;
- ▶ Menor impacto ambiental;
- ▶ Redução de produtos rejeitados;
- ▶ Diminuição de energia elétrica;
- ▶ Reaproveitamento de paletes;
- ▶ Redução de ruído.

Na etapa 2, é realizado o diagnóstico da empresa, com o detalhamento do fluxograma do processo produtivo e a quantificação de todas as entradas, como matérias-primas, energia, água e insumos, assim como as saídas, como produtos e resíduos. Nas etapas seguin-

tes, os dados são consolidados no relatório do diagnóstico, os quais evidenciam as oportunidades de melhoria. De acordo com as prioridades da empresa, as oportunidades de melhorias são selecionadas e transformadas em Estudos de Casos. Por fim, são apresentadas as oportunidades de Produção mais Limpa e os benefícios estimados de cada implantação. A Tabela 1 apresenta um quadro resumo das oportunidades de melhorias e benefícios econômicos apresentados ao fabricante estudado.

No futuro, a implantação da P+L nas empresas de bloco será precedida de um inventário ACVm, gerando indicadores e permitindo ao fabricante estabelecer metas capazes de melhorar sua competitividade. Ao final do projeto o inventário ACVm pode ser repetido, permitindo mensurar o ganho atingido.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de ACV-M permite a implantação em escala da ACV, podendo gerar um cenário favorável à indústria da construção civil, composta por um grande número de pequenas e médias empresas que encontram dificuldades em se diferenciar em termos de eficiência em meio a um grande número de fabricantes. Para o consumidor, a ACV-M deve proporcionar indicadores de impactos ambientais mais próximos da realidade, facilitando a decisão de escolha de um fornecedor ou de determinado tipo de produto.

Entretanto, para que a ACV-M possa ser utilizada nos diferentes segmentos dos materiais de construção, deve-se estabelecer os critérios de determinação dos fluxos predominantes em cada um dos setores, devendo-se estabelecer uma padronização dos procedimentos de mensuração destes fluxos através de uma norma nacional,



oficializando a ACV-M como ferramenta de entrada para elaboração de indicador de impacto ambiental.

Esta ferramenta poderá gerar uma

competitividade ambiental saudável entre os fabricantes, gerando ganhos reais para a diminuição de impactos ambientais em determinados setores devido à

busca por diferenciação. Incentivados pelo poder de escolha do consumidor, os fabricantes deverão se empenhar em reduzir os indicadores. 

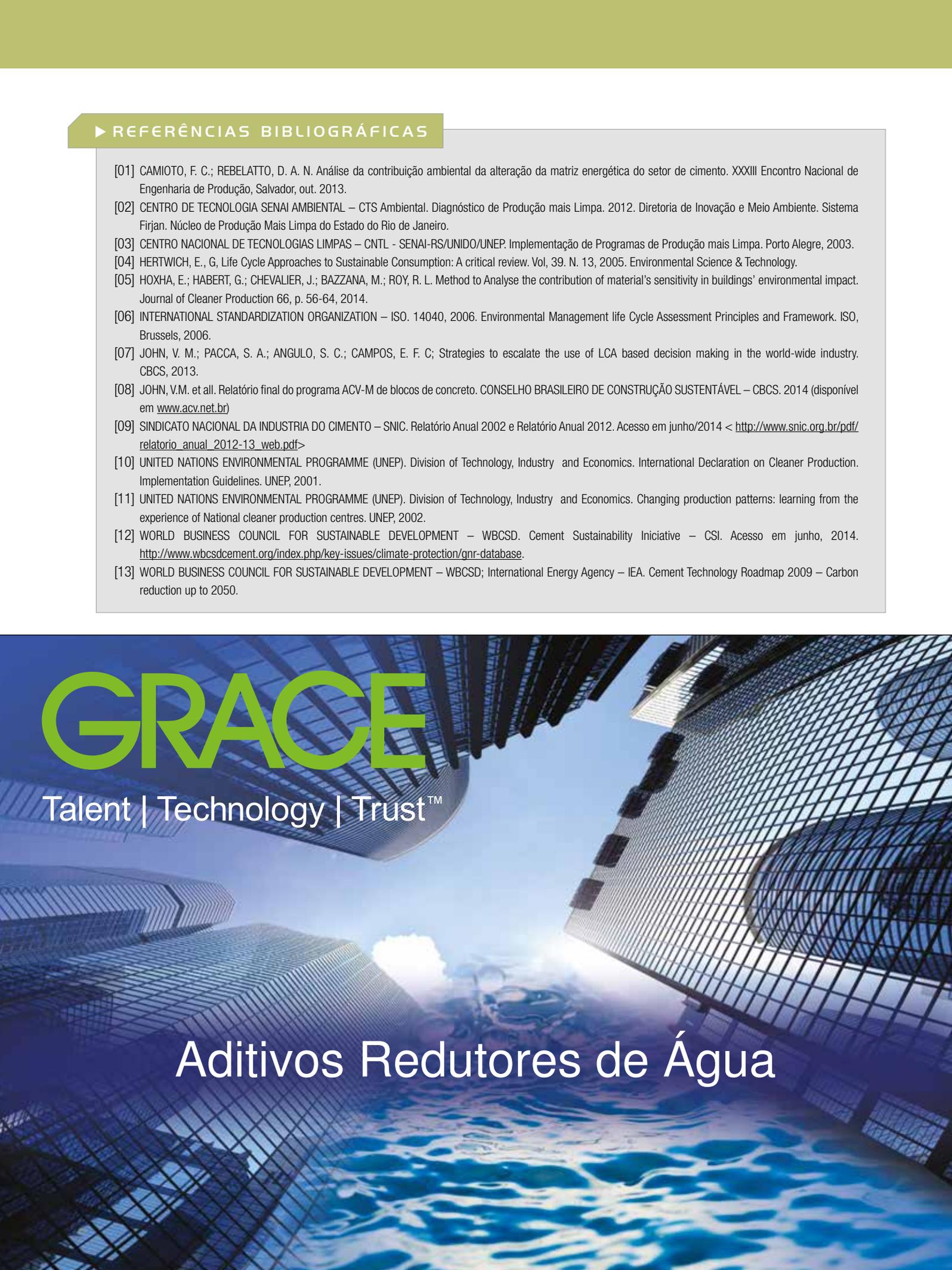
► Tabela 1 – Quadro resumo de oportunidade de produção mais limpa identificados em um fabricante de blocos (CTS Ambiental, 2012)

Nº	Oportunidade	Benefício ambiental esperado	Benefício econômico estimado*	Outros benefícios esperados	Obstáculos
1	Impermeabilização dos pisos na área de armazenagem de brita e pó de brita	Redução do consumo de pó de brita e de brita Melhoria da qualidade do ar no ambiente da empresa	R\$ 5.500,00	Melhoria da saúde dos trabalhadores	Investimento Parada na produção
2	Otimização do uso de filme plástico nos paletes	Redução do consumo de água para lavagem dos pisos Redução do consumo e disposição final de sobras de plástico	Recuperação parcial da perda de R\$ 4.000,00/ano	Imagem corporativa	Encontrar parceiros
3	Melhoramento do lay-out de produtos	Redução do consumo de GLP Redução de emissões de CO ₂	R\$ 5.000,00 (1%)	Melhoria da produtividade	Parada na produção
4	Redução dos custos de GLP na cura por uso de painel solar – pré-aquecimento da água	Redução do consumo de GLP Redução de emissões de CO ₂	R\$ 11.000,00 (10%)	Melhoria da produtividade Imagem corporativa	Investimento
5	Redução dos custos de GLP na cura por uso de painel solar – Uso de água a 80°C em lugar de vapor	Redução do consumo de GLP Redução de emissões de CO ₂	R\$ 33.000,00 (30%)	Melhoria da produtividade Imagem corporativa	Investimento Parada na produção
6	Isolamento térmico das câmaras de cura de blocos	Redução do consumo de GLP Redução de emissões de CO ₂	R\$ 11.000,00 (10%)	Melhoria da produtividade Imagem corporativa	Investimento Resistência dos trabalhadores
7	Recuperação da água de chuva	Redução do impacto ambiental global da empresa	Não determinado	Imagem corporativa	Investimento Custos operacionais
8	Recuperação de paletes	Redução do consumo de madeira e de resíduos	R\$ 5.700,00 (10%)	Imagem corporativa	Resistência dos usuários
9	Enclausuramento de prensas	Redução de ruído	Não determinado	Saúde ocupacional	Investimento Parada na produção Espaço
10	Substituição das embalagens de pigmentos e logística reversa	Redução dos resíduos a destinar	R\$ 402,00	Produtividade	Resistência dos fornecedores
11	Compostagem do lodo de fossa	Redução dos resíduos a dispor	Não determinado	Imagem corporativa	Espaço Mão de obra
12	Contador de energia elétrica	Avaliação de consumo de energia elétrica	Não determinado	Não determinado	Investimento

* Os benefícios econômicos são estimados em função dos custos existentes na época da avaliação, considerando-se cada oportunidade de melhoria.

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. A. N. Análise da contribuição ambiental da alteração da matriz energética do setor de cimento. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, out. 2013.
- [02] CENTRO DE TECNOLOGIA SENAI AMBIENTAL – CTS Ambiental. Diagnóstico de Produção mais Limpa. 2012. Diretoria de Inovação e Meio Ambiente. Sistema Firjan. Núcleo de Produção Mais Limpa do Estado do Rio de Janeiro.
- [03] CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS – CNTL - SENAI-RS/UNIDO/UNEP. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre, 2003.
- [04] HERTWICH, E., G. Life Cycle Approaches to Sustainable Consumption: A critical review. Vol, 39. N. 13, 2005. Environmental Science & Technology.
- [05] HOXHA, E.; HABERT, G.; CHEVALIER, J.; BAZZANA, M.; ROY, R. L. Method to Analyse the contribution of material's sensitivity in buildings' environmental impact. Journal of Cleaner Production 66, p. 56-64, 2014.
- [06] INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION – ISO. 14040, 2006. Environmental Management life Cycle Assessment Principles and Framework. ISO, Brussels, 2006.
- [07] JOHN, V. M.; PACCA, S. A.; ANGULO, S. C.; CAMPOS, E. F. C; Strategies to escalate the use of LCA based decision making in the world-wide industry. CBCS, 2013.
- [08] JOHN, V.M. et all. Relatório final do programa ACV-M de blocos de concreto. CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – CBCS. 2014 (disponível em www.acv.net.br)
- [09] SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. Relatório Anual 2002 e Relatório Anual 2012. Acesso em junho/2014 < http://www.snic.org.br/pdf/relatorio_anual_2012-13_web.pdf>
- [10] UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP). Division of Technology, Industry and Economics. International Declaration on Cleaner Production. Implementation Guidelines. UNEP, 2001.
- [11] UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP). Division of Technology, Industry and Economics. Changing production patterns: learning from the experience of National cleaner production centres. UNEP, 2002.
- [12] WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. Cement Sustainability Initiative – CSI. Acesso em junho, 2014. <http://www.wbcscement.org/index.php/key-issues/climate-protection/gnr-database>.
- [13] WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD; International Energy Agency – IEA. Cement Technology Roadmap 2009 – Carbon reduction up to 2050.



GRACE
Talent | Technology | Trust™

Aditivos Redutores de Água

Avaliação simplificada de emissões de CO₂ de pavimentos de concreto armado e reforçado com fibras

ALAN RENATO ESTRADA CÁCERES

ANTÔNIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL,
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

I. INTRODUÇÃO

Existem muitas formas de avaliar comparativamente soluções de engenharia em termos de seu desempenho. A avaliação mais comum é a de custo com o objetivo de obter soluções de melhor relação custo/benefício técnico. O custo pode ser avaliado ao longo do ciclo de vida, o que permite uma análise de sensibilidade a variações das atividades de manutenção e da vida útil. No entanto, na busca de soluções sustentáveis é importante também avaliar outros aspectos ligados ao impacto ambiental ao longo do ciclo de vida, além dos impactos sociais.

Para a avaliação quantitativa dos impactos ambientais foi desenvolvida a ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV), parte da ISO14000, e que hoje está em implantação no Brasil através do PBACV – Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida. No entanto, a ACV completa requer significativo esforço técnico e não é adequada para decisões corriqueiras, sendo necessário o desenvolvimento de metodologias simplificadas. No Brasil, faltam também

informações certificadas de terceira parte das emissões associadas aos principais insumos da construção.

Neste sentido, este trabalho procura apresentar uma abordagem metodológica muito simplificada para comparar soluções em termos de emissões de CO₂ na produção de pavimentos industriais de concreto, onde se pode contar com soluções alternativas de reforço, como é o caso do concreto armado (CA) e do concreto reforçado com fibras (CRF). Isto permite ampliar a avaliação comparativa desses dois sistemas de reforço. Focou-se em projeto específico considerando, inclusive, parte das incertezas relativas aos fatores de emissão.

Assim, o objetivo é fazer uma avaliação comparativa das emissões de CO₂ de pavimentos de CA e pavimentos de CRF para fins industriais a partir das emissões indiretas da produção de seus insumos. As emissões associadas ao processo produtivo e demais fases do ciclo de vida, como o uso-manutenção e o pós-uso não foram consideradas. Este trabalho pretende apresentar uma proposta metodológica simples que,

com aprimoramentos, poderá ser utilizada em futuras pesquisas abordando a comparação de emissões de CO₂ de diferentes soluções estruturais.

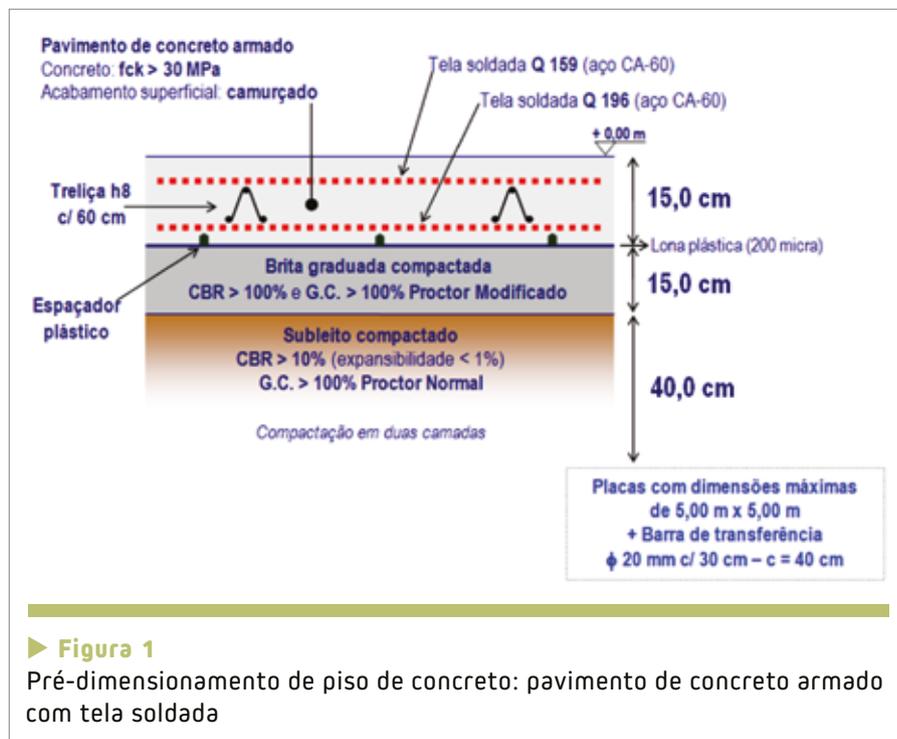
2. DESCRIÇÃO GERAL DOS PAVIMENTOS COMPARADOS NO ESTUDO

O comportamento e o dimensionamento dos pavimentos industriais de concreto seguem, de um modo geral, as diretrizes estabelecidas pela mecânica de pavimentos, complementadas por considerações específicas ao uso da fibra quando é o caso. Os pavimentos industriais deverão ser projetados e construídos de modo a suprir as seguintes funções: dar condições seguras de utilização da área industrial, apresentar suficiente resistência para suportar os esforços solicitantes, serem duráveis e com pouca manutenção (CARVALHO, 1994).

O CA é o sistema mais comumente empregado para pavimentos industriais no Brasil. Este sistema possui uma armadura positiva posicionada na parte inferior da placa de concreto, destinada a absorver os esforços gerados pelos

carregamentos, e uma armadura posicionada no terço superior das placas, responsável por controlar as fissuras causadas por retração hidráulica (CRISTELLI, 2010). Para o caso específico deste estudo, foi concebida a solução utilizando placas de 4 m x 4 m e as cargas consideradas foram veículos comerciais pesados, tendo os eixos com as cargas máximas legais. Para o reforço de aço utilizou-se de uma tela soldada Q-159 (aço CA-60), para a armadura de retração superior, e de uma tela soldada Q-196 (aço CA-60), para o reforço inferior. As treliças utilizadas para o espaçamento das duas telas possuem 8 cm de altura e são espaçadas a cada 60 cm. As barras de transferência adotadas são de aço CA-25, com 20 mm de diâmetro e 40 cm de comprimento, posicionadas a cada 30 cm. A resistência característica à compressão do concreto adotada foi de 30 MPa. A espessura do pavimento resultou em 15 cm. Este dimensionamento foi feito utilizando critérios normalmente adotados para o mercado brasileiro. Na Figura 1 são apresentadas às dimensões do pavimento e na Tabela 1 se encontra a especificação adotada para o concreto.

O CRF, por ser um material homogêneo em todo seu volume, oferece uma capacidade de reforço contínua em todas as direções para as ações que possam ocorrer. A adição de fibras ao concreto pode substituir a armadura convencional e gerar um material com certa ductilidade e boa capacidade de redistribuição de esforços. Para o caso particular de pavimentos, esta característica pode ser aproveitada para resistir aos esforços mecânicos, térmicos e os oriundos da retração restringida. Os pavimentos de CRF permitem poupar tempo de execução, já que não há necessidade de realizar a instalação da ar-



► **Figura 1**
Pré-dimensionamento de piso de concreto: pavimento de concreto armado com tela soldada

madura previamente ao lançamento do concreto. O CRF não requer o uso de espaçadores, como as telas metálicas. Em contrapartida, sua inclusão no concreto reduz sua trabalhabilidade, o que pode ser controlado por aditivos dispersantes. Existe também uma maior demanda técnica na especificação e controle do CRF. Uma das razões para isso é o fato da eficiência das fibras depender de vários fatores e da sua interação com a matriz. Assim, o CRF exige um controle específico (FIGUEIREDO, 2011), o que normalmente é ignorado nas obras, causando um prejuízo potencial para o controle de qualidade do conjunto. Além disso, o CRF representa uma maior dificuldade de reciclagem, pois dificulta as operações de demolição/desmontagem da estrutura.

O pavimento de CRF concebido para este estudo é também constituído por placas com dimensões máximas de 4 m x 4 m. Poder-se-ia ter optado por uso de placas de maiores dimensões, o que iria demandar um acréscimo no consu-

mo de fibras necessário para atender aos requisitos de projeto. Assim, no presente caso, optou-se por manter as dimensões das placas equivalentes e utilizar um menor consumo de fibras para o concreto do pavimento. As cargas consideradas para seu dimensionamento foram às mesmas adotadas para a concepção do pavimento de CA. As fibras de aço adotadas são tipo A1, conforme a especificação nacional ABNT NBR 15530:2007, com razão comprimento/diâmetro (l/d) > 75 e comprimento (l) > 60 mm, o consumo mínimo de fibras adotado foi

► **Tabela 1 – Especificação de concreto**

Relação água - cimento	Máxima de 0,5
Cimento	CP II ou CP V
Consumo de cimento	350 - 400 kg/m ³
Consumo máximo de água	185 kg/m ³
Teor de argamassa	48 a 52%

de 25 kg/m³. Esta prática é normalmente seguida por vários projetistas que contam com a condição de que não haverá estudo de dosagem específico para o concreto. Isto conduz a uma postura conservadora, onde os consumos de fibras são, normalmente, superestimados. A resistência característica à compressão adotada para o concreto CRF foi de 35 MPa. A espessura do pavimento resultou também em 15 cm. Na Figura 2 são apresentadas as dimensões do pavimento de CRF e a especificação adotada para o material é a mesma apresentada na Tabela 1. Apesar do CRF exigir, em alguns casos, o ajuste do traço da matriz, supôs-se que o baixo consumo de fibra irá redundar numa perda de abatimento que seria facilmente controlada com um pequeno aumento do teor de aditivo, o que teria uma influência desprezível no comportamento final.

3. MÉTODO DE ANÁLISE

Para realizar a avaliação comparativa das emissões de CO₂ para os dois tipos de pavimento foi adotada, como critério,

a simples avaliação das emissões relativas de cada um dos materiais utilizados, quantificados para cada solução técnica. Ou seja, consideraram-se apenas as parcelas de emissões correspondentes a cada um dos materiais básicos empregados. Esta é uma hipótese simplificada, pois não se considerou a parcela de emissões relativas ao próprio processo de execução do pavimento, manutenção e desmontagem nos casos estudados, o que restringe a conclusão sobre o impacto real das alternativas utilizadas.

Uma das maiores dificuldades atuais é identificar fatores de emissão representativos. Com exceção do cimento, existe muito pouca literatura nacional e esta é quase sempre baseada em dados do exterior. Mas, considerando a literatura e alguns dados dos estudos de mudanças climáticas existentes, é possível estimar valores, embora com significativa incerteza. A situação ideal é aquela em que se conta com dados precisos das emissões, fornecidos por cada fabricante, de modo a gerar uma análise precisa. A análise foi feita de

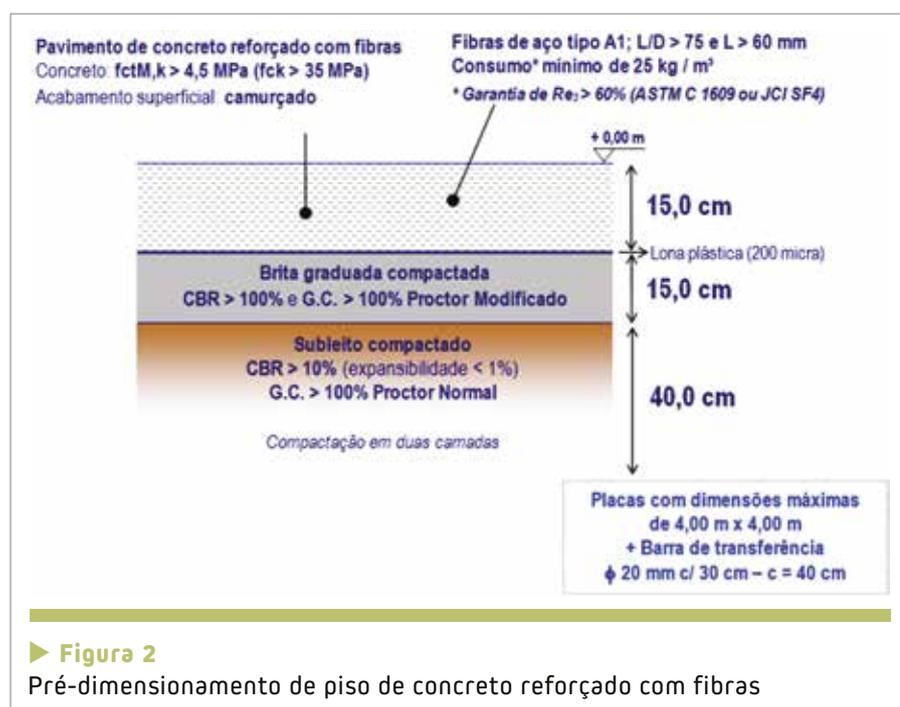
maneira a considerar parcialmente esta incerteza. Desse modo, utilizaram-se valores médios de referência e, no caso específico do cimento, utilizou-se dos fatores máximos e mínimos de emissão, para fornecer uma ideia do potencial de variação do resultado.

Quanto ao aditivo plastificante, como os teores são muito baixos (<1% do cimento, tipicamente menos de 14% do concreto) em relação aos demais materiais (mesmo para o caso do CRF), considerou-se a sua contribuição como desprezível. Também não foi considerada a absorção por carbonatação, pois os resultados de ambos os pavimentos deverão ser equivalentes.

Nos itens a seguir são apresentadas as parcelas de emissões relacionadas a cada um dos materiais, cujos valores foram obtidos na literatura técnica específica, onde se procurou obter os dados mais confiáveis possíveis. A quantificação de cada um dos materiais básicos do concreto e do montante de aço foi feita segundo a metodologia apresentada por Cáceres et al. (2014).

4. CÁLCULO DA QUANTIDADE DE EMISSÃO DE CO₂

Foram considerados dois tipos de cimento para a avaliação da emissão de CO₂: CP II E - 32 e CP V - ARI. Apesar de não usual, cogitou-se avaliar o emprego do CP V – ARI, como forma de se verificar a ordem de grandeza do impacto desta opção para a geração de CO₂. Normalmente, são utilizados cimentos compostos e, em vários casos, o próprio cimento de escória (CP III), apesar de todo o risco de fissuração gerado pelo seu maior nível de retração. A normalização nacional permite uma grande faixa de variação no teor de adições destes cimentos e, conseqüentemente, no nível de emissões. Também existem



► **Figura 2**
Pré-dimensionamento de piso de concreto reforçado com fibras

► Tabela 2 – Emissões máximas e mínimas por tipo de cimento (Fonte: OLIVEIRA, 2015)

Emissão de CO ₂	Teor de clínquer		Fabricante I		Fabricante II		Fabricante III		Emissões máx. e mín.	
	Tipo de cimento	Teor de clínquer mín. %	Teor de clínquer máx. %	Emissão mín. kgCO ₂ /t	Emissão máx. kgCO ₂ /t	Emissão mín. kgCO ₂ /t	Emissão máx. kgCO ₂ /t	Emissão mín. kgCO ₂ /t	Emissão máx. kgCO ₂ /t	máx. kgCO ₂ /t
CP II - E 32	52%	90%	465	804	437	756	426	737	804	426
CP V - ARI	91%	96%	813	858	764	806	746	787	858	746

diferenças entre empresas e nem sempre o fornecedor é conhecido “a priori”. Assim, seria necessário considerar esta incerteza, o que é muitas vezes impossível pela carência de dados disponíveis. Assim, optou-se aqui pela utilização de dados de emissões que procuram refletir a dimensão do impacto da alteração do tipo de cimento no nível de emissões. Estes dados correspondem a uma pesquisa em andamento na Escola Politécnica da USP (Oliveira, 2015) e se encontram apresentadas na Tabela 2. Observa-se que as emissões máximas do Cimento CP II E - 32 não são muito diferentes do CPV - ARI. Os valores utilizados para o presente trabalho foram, inicialmente, as

médias das emissões apresentadas na Tabela 2. Para se ter uma ideia da ordem de grandeza em que podem variar estes resultados, também se utilizou dos valores mínimos e máximos obtidos para as emissões destes cimentos. Assim, para o caso do CP II - E 32, o valor médio adotado foi de 604 kgCO₂/t, enquanto para o caso do CP V – ARI, foi de 796 kgCO₂/t.

Os dados de emissão utilizados para ambos os agregados são duas ordens de grandeza menores que os do cimento. Como a massa de agregados é uma ordem de grandeza superior, o impacto destes materiais varia muito em função das distancias de transporte. Os dados aqui utilizados foram obtidos em LIMA

(2010) e são apresentados na Tabela 3.

Diferentemente da indústria cimenteira brasileira, a indústria do aço somente publica valores de emissões médias da fabricação do aço. Para suprir esta deficiência de informação, fez-se uma pesquisa bibliográfica quanto às emissões do aço virgem, aço com sucata, arame com sucata (ALCORN, 2003;; HAMMOND; JONES, 2008; IPCC, 2006). No que se refere ao fator de emissão das fibras de aço, utilizou-se o valor de 2680 kgCO₂/t (STENGEL; SCHIESL, 2008 apud HABERT et al, 2012) (Tabela 4).

São utilizados plásticos nos espaçadores da armadura convencional apenas de modo a que se tenha respeitado o

► Tabela 3 – Emissões dos agregados

Item	kgCO ₂ /t
Areia	6
Pedra britada	15

► Tabela 4 – Emissões do aço

Item	kgCO ₂ /t
Fibra de aço	2680
Aço virgem	2200
Aço arco elétrico com sucata	391
Arame	673

► Tabela 5 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CA usando cimento CP II E- 32, e reforço de aço com sucata

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP II	96	604	57.994
Areia	223	6	1.298
Pedra britada	296	15	4.577
Aço			
Aço com sucata	14	391	5.569
Arame com sucata	1	673	673
Plástico			
Espaçadores	0,05	3.380	162
Emissão de CO ₂ por 1600 m ²			70.274
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			44



► Tabela 6 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CA usando cimento CP V - ARI, e reforço de aço com sucata

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP V	84	796	66.830
Areia	230	6	1.342
Pedra britada	291	15	4.499
Aço			
Aço com sucata	14	391	5.569
Arame com sucata	1	673	673
Plástico			
Espaçadores	0,05	3.380	162
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			79.076
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			49

cobrimento e posicionamento das armaduras. Foi considerada a razão de uso de 5 peças por m², sendo o peso dos espaçadores equivalente a 6 kg por milheiro. O valor de emissão utilizado para a presente avaliação é 3380 kgCO₂/t (ALCORN, 2003; HAMMOND; JONES, 2008). O cálculo para estimativa dos valores de emissões para estes materiais pode ser encontrado em Cáceres et al. (2014).

Efetou-se a avaliação da emissão de CO₂ dos pavimentos de CA, multiplicando a quantidade de cada material componente do concreto pelo respectivo fator de emissão. Fez-se a avaliação de emissão de CO₂ para cada tipo de cimento (CP II - E 32 e CP V – ARI) e para os dois tipos de reforço (aço com sucata e aço virgem). Os resultados se apresentam nas Tabelas 5 a 8.

► Tabela 7 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CA usando cimento CP II E - 32, e reforço de aço virgem

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP II	96	604	57.994
Areia	223	6	1.298
Pedra britada	296	15	4.577
Aço			
Aço com sucata	14	2.200	31.336
Arame com sucata	1	673	673
Plástico			
Espaçadores	0,05	3.380	162
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			96.041
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			60

A avaliação da emissão de CO₂ dos pavimentos de CRF seguiu o mesmo raciocínio adotado para o caso do CA. Assim, multiplicou-se a quantidade de cada material componente do concreto pelo fator de emissão respectivo. Fez-se a avaliação de emissão de CO₂ para cada tipo de cimento em separado; da mesma maneira, se fez esta avaliação para as barras de transferência de carga, considerando o uso de aço de sucata e de aço virgem. Os resultados se encontram apresentados nas Tabelas 9 a 12.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Avaliando-se os resultados, observa-se que o melhor desempenho em termos de emissões foi obtido quando se utiliza aço de sucata para o pavimento de CA. Se o aço deste pavimento for substituído por um aço virgem, obtém-se um aumento na média de emissões de 16,5 kgCO₂/m², qualquer que seja o cimento utilizado. Este aumento representa um acréscimo médio nas emissões de cerca de 36%, sendo este o caso de maior impacto nas condições de emissão, dentre todas as comparações feitas. Ou seja, o maior nível de redução de emissões ocorre quando se opta por substituir aço virgem por aço de sucata para o CA.

Fazendo a mesma avaliação para o CRF, ou seja, uma mudança tipo de aço de suas barras de transferência, observa-se um aumento na média de 2,5 kgCO₂/m², o que significa um aumento de 4,6% no nível de emissões quando se utiliza aço virgem. Este reduzido impacto no nível de emissões se deve ao fato de que se considerou apenas as barras de transferência como passíveis de alteração desta condição e as mesmas compõem um volume reduzido de material em relação ao total de aço.

É até possível encontrar fibras de aço oriundas de reaproveitamento de sucata, mas seu desempenho é tão inferior ao das fibras de aço virgem que o consumo de fibras poderá até triplicar para garantir o mesmo desempenho (Figueiredo, 2011).

Comparando-se os sistemas CA e CRF, observa-se que as soluções de CRF se encontram numa condição intermediária entre o CA de aço reciclado e o virgem. Assim, um pavimento de CRF teria um desempenho superior ao de um CA que tenha utilizado aço virgem e inferior ao da solução utilizando um vergalhão oriundo de sucata.

Quando se fez a comparação em relação ao tipo de cimento, qualquer que seja o tipo de reforço utilizado, observou-se um acréscimo médio da ordem de 5,5 kgCO₂/m². Isto equivale a um aumento do nível de emissão de 10,6% em média, em função da alteração do tipo de cimento de CP II para CP V, o que ocorre devido a que o CP V (796 kgCO₂/t) é mais poluente do que o CP II (604 kgCO₂/t). Assim, fica claro que o nível de impacto da mudança da origem do aço é maior do que a que se observa quando se altera o cimento.

Fez-se uma avaliação considerando as emissões máximas e mínimas de acordo com o tipo de cimento. Isto para o caso menos crítico, o qual corresponde ao pavimento de CA com reforço de aço de sucata. Considerando a emissão média do cimento, as emissões totais dos pavimentos foram de 44 e 49 kgCO₂/m² para o CP II e CP V, respectivamente. Ao considerar as emissões mínimas, as emissões totais foram de 33 e 47 kgCO₂/m² para o CP II e CP V, respectivamente. Ao considerar as emissões máximas, as emissões totais foram de 56 e 53 kgCO₂/m² para o CP II e CP V, respectivamente. Para

► Tabela 8 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CA usando cimento CP V - ARI, e reforço de aço virgem

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP V	84	796	66.830
Areia	230	6	1.342
Pedra britada	291	15	4.499
Aço			
Aço com sucata	14	2.200	31.336
Arame com sucata	1	673	673
Plástico			
Espaçadores	0,05	3.380	162
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			104.843
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			66

o caso do cimento CP II, tem-se uma diferença de 23 kgCO₂/m² entre as emissões máxima e mínima, e, no caso do cimento CP V, tem-se uma variação de apenas 6 kgCO₂/m². Assim mesmo, ao considerar as emissões máximas, o CP II é o que mais emissão produz no pavimento, sendo este o único cenário em que o CP II apresenta maior emissão quanto o CP V. No entanto, o grau de incerteza destes valores é elevado e o objetivo aqui foi demonstrar que há

possibilidade grande de variação no nível de emissão em função do tipo de cimento e da própria variação das condições de produção de um cimento específico. Se o cimento recebe adições, é ainda mais provável que haja variação de sua composição ao longo do tempo devido à disponibilidade e às variações das características do material. Isto reforça a necessidade de se dispor de dados precisos dos fatores de emissão, obtidos por avaliação de terceira parte

► Tabela 9 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CRF usando cimento CP II E-32, e barras de transferência de aço com sucata

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP II	96	604	57.994
Areia	223	6	1;298
Pedra britada	296	15	4;577
Aço			
Aço com sucata	3	391	993
Fibra de aço	6	2.680	16.080
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			80.942
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			51

► Tabela 10 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CRF usando cimento CP V - ARI, e barras de transferência de aço com sucata

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP V	84	796	66.830
Areia	230	6	1.342
Pedra britada	291	15	4.499
Aço			
Aço com sucata	3	391	993
Fibra de aço	6	2.680	16.080
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			89.744
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			56

► Tabela 11 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CRF usando cimento CP E - 32, e barras de transferência de aço virgem

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP II	96	604	57.994
Areia	223	6	1.298
Pedra britada	296	15	4.577
Aço			
Aço virgem	3	2.200	5.586
Fibra de aço	6	2.680	16.080
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			85.535
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			53

► Tabela 12 – Emissão de CO₂ para 1m² de pavimento de CRF usando cimento CP V - ARI, e barras de transferência de aço virgem

Material	Quant. (t)	Fator de emissão (kgCO ₂ /t)	Emissão total (kgCO ₂ /t)
Concreto			
Cimento CP V	84	796	66.830
Areia	230	6	1.342
Pedra britada	291	15	4.499
Aço			
Aço virgem	3	2.200	5.586
Fibra de aço	6	2.680	16.080
Emissão de CO ₂ por 1.600 m ²			94.337
Valor de emissão em (kgCO ₂ /m ²)			59

e fornecidos pelos próprios fabricantes. Uma estimativa simplista, baseada em valores médios pode gerar um cenário distante da realidade e levar a tomadas de decisão equivocadas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para realizar a avaliação apresentada neste trabalho foi necessário simplificar ao máximo o processo e concentrar a métrica nos principais materiais consumidos. Para realizar uma estimativa mais precisa do nível de emissões seria necessário considerar também os dados de emissão de outros elementos, como o aditivo endurecedor de superfície, por exemplo. As emissões originadas das operações de execução, uso e pós-uso também foram desconsideradas devido ao elevado nível de complexidade que pressupõe. Isto pode alterar o resultado em termos de avaliação comparativa das soluções. Naturalmente, seria fundamental a obtenção de dados de emissões reais para as condições brasileiras para cada uma das matérias-primas utilizadas. Isto diminuiria o elevado grau de incerteza de uma análise simplificada, como é o caso desta.

No entanto, em termos gerais, é possível afirmar que a avaliação realizada, apesar de ainda necessitar aprimoramentos, cobre os principais itens envolvidos quanto ao emprego de matérias apenas na fase de construção e respeita o fundamento de avaliar soluções da maneira mais global possível e evitar a simples comparação do nível de emissão por quilograma de matéria-prima. Além disso, permite também avaliar o peso relativo de cada um dos materiais empregados na solução, possibilitando hierarquizar a importância da contribuição de cada um deles para as emissões totais. Dessa maneira, foi possível constatar que o estudo de solu-

ções que permitam reduzir as emissões não pode ficar restrito a um único material, como ocorre frequentemente com o foco preponderante no cimento. Assim, é possível avaliar soluções que empreguem outras fibras, como as produzidas a partir de resíduos: estas demandam um maior consumo (da ordem de

50 kg/m³), mas apresentam um menor nível de emissões (391 kgCO₂/t de aço), podendo ser vantajosa quanto à sustentabilidade. Outra possibilidade é considerar a condição ideal de haver um estudo de dosagem prévio do CRF, o que levaria à otimização do consumo de fibra e sua avaliação poderia ser mais favorável.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem especialmente o apoio do Professor Vanderley John na elaboração deste trabalho e a Marcos Ceccato da TRIMA Engenharia e Consultoria, pelo apoio na elaboração das soluções técnicas aqui estudadas. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ALCORN, A. Embodied energy and CO2 coefficients for NZ building materials. Centre for Building Performance Research, 2003.
- [02] CARVALHO, M. D. Como construir - Pisos industriais de concreto, Associação Brasileira do Cimento Portland, Ficha Técnica 11, 1994.
- [03] CÁCERES, A. R.; JOHN, V. M.; FIGUEIREDO, A. D. Comparação entre pavimentos de concreto armado e de concreto reforçado com fibras com relação às emissões globais de CO₂. In: 56º. Congresso Brasileiro do Concreto, 2014, Natal. IBRACON, 2014.
- [04] CRISTELLI, R. Pavimentos industriais de concreto – Análise do sistema construtivo. Escola de Engenharia da UFMG, 2010.
- [05] FIGUEIREDO, A. D. Concreto Reforçado com Fibras. São Paulo, 2011. Tese (Livre-docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [06] HABERT, G.; DENARIÉ, E.; SAJNA, A.; ROSSI, P. Lowering the global warming impact of bridge rehabilitation by using Ultra High Performance Fibre Reinforced Concretes. Cement and concrete composites, 2012.
- [07] HAMMOND, G.; JONES, C. Inventory of carbon & energy (ICE) version 1.6a. Sustainable Energy Research Team (SERT). Department of Mechanical Engineering. University of Bath, UK, 2008.
- [08] IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3 Industrial Process and Product Use. Chapter 4 Metal Industry Emissions, 2006.
- [09] LIMA, J. R. Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- [10] OLIVEIRA, V. C. H. C. Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos estruturais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2015.

CIMENTO NACIONAL.
O CIMENTO COM A FORÇA DO BRASIL
É SEMPRE UMA GARANTIA DE
QUALIDADE NA SUA OBRA.



O **Cimento Nacional** tem maior rendimento na aplicação, com grande aderência, alta resistência, qualidade constante e uniforme. É cimento forte, moderno, de alta tecnologia.

Com o **Cimento Nacional** você tem qualidade superior e alta performance em todo tipo de aplicação.

Cimento Nacional, o cimento com a força do Brasil.



www.cimentonacional.com.br
CAC - 0800 201 0021

Concreto ontem: cimento amanhã

THIAGO RICARDO SANTOS NOBRE – BOLSISTA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL III

AGENARA QUATRIN GUERREIRO – GRADUANDA EM ENGENHARIA CIVIL

ANA PAULA KIRCHHEIM – PROFESSORA ADJUNTA

UFRGS

I. INTRODUÇÃO

Dentro do contexto de políticas públicas, a lei 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, aprovada em 2010, prevê a extinção dos lixões até o ano de 2014. Os resíduos somente poderão ser dispostos em aterros quando todas as possibilidades de aproveitamento tiverem sido esgotadas.

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (JOHN, 2000), tanto no Brasil como em outros países, sendo que as disposições irregulares e os aterros clandestinos, ocasionados pela falta de gerenciamento, tornaram-se uma realidade no território brasileiro.

Para contornar o problema, em 2002, foi aprovada a resolução 307, onde ficaram estabelecidos critérios e procedimentos para a gestão de RCD no Brasil (CONAMA, 2002). Por esta resolução, são atribuídas responsabilidades, tanto para o poder público quanto para a iniciativa privada. As empresas privadas de construção, que são grandes geradoras desse resíduo, devem desenvolver projetos de gerenciamento específicos, por exemplo, triagem em canteiros de obras, incluindo o uso de transportadores cadastrados e de áreas licenciadas para manejo e reciclagem.

Por outro lado, o poder público deve oferecer uma rede de coleta e destinação ambientalmente correta para os pequenos geradores, responsáveis por reformas e autoconstruções e incapazes de implementar autogestão.

Mesmo com todas as leis pertinentes ao tema, em 2010 o Brasil produziu aproximadamente 31 milhões de toneladas de resíduo de construção e demolição (RCD), sendo a maior parte deste resíduo descartado em aterro.

Os RCD são gerados nas atividades de construção, reforma ou demolição e constituídos por um conjunto de materiais, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, madeiras e compensados, argamassa, gesso, entre outros (CONAMA, 2002) e são classificados em quatro classes, a destacar: Classe A (RCD recicláveis, como os agregados); B (RCD recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); C (RCD sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento, como o gesso) e D (RCD perigosos, como tintas, solventes, óleos, fibrocimentos com amianto, entre outros).

Apesar de consumir e descartar um volume grande de materiais, a Construção Civil é caracterizada pelo seu alto poder de incorporação de resíduos, sendo um excelente mercado

para reciclagem. Um exemplo disso é a indústria cimenteira, que, segundo a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, em 2013, processou em seus fornos cerca de 1,2 milhão toneladas de resíduo; desse total 70% foi aproveitado como combustível e 30% como substituto de matéria prima (sólidos contaminados, areia de fundição, carepa de ferro, etc.) na produção de cimento. Esta atividade é chamada de coprocessamento e estabelece a integração de dois processos em um, mais especificamente a utilização da manufatura industrial de um produto a altas temperaturas em fornos, fornalhas, ou em caldeiras, para a destruição de resíduos industriais. Além dos benefícios ao meio ambiente, o coprocessamento é uma atividade que gera empregos diretos e indiretos e é regulamentada, em nível nacional, pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) e está contemplado no texto da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

No entanto, os resíduos ou subprodutos introduzidos com a farinha ou como combustível são fontes significativas de componentes menores e traço, os quais podem trazer implicações ao processo e influenciar as propriedades do clínquer produzido. Por este motivo, muitos estudos laboratoriais devem ser feitos antes de levar a

► Tabela 1 – Composição química dos resíduos para composição dos clínques

	Resíduo de ágata	Escória de aciaria	RC
CaO	0,13	40,72	15,30
SiO ₂	97,06	24,74	58,00
Al ₂ O ₃	1,84	3,43	6,70
MgO	0,00	10,96	1,17
Fe ₂ O ₃	0,06	7,67	3,61

cabo a utilização de tais resíduos nas indústrias cimenteiras, pois o coprocessamento, além da destruição de resíduos, aproveitando energia e economizando matéria-prima, consiste numa operação que tem o compromisso de produzir clínquer com qualidade comprovada. O objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de utilização de resíduo de concreto (RC) e dois outros resíduos industriais (escória de forno panela, resíduo da indústria siderúrgica, e resíduo de ágata, gerado no beneficiamento das gemas e jóias) como parte composicional da farinha crua de cimento Portland.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Determinação da composição química e cálculo potencial

As amostras dos resíduos selecionadas foram enviadas para análises químicas através de espectrômetros de fluorescência de raios X, localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram dosados os óxidos SiO₂,

Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MgO, CaO, SO₃, Na₂O, K₂O, MnO e P₂O₅, para amostras totais em pastilha prensada com ácido bórico no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER).

► Tabela 2 – Misturas utilizadas para composição dos clínques

Matéria-prima (%)	Farinha C1	Farinha C2
Carbonato de cálcio P.A.	80,15	59,58
Óxido de silício P.A.	14,18	–
Óxido de alumínio P.A.	3,51	2,29
Óxido de ferro P.A.	2,16	–
Resíduo de ágata	–	4,77
Escória	–	28,60
RC	–	4,77

Com base no conhecimento da composição química dos resíduos, adotou-se, com o propósito de dosar o clínquer produzido, a escória de forno panela, resíduo de ágata e de RC. A tabela 1 apresenta a composição química dos resíduos aplicados na dosagem.

A tabela 2 apresenta os proporcionalismos das matérias-primas das farinhas utilizadas. Cabe ressaltar que todas as matérias-primas utilizadas nas dosagens, inclusive as escórias, foram moídas até passarem totalmente em peneira ABNT N° 200 (75microns), antes de serem pesadas e homogeneizadas.

As amostras foram moídas por 15 minutos a uma mesma rotação em moinho planetário, 500rpm.

Os resultados de análises químicas foram utilizados para o cálculo potencial das fases projetadas do clínquer, pelo método de Bogue, para obtenção de valores para alita (C₃S), belita (C₂S), C₃A e C₄AF.

Fez-se a escolha dos valores dos módulos químicos com base nos valores adotados na pesquisa de Centurione (1999). Nesta etapa utilizaram-se reagentes puros, para a amostra referência (C1) e a utilização de resíduos industriais em parte na farinha, com o objetivo de fazer clínques coprocessados (C2).

► Tabela 3 – Parâmetros de controle adotados para composição de óxidos da farinha

Parâmetro	Equação	Limite de aplicação	Kihara <i>et al.</i> (1983)
Fator de saturação de cal (FSC)	$\frac{100 \times \%CaO}{2,8 \times \%SiO_2 + 1,18 \times \%Al_2O_3 + 0,65 \times \%Fe_2O_3}$	66 e 102	88 e 98
Módulo de sílica (MS)	$\frac{\%SiO_2}{(\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3)}$	1,8 a 3,2	2,0 e 3,0 2,4 e 2,7*
Módulo de alumínio (MA)	$\frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}$	0,7 a 2,0	1,2 e 3,2 1,4 e 1,6*



► Tabela 4 – Granulometria das farinhas

Granulometria a laser	Farinha C1	Farinha C2
Diâmetro em 10% (µm)	0,76	0,46
Diâmetro em 50% (µm)	6,59	5,22
Diâmetro em 90% (µm)	14,87	14,48
Diâmetro médio (µm)	7,39	6,63

► Tabela 5 – Composição química das farinhas experimentais

%	Centurione	farinha C1	farinha C2
CaO	69,33	69,30	66,10
SiO ₂	21,91	21,90	20,90
Al ₂ O ₃	5,43	5,40	5,20
MgO	–	–	4,60
Fe ₂ O ₃	3,33	3,30	3,20

2.2 Classificação granulométrica das farinhas de cimento Portland

A distribuição do tamanho de partículas das amostras de farinha foi determinada através de análise por granulômetro de difração laser por via úmida, com utilização de álcool etílico, realizado no Laboratório de Cerâmica (LACER), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o uso do aparelho CILAS 1180. Através dos valores da tabela 4, verifica-se um diâmetro médio de 6 microns das misturas.

2.3 Confeção das farinhas de cimento Portland

O concreto que deu origem ao RC foi produzido em laboratório, com resistência à compressão de ruptura de 30 MPa. Aos 28 dias, os corpos de prova foram retirados da cura úmida e expostos ao ar para a secagem e, posteriormente, submetidos à britagem e moagem. Para produção do concreto de referência, utilizou-se o cimento CPV ARI, agregado miúdo natural, agregado graúdo natural e

água, sendo o traço calculado em massa.

Com relação à gama de misturas possíveis de serem utilizadas, e pelo fato de existirem diversas alternativas de dosagem da farinha com os resíduos, optou-se por adotar os seguintes parâmetros:

- Balanceou-se o proporcionamento do corretivo de Fe₂O₃ ou de Al₂O₃

até o módulo de alumínio (MA) próximo de 1,63; já o módulo de sílica (MS), próximo de 2,50; e, por fim, a proporção de calcário na dosagem até o valor de 0,99, como pode ser visto na tabela 5. O critério adotado baseou-se na tentativa de utilizar a maior quantidade de resíduos.

- A partir das composições químicas das farinhas, estimaram-se as composições prováveis dos respectivos clínques esperados (tabela 7).

As farinhas foram armazenadas em recipientes de vidro, posteriormente homogeneizadas por aproximadamente 10 minutos em agitador rotatório de frascos e pelotizadas na forma de esferas de 1 a 1,5cm de diâmetro, misturando-se a farinha com um mínimo de água, a fim de possibilitar a moldagem manual. As esferas assim obtidas foram mantidas em estufa a 105°C até o momento da calcinação.

Para que ocorresse a completa clínquerização das farinhas, com o menor gasto de energia possível, assumiu-se o tempo de patamar de 15 minutos como sendo o tempo aproxi-

► Tabela 6 – Módulo químico das farinhas experimentais

Módulo químico	Centurione	farinha C1	farinha C2
FSC	0,99	0,99	0,99
MS	2,50	2,50	2,50
MA	1,63	1,63	1,63

► Tabela 7 – Composição mineralógica potencial dos clínques experimentais, segundo BOGUE

Fases	Centurione	Clínquer C1	Clínquer C2
C3S	74,50	74,50	70,80
C2S	6,60	6,60	6,50
C3A	8,70	8,70	8,40
C4AF	10,10	10,10	9,70

mado de permanência do clínquer na zona de queima de um forno rotativo convencional. Além disso, segundo Gobbo (2003), o processo de calcinação que possui condições favoráveis de queima do clínquer procura aplicar taxa de queima rápida, temperatura de queima alta, tempo de queima longo e taxa rápida de 1º resfriamento. Por outro lado, neste estudo não pode ser desconsiderado que o clínquer incorpora uma matéria-prima não convencional.

CHEN (2009) relata que a utilização da escória de aciaria na farinha tende a reduzir o consumo de energia e a temperatura necessária para a decomposição do carbonato de cálcio da farinha durante o processo de calcinação, devido à escória de aciaria possuir óxido de ferro II (FeO), o qual contribui na decomposição do CaCO_3 a uma temperatura 100°C mais baixa do que no processo convencional de clinquerização, além de acelerar as reações da fase líquida e formação de C_2S , bem como ao fato da escória fornecer CaO já dissociado do CO_2 , dispensando a descarbonatação dessa parcela. Porém, as temperaturas mais elevadas do que aquelas adequadas para a clinquerização, apesar de possibilitarem um incremento no conteúdo de C_3S , conduzem à diminuição da resistência do cimento, devido ao aumento do tamanho dos cristais de C_3S (CENTURIONE, 1999).

As calcinações foram executadas inicialmente sobre um cadinho de alumina. Devido à quebra desses cadinhos, optou-se pelos cadinhos de zircônia, os quais apresentaram maior resistência a trincas e quebras após o resfriamento. Percebeu-se que o tempo de patamar de 15 minutos mostrou-se suficiente e propício à formação das fases do clínquer, tendo em vista que os resultados

da DRX comprovaram a formação de todas as fases do clínquer.

Como as fábricas de cimento modernas utilizam pré-aquecedores, aproveitando os gases quentes do forno para elevar a temperatura do material até aproximadamente 900°C, antes da entrada dele propriamente no forno, adotou-se a inserção dos clínqueres no forno de laboratório a uma temperatura inicial semelhante, por 30 minutos, para a descarbonatação e melhor efetivação da clinquerização.

O C_3S , principal fase mineral do clínquer, torna-se instável quando resfriado lentamente, a partir de 1200°C. Para evitar essa ocorrência, para o resfriamento adotou-se a retirada dos clínqueres à 1350°C, seguido de resfriamento brusco utilizando-se ventilação forçada, de forma a favorecer a formação estável e reativa do C_3S e das outras fases minerais presentes no clínquer, e posteriormente armazenadas em dessecador com sílica-gel.

Com relação ao resfriamento dos clínqueres logo após a saída do forno, fez-se necessário aumentar a sua taxa de resfriamento, utilizando ventilador, procurando assemelhar o experimento com o processo de resfriamento da fábrica de cimento.

3. ENSAIOS REALIZADOS NAS FARINHAS E NOS RESPECTIVOS CLÍNQUERES OBTIDOS

3.1 Análises térmicas das farinhas

No intuito de quantificar a emissão de CO_2 das farinhas, foi realizada uma análise termogravimétrica (TG) e a curva termogravimétrica derivada (DTG). A análise foi feita no Laboratório de Cerâmica (LACER) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o uso de analisado-

res térmicos DTA-TG marca METTLER, nas quais as farinhas foram aquecidas a um índice de 10°C/min, atmosfera oxidante, com fluxo de 40ml/min.

3.2 Análises por microscopia óptica dos clínqueres

As análises por microscopia óptica de luz refletida foram realizadas em uma indústria cimenteira parceira do projeto. Análises microscópicas qualitativas foram realizadas para a descrição dos principais compostos do clínquer. Para as análises, aplicou-se ataque químico com uma solução 0,1% de cloreto de amônia e, de ácido nítrico (HNO_3) a 0,1% em etanol, para a contagem dos silicatos, e para a visualização da fase intersticial, o ataque foi realizado com uma solução de hidróxido de potássio - KOH (10%) + sacarose (10%) em água.

3.3 Análises por difração de raios X

Todas as análises foram realizadas em um difratômetro de raios X do Laboratório de Cerâmica (LACER) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, modelo Philips X'Pert MPD, com tubo cerâmico modelo PW3373/00 e detector proporcional modelo PW 3011/10, raios X $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$), com passo de 0,05°, tempo de 1s por passo e fendas de 1/2°.

Os ensaios de difração de raios X foram realizados com o objetivo de identificar as principais fases cristalinas das amostras. A identificação das fases cristalinas presentes na amostra foi feita utilizando o software *X'Pert High Score*, comparando os resultados obtidos através da análise dos picos principais de cada fase identificada pelas fichas PDF.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises térmicas

Analisando a figura 1, verifica-se, até na temperatura de 600°C, uma pequena perda de massa relativa à desidroxilação dos argilominerais, associadas a transformações e modificações microestruturais.

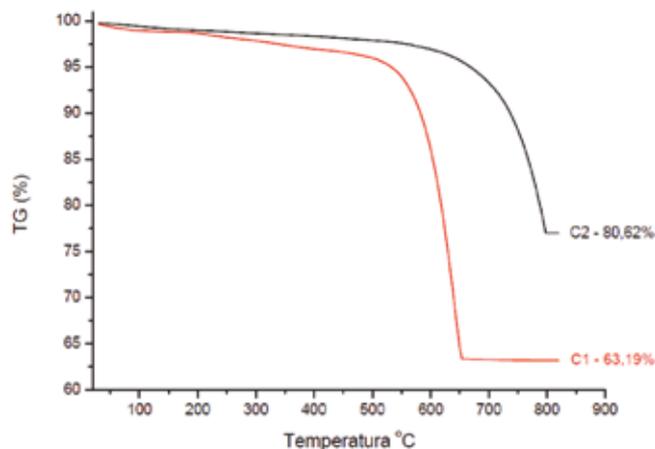
Nas faixas de temperaturas de 600°C a 800°C, há uma perda significativa de massa, devido à decomposição ou dissociação do carbonato de cálcio. A reação parcial da cal livre liberada com a alumina e o óxido de ferro, formando aluminatos e ferroaluminatos de cálcio, e com a parte ativa da sílica, formando belita, não se processa com perda de massa e igualmente a conversão de quartzo alfa em quartzo beta; mas esta última é bastante perceptível na figura 2 pelo pico de reação exotérmica, por volta de 570°C.

Analisando ainda a figura 1, verifica-se que a massa do CO₂ liberado na calcinação da farinha referência foi de 36,81% e da farinha coprocessada foi de 19,38%, uma redução de quase 50% no teor de CO₂ emitido.

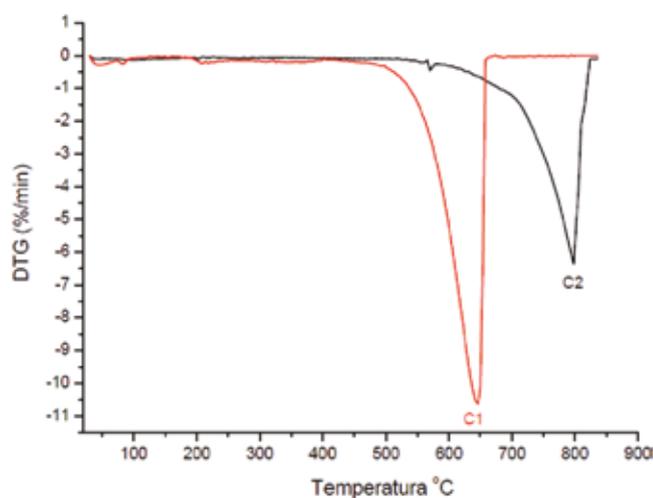
4.2 Análises por difração de raios X dos clínques experimentais

Na figura 3 podem ser visualizados os picos principais da análise de difração de raios X das fases do clínquer Portland.

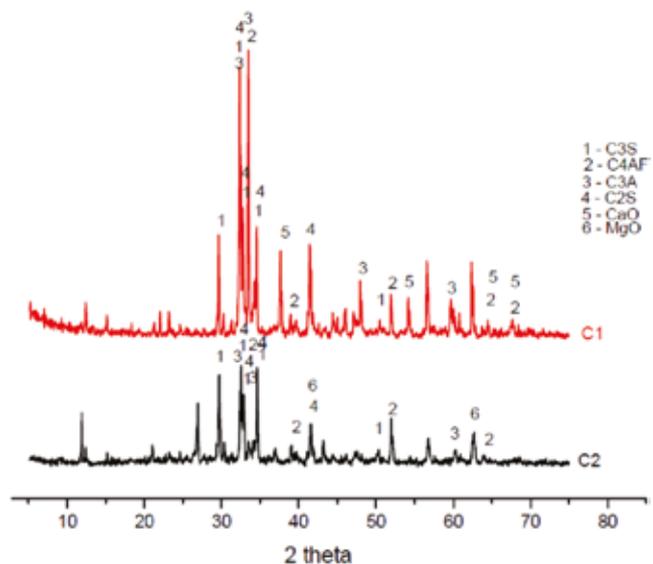
Na análise do difratograma, podem-se observar, tanto na amostra de referência (C1) quanto na amostra coprocessada (C2), picos de silicato tricálcico (C₃S, ICDD#49-0442), silicato dicálcico (C₂S, ICDD#31-0299), ferro aluminato tetracálcico (C₄AF, ICDD#30-0226), e aluminato tricálcico (C₃A, ICDD#32-0150). Foram observados picos de óxidos de magnésio - periclásio (MgO, ICDD#45-0946), na amostra



► **Figura 1**
Curva de TG das farinhas



► **Figura 2**
Curva de DTG das farinhas



► **Figura 3**
Difração de raios X

coprocessada, visto que fonte de magnésio estar presente no resíduo de escória.

Picos de óxido de cálcio – cal livre (CaO, ICDD#45-0946), foram encontrados na amostra de referência, uma vez que foram utilizadas matérias-primas puras, o que dificulta a queimabilidade da farinha devido à falta de mineralizadores no processo de clínquerização.

4.3 Análises por microscopia óptica dos clínques experimentais

As fotomicrografias do clínquer coprocessado obtido da farinha C2 apresentam: cristais de C_2S bem formados, distribuídos em zonas e também dispersos; cristais de C_3S bem formados, com bordas bem retilíneas, tamanho normal, variando de $20\mu m$ a $40\mu m$; a fase intersticial apresenta-se cristalizada com pouca visualização de C_3A ; porosidade média; presença de MgO (periclásio). Não foi evidenciada cal livre.

Não foram realizadas fotomicrografias do clínquer obtido da farinha C1, pois o objetivo foi estudar a formação das fases cristalinas do clínquer utilizando-se o RCD.

5. CONCLUSÃO

Observa-se que a utilização de um material classificado como resíduo representa sempre um benefício ambiental e justifica-se facilmente como um fator econômico positivo, desde que sejam atendidos os requisitos técnicos referentes à aplicação pretendida. O RC neste trabalho teve como objetivo principal a inovação e o desafio de utilizá-lo na fabricação do clínquer, fechando um ciclo de vida útil. Este resíduo contém todos os minerais necessários e que compõem a matéria-prima.

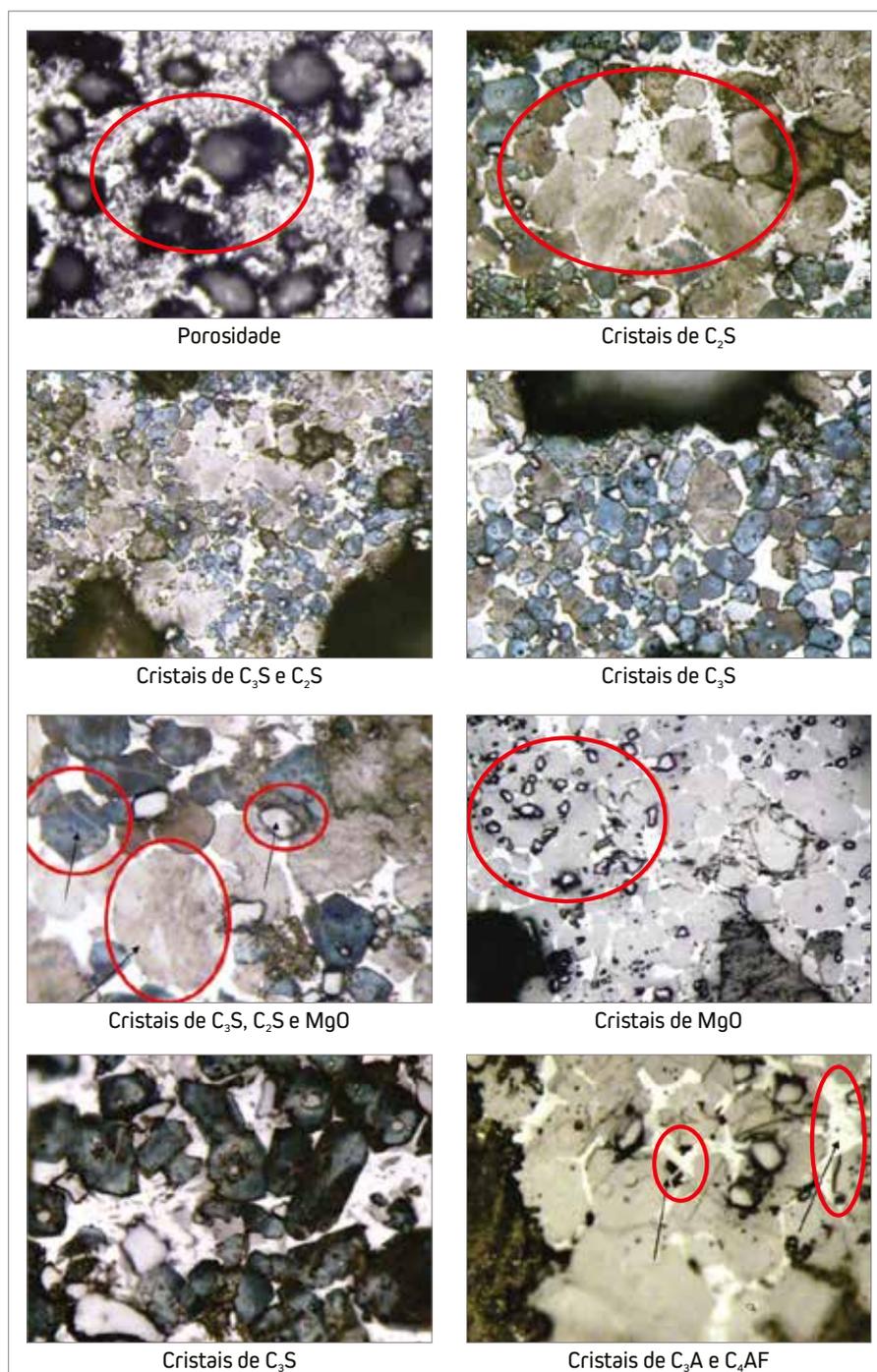
Assim, nesta pesquisa, fez-se um estudo da viabilidade técnica do uso de RC, resíduo de ágata e da EFP pro-

duzida em siderúrgica da região, como matérias-primas para a confecção de clínques experimentais em laboratório, o qual gerou interessantes resultados.

As considerações apresentadas a seguir referem-se especificamente aos resultados obtidos para os materiais es-

tudados, sob as condições experimentais descritas anteriormente.

Foi possível confeccionar clínques experimentais em laboratório com resíduos, como substituição parcial da farinha, em teores de até 38,14% (para a mistura C2).



► **Figura 4**
Fotomicrografia do clínquer coprocessado (C2)

Todas as fases principais do clínquer foram detectadas nas análises mineralógicas qualitativas através de difração de raios X (C_2S , C_3S , C_3A e C_4AF).

A farinha contendo resíduos (C_2) emitiu quantidade significativamente menor de CO_2 que a farinha referência (C_1).

Em suma, este estudo mostrou a viabilidade de gestão ambiental adequada de alguns tipos de resíduos, em particular os gerados em construção e demolição de concretos pelo seu aproveitamento como substituto de matéria-prima para fabricação de cimento.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a valorosa colaboração do doutor Antônio Takimi do Laboratório de Cerâmica – LACER/UFRGS e a CIMPOR/Brasil, pela realização dos ensaios de microscopia óptica. Destacam ainda a importância do aporte financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq). ↵

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. A indústria de cimento e a sustentabilidade. Disponível em: <<http://notes.abcp.org.br:8080/Producao/clipp/clipp.nsf/d25eb76a1d94d3d503256aef0041dbbe/0d53b4f2511c777f832578b2004c28db?OpenDocument>>. Acesso em: 07 de abril de 2013.
- [02] BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.
- [03] BOGUE, R. H., Calculation of the Compounds in Portland Cement. Analytical Edition, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 1, No. 4, page 192. October 15, 1929
- [04] Centurione, S. L. Influência das características das matérias-primas no processo de sinterização do clínquer Portland. (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1993. 154 p.
- [05] CHEN, I. A. Synthesis of Portland Cement and Calcium Sulfoaluminate-Belite Cement for Sustainable Development and Performance. PhD dissertation. Department of Civil Engineering of The University of Texas at Austin, 2009. 174 p.
- [06] Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. Ed. / Conselho Nacional do Meio Ambiente. – Brasília: Conama, 2008. 928 p.
- [07] John, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. (Livre Docência). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000. 113 p.



A experiência de quem saber fazer.

A Mega Concreto chega com uma equipe motivada e liderada por profissionais experientes que gostam de desafios. Não é a toa que muitas das histórias do concreto no Brasil foram escritas por eles e pelo visto escreverão muitas mais.

Nossa estrutura

- 120 m³/h de produção de concreto de qualidade.
- Produção e entregas informatizadas.
- Precisão e rapidez no atendimento.
- Estrutura eficiente de pós-venda.
- Soluções para obras de pequeno, médio e grande porte.
- Usinas de canteiro.

11 3616.2244 www.megaconcreto.com.br



Avaliação e modelagem das propriedades mecânicas de concretos com RCD

LUANA BOTTOLI SCHEMMER – GRADUANDA

JÉSSICA ZAMBONI SQUIAVON – GRADUANDA

KATIUSSA SULZBACHER – GRADUANDA

MARCELA RICHETTI TREVIZAN – GRADUANDA

SÉRGIO ROBERTO DA SILVA – ENGENHEIRO CIVIL

JAIRO JOSÉ DE OLIVEIRA ANDRADE – PROFESSOR DOUTOR

FACULDADE DE ENGENHARIA DA PUCRS

I. INTRODUÇÃO

Na atualidade, questões ambientais estão sendo muito discutidas. Devido ao consumo desenfreado dos recursos naturais, houve um aumento do desmatamento e da poluição no planeta, causando problemas como o aquecimento global. A cada dia é salientada a importância de se alcançar uma política de sustentabilidade nos setores sociais e econômicos, sendo uma das soluções a reciclagem.

Segundo Barreto (2005), a construção civil é uma indústria que produz grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra, até a destinação final dada aos resíduos gerados, ocasionando grandes alterações na paisagem urbana, além de ser considerada uma das maiores fontes geradoras de resíduos dentro de nossa sociedade.

A busca por novos recursos que tragam bons resultados sem gerar prejuízos ao meio ambiente vem se tornando cada vez mais presentes na construção civil. Segundo Leite (2001) e Ângulo (1998),

a constante preocupação com o meio ambiente e com os recursos naturais têm levado à busca por alternativas de crescimento mais sustentáveis, não só na área das Engenharias, como por parte de todos os segmentos da sociedade. Em busca de melhores resultados na construção civil com menor agressão ao meio ambiente, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo. Uma nova matéria-prima pode ser produzida e substituir a natural, não renovável.

Devido à grande variabilidade de materiais e as diferentes origens dos agregados reciclados, faz-se necessário o controle e a caracterização sistemática desses resíduos de construção civil para permitir melhor difusão do seu uso em concretos. Conhecer bem o comportamento do material reciclado dentro das misturas de concreto resultará em produtos de melhor qualidade e romperá possíveis barreiras para o completo

aproveitamento do resíduo (CARRIJO, 2005; LEITE, 2001). Levy e Helene (2004) avaliaram aspectos relacionados com a durabilidade – absorção d'água, porosidade total e carbonatação – de concretos com diversos níveis de substituição de agregados naturais (tanto miúdos quanto graúdos) por agregados reciclados de alvenaria e de concreto. Os autores verificaram que as propriedades dos concretos com RCD foram praticamente as mesmas se comparadas com o concreto de referência para um teor de substituição de 20%.

Nesse contexto, o objetivo principal da presente investigação é avaliar a influência do agregado graúdo reciclado de construção e demolição nas propriedades mecânicas do concreto. Como objetivos específicos podem ser citados: (i) analisar a influência do teor de substituição na resistência à compressão e à tração por compressão diametral dos concretos; (ii) investigar a porosidade, a massa específica e a absorção dos concretos com diversos teores de RCD; (iii) avaliar estatisticamente a influência das variáveis no comportamento dos



► Tabela 1 – Caracterização física do cimento CP IV 32

Ensaio	Resultado
Resíduo # 0,075 mm	0,6%
Resíduo # 0,045 mm	5,4%
Teor de carbono	4,95%
Peso específico	2,74 g/cm ³
Superfície específica	1,23 m ² /g
Resistência mecânica (MPa) – 3 dias	16,8
Resistência mecânica (MPa) – 7 dias	23,5
Resistência mecânica (MPa) – 28 dias	38,7

concretos através da análise de variância (ANOVA); e (iv) modelar matematicamente o comportamento da resistência à compressão e à tração por compressão diametral dos concretos estudados.

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Para a realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais.

► Tabela 2 – Caracterização química do cimento CP IV 32

Composto	Valor (%)
SiO ₂	31,7
Al ₂ O ₃	10,01
Fe ₂ O ₃	3,04
CaO	45,07
MgO	5,98
SO ₃	2,76
Na ₂ O	0,17
K ₂ O	0,96
Cal livre	1,67
Perda ao fogo	4,02
Resíduo insolúvel	32,14

► Tabela 3 – Caracterização do agregado miúdo natural

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos	
		Abertura da peneira ABNT (mm)	Porcentagem acumulada
Composição granulométrica	NBR 7217	2,38	0,2
		1,18	3,45
		0,6	26,17
		0,3	82,77
		0,15	98,75
		< 0,15	100
Dimensão máxima característica (mm)		1,18	
Módulo de finura		2,11	
Massa específica (kg/cm ³)		2,63	
Massa unitária (kg/cm ³)		1,5	

- O cimento empregado foi o CP IV 32, disponível comercialmente na região. As características físicas e químicas do mesmo, de acordo com informações passadas pelo fabricante, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.
- Agregado miúdo natural, constituído de areia natural quartzosa média proveniente da extração das margens do Lago Guaíba (RS), com as características apresentadas na Tabela 3.
- Agregado reciclado de construção e demolição (RCD).

Inicialmente, realizou-se a análise do material proveniente de resíduo de construção e demolição, que, logo após, foi britado para um melhor aproveitamento como agregado graúdo. A partir do resíduo britado, foi analisada a constituição do agregado reciclado, onde, para uma amostra, foram separados e, na sequência, determinados os diferentes materiais que o constitui percentualmente (Tabela 4), com o objetivo de representar quantitativamente cada componente.

Na Figura 1, encontra-se apresentada o agregado reciclado após o proces-

so de britagem, enquanto que, na Tabela 5, estão mostrados os resultados dos ensaios de caracterização física para esse material.

- Brita de origem basáltica para confecção dos concretos de referência, cuja caracterização física está apresentada na Tabela 6.
- Água fornecida pelo abastecimento da rede pública do município.

2.2 Método

Após a caracterização dos materiais, foi realizada a dosagem experimental, baseada no método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992). O teor de argamassa foi mantido fixo em 53% e foram

► Tabela 4 – Composição do agregado reciclado

Material	Quantidade (%)
Cerâmica	7,2
Concreto	43,2
Seixo rolado	48
Outros	1,6
Total	100



► **Figura 1**
Agregado reciclado após o processo de britagem

estabelecidos 3 traços em função da relação a/c (0,40, 0,50 e 0,60).

O concreto de referência foi moldado com 100% de pedra britada natural. Já, os demais concretos foram moldados com taxas de substituição em massa do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado de 25%, 50% e 100%. Conforme observado nas Tabelas 5 e 6, a massa específica do RCD é inferior à massa específica do agregado natural. Logo, uma simples substituição do agregado natural pelo RCD implicaria um volume de argamassa com RCD maior e necessitaria de mais água e cimento para produzir a mistura equivalente à mistura de referência. Desta forma, para realizar a compensação do volume do agregado graúdo que seria empregado, utilizou-se a Equação 1.

$$M_{AR} = M_{AN} * \frac{\gamma_{AR}}{\gamma_{AN}} \quad [1]$$

Onde:

M_{AR} = massa do agregado reciclado, em kg;

M_{AN} = massa do agregado natural, em kg;

γ_{AR} = massa específica do agregado reciclado, em kg/dm³;

γ_{AN} = massa específica do agregado natural, em kg/dm³.

Os consumos de materiais e as dosagens para os teores de substituição

► **Tabela 5 – Caracterização do agregado reciclado**

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos	
		Abertura da peneira ABNT (mm)	Porcentagem acumulada
Composição granulométrica	NBR 7217	19	4,80
		12,5	48,25
		9,5	65,49
		6,3	85,38
		4,75	92,88
		2,36	99,92
		< 2,36	100
Dimensão máxima característica (mm)		19	
Módulo de finura		2,64	
Massa específica (kg/cm ³)		2,5	
Massa unitária (kg/cm ³)		1,22	

escolhidos encontram-se apresentados da Tabela 7 até a Tabela 10.

Foram moldados para cada traço corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm), que foram ensaiados à compressão axial e à tração por compressão diâmetro aos 7 e 28 dias, sendo rompidos 3 exemplares para cada idade e para cada ensaio. Além disso, foram realizados en-

saio de porosidade aparente, massa específica e absorção por imersão dos concretos estudados.

Em uma análise experimental é importante que sejam determinadas as influências estatísticas de cada um dos fatores controláveis na resposta do experimento. Para tanto, os resultados foram analisados através do emprego da

► **Tabela 6 – Caracterização do agregado graúdo basáltico**

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos	
		Abertura da peneira ABNT (mm)	Porcentagem acumulada
Composição granulométrica	NBR 7217	19	0,7
		12,5	51,97
		9,5	75,07
		6,3	97,45
		4,75	99,27
		2,36	99,9
		< 2,36	100
Dimensão máxima característica (mm)		19	
Módulo de finura		2,75	
Massa específica (kg/cm ³)		2,85	
Massa unitária (kg/cm ³)		1,39	



► Tabela 7 – Dosagem e quantidade de materiais para o concreto de referência

Relação a/c	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m³)	Abatimento (mm)
		Massa	%		
0,4	Cimento	1,00	24,0	511	70
0,4	Areia	1,21	29,0	422,31	70
0,4	Brita	1,96	47,0	1001,56	70
0,5	Cimento	1,00	17,2	376	60
0,5	Areia	2,08	35,8	782,08	60
0,5	Brita	2,73	47,0	1026,5	60
0,6	Cimento	1,00	13,5	298	70
0,6	Areia	2,94	39,6	876,12	70
0,6	Brita	3,49	46,7	1040,2	70

Análise de Variância (*Analysis of Variance* – ANOVA), a fim de verificar a significância estatística da relação a/c, do teor de RCD e da idade na resistência mecânica dos concretos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse item serão apresentados os principais resultados obtidos na presente investigação. Vale salientar que os ensaios de caracterização física dos con-

cretos (absorção por imersão, porosidade e massa específica) foram realizados apenas aos 28 dias, cujas análises não incorporam o efeito da idade na modelagem do comportamento do material.

3.1 Absorção por imersão, porosidade e massa específica dos concretos

Os resultados dos ensaios de absorção por imersão estão apresentados na Figura 2.

Conforme já esperado, os valores de absorção por imersão aumentam conforme a relação a/c do concreto aumenta. Pode-se observar que, com o aumento do teor de substituição de agregado reciclado, há um incremento da porosidade do concreto, contribuindo, assim, para uma maior absorção de água, tendendo a diminuir a resistência e a durabilidade do mesmo.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) a fim de verificar se o teor

► Tabela 8 – Dosagem e quantidade de materiais para o concreto com 25% de RCD

Relação a/c	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m³)	Abatimento (mm)
		Massa	%		
0,4	Cimento	1,00	24,0	511	45
0,4	Areia	1,21	29,0	618,31	45
0,4	Brita	1,47	35,2	751,17	45
0,4	RCD	0,43	10,3	219,73	45
0,5	Cimento	1,00	17,2	376	95
0,5	Areia	2,08	35,8	782,08	95
0,5	Brita	2,05	35,2	770,08	95
0,5	RCD	0,60	10,3	225,6	95
0,6	Cimento	1,00	13,5	298	140
0,6	Areia	2,94	39,6	876,12	140
0,6	Brita	2,62	35,2	780,76	140
0,6	RCD	0,77	10,3	229,46	140

► Tabela 9 – Dosagem e quantidade de materiais para o concreto com 50% de RCD

Relação a/c	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m ³)	Abatimento (mm)
		Massa	%		
0,4	Cimento	1,00	24	511	70
0,4	Areia	1,21	29	618,31	70
0,4	Brita	0,98	23,5	500,78	70
0,4	RCD	0,86	20,6	439,46	70
0,5	Cimento	1,00	17,2	376	100
0,5	Areia	2,08	35,8	782,08	100
0,5	Brita	1,36	23,5	511,36	100
0,5	RCD	1,20	20,6	451,2	100
0,6	Cimento	1,00	13,5	298	35
0,6	Areia	2,94	39,6	876,12	35
0,6	Brita	1,75	23,5	521,5	35
0,6	RCD	1,53	20,6	455,94	35

de substituição de RCD e a relação a/c dos corpos de prova influenciam significativamente na resistência à compressão, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 11.

O valor de 'p' menor que 0,05 indica que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa com um nível de confiança de 95%. Pode-se verificar que,

neste caso, tanto a relação a/c quanto teor de substituição de agregado graúdo influenciam estatisticamente na absorção por imersão dos concretos com RCD.

Os resultados referentes à porosidade dos concretos avaliados encontram-se apresentados na Figura 3. Verifica-se que há um aumento da porosidade do concreto em função da característica típica

dos RCD, que possui uma menor massa específica que os agregados naturais.

Segundo Leite (2001) e Levy e Helene (2004), a porosidade dos materiais influencia na resistência, pois, quanto mais poroso eles forem, a resistência diminui significativamente. Percebe-se, então, que com o aumento da substituição pelo agregado reciclado, obtém-se uma maior

► Tabela 10 – Dosagem e quantidade de materiais para o concreto com 100% de RCD

Relação a/c	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m ³)	Abatimento (mm)
		Massa	%		
0,4	Cimento	1,00	24	511	175
0,4	Areia	1,21	29	618,31	175
0,4	Brita	0,00	0,00	0,00	175
0,4	RCD	1,72	41,2	878,92	175
0,5	Cimento	1,00	17,2	376	120
0,5	Areia	2,08	35,8	782,08	120
0,5	Brita	0,00	0,00	0,00	120
0,5	RCD	2,39	41,2	898,64	120
0,6	Cimento	1,00	13,5	298	65
0,6	Areia	2,94	39,6	876,12	65
0,6	Brita	0,00	0,00	0,00	65
0,6	RCD	3,06	41,2	911,88	65



absorção de água no agregado, influenciando na mistura e promovendo a minimização da resistência do concreto.

A ANOVA para a propriedade da porosidade encontra-se apresentada na Tabela 12.

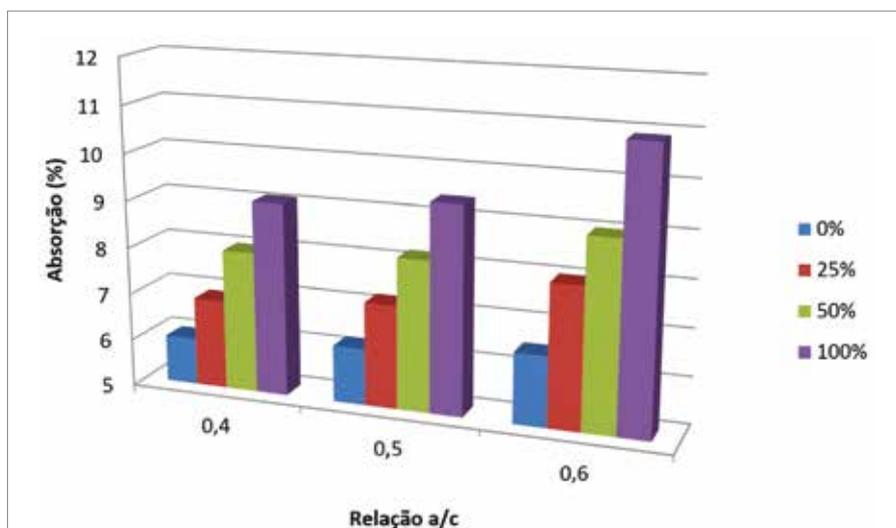
Neste caso, excetuando-se a interação entre os fatores, tanto o teor de substituição quanto a relação a/c exercem influência significativa na porosidade dos concretos com RCD. Os resultados obtidos a partir do acréscimo de agregado reciclado demonstram que a porosidade irá aumentar e, conseqüentemente, a facilidade de percolação de água e de agentes agressivos. Com isso, percebe-se que, dependendo do local em que será destinado o concreto, serão necessários estudos mais aprofundados para garantir uma durabilidade adequada para cada ambiente de exposição.

Os resultados obtidos através do ensaio para a determinação da massa específica dos concretos estão apresentados na Figura 4.

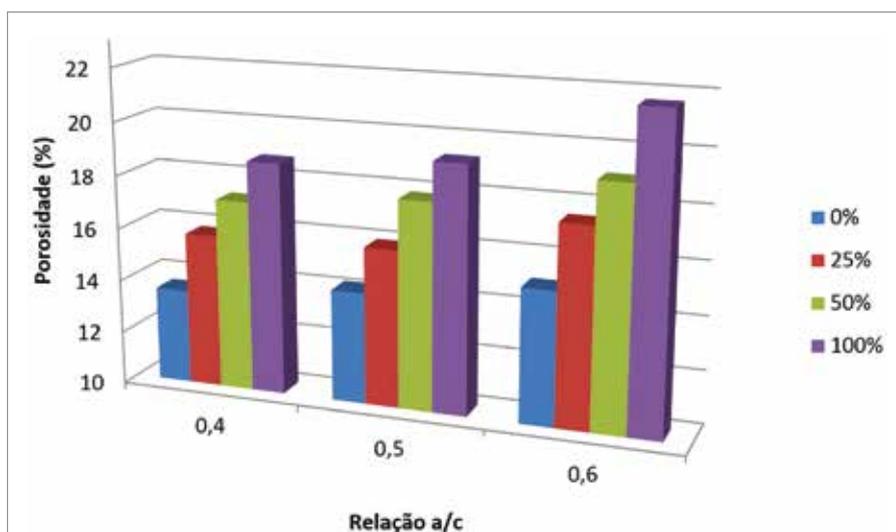
Verifica-se que há uma minimização de massa específica dos concretos com RCD devido à diferença de massa dos agregados reciclados em relação aos agregados naturais, sendo este fator explicado pela maior porosidade do agregado reciclado. Segundo Levy (1997, apud LEITE, 2001), as massas específicas de concretos com reciclado são entre 5% a 10% inferiores às dos concretos tradicionais. Conforme se pode observar na Tabela 13, todos os fatores influenciam significativamente na massa específica dos concretos avaliados.

3.2 Resistência à compressão (f_c)

O ensaio de compressão axial foi realizado nas idades de 7 e 28 dias, cujos resultados estão apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.



► **Figura 2**
Resultados de absorção por imersão



► **Figura 3**
Porosidade dos concretos avaliados

► **Tabela 11 – Tabela ANOVA para a absorção por imersão**

Fonte de variação	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Constante	1	2274,17	2274,17	11699,95	0,0000
Teor de RCD	3	61,31	20,44	105,14	0,0000
Relação a/c	2	7,80	3,90	20,06	0,0000
Teor de RCD *Relação a/c	6	1,57	0,26	1,335	0,2743
Erro	24	4,66	0,19	–	–

Onde: GDL = graus de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

Analisando os resultados dos ensaios aos 28 dias, para a relação a/c 0,4 e 0,5, todos os concretos possuem valores superiores ao mínimo determinado

em norma (20 MPa). Para as relações a/c 0,4 e 0,5, todas as substituições de agregado reciclado demonstram uma resistência satisfatória. De forma geral,

a composição dos agregados empregados no presente estudo (proporção de restos de concreto e de seixos rolados na amostra sendo de 91%, conforme mostrado na Tabela 4) foi um fator que certamente influenciou a ocorrência de valores de resistência próximos às do concreto de referência.

Já, para relação a/c 0,6, apenas o concreto com teor de substituição de 25% de RCD possui valor superior à 20 Mpa, exigido por norma. Isso se deve ao acréscimo de água na mistura, que promove a redução da resistência do concreto. Também, pode-se ressaltar que houve um importante acréscimo de resistência aos 28 dias em comparação aos 7 dias, já que o CP IV proporciona ao concreto resistência mais elevada em idades mais avançadas devido à reação pozolânica.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) a fim de verificar se o teor de substituição de RCD, a relação a/c e a idade de ruptura dos corpos de prova influenciam significativamente na resistência à compressão. Os resultados da análise estão apresentados na Tabela 14.

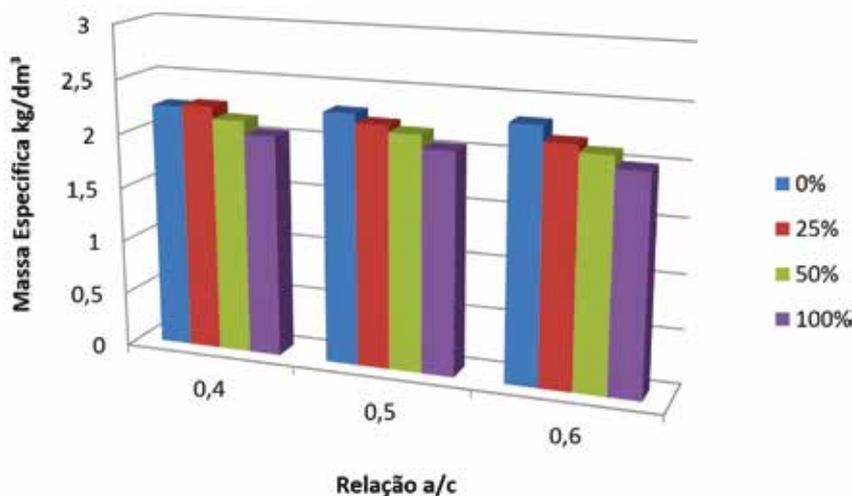
Tanto as variáveis quanto as suas interações exercem influência na resistência à compressão do concreto, excetuando-se a interação de maior nível, ou seja, a presença do RCD realmente influencia na diferença de resistência observada entre os concretos.

Para a variável de resposta “resistência à compressão axial”, um modelo matemático que representa o comportamento dos concretos com RCD foi obtido a partir dos dados experimentais. Após vários ajustes, o modelo otimizado apresentou um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,952, indicando que o modelo explica 95,2% da variabilidade dos valores observados para a resistên-

► Tabela 12 – Tabela ANOVA para a porosidade

Fonte de variação	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Constante	1	10578,81	10578,81	13007	0,0000
Teor de RCD	3	153,64	51,21	62,97	0,0000
Relação a/c	2	25,77	12,88	15,84	0,0000
Teor de RCD *Relação a/c	6	2,80	0,47	0,57	0,7470
Erro	24	19,52	0,81	–	–

Onde: GDL = graus de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada



► Figura 4
Resultados da massa específica dos concretos

► Tabela 13 – Tabela ANOVA para a massa específica

Fonte de variação	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Constante	1	170,22	170,22	202236	0,0000
Teor de RCD	3	0,323	0,108	128,0	0,0000
Relação a/c	2	0,008	0,004	5,2	0,0137
Teor de RCD *Relação a/c	6	0,025	0,004	5,0	0,0019
Erro	24	0,020	0,0008	–	–

Onde: GDL = graus de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

cia à compressão do concreto. O modelo está representado pela Equação 2.

$$f_c = e^{(6,721 - 0,022 \cdot \text{RCD} - 3,3865 \cdot \text{Relação a/c} + 0,0207 \cdot \text{Idade})} \quad [2]$$

Onde:

f_c = resistência à compressão (MPa);

RCD = teor de pó de RCD no concreto;

Relação a/c = relação a/c no concreto;

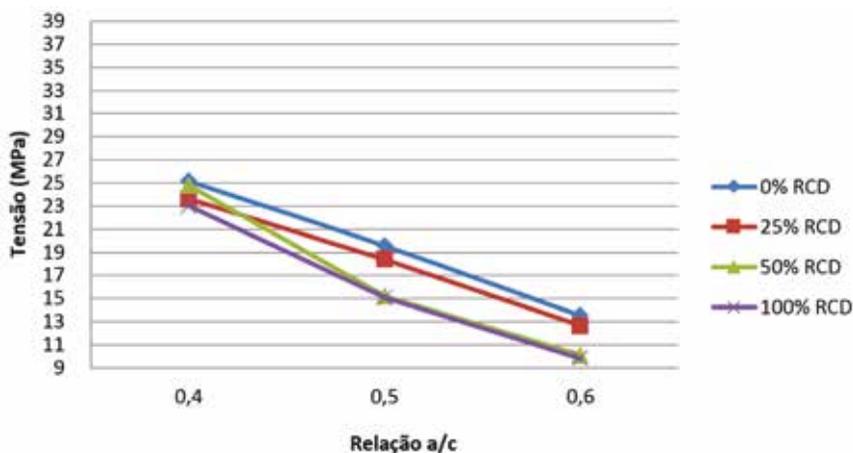
Idade = idade do concreto (dias).

3.3 Resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$)

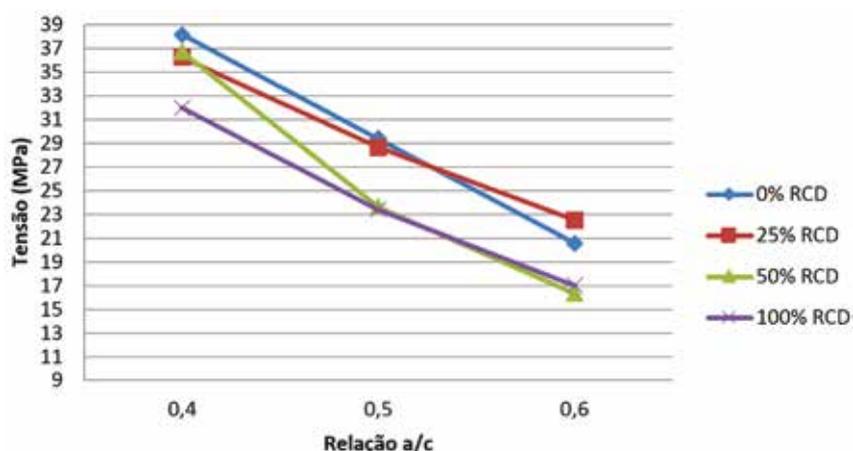
Do mesmo modo que o observado para a resistência à compressão, os resultados de resistência à tração por compressão diametral também demonstram que, a partir do aumento da relação a/c, obtém-se uma redução da resistência do concreto. Esse comportamento pode ser observado na Figura 7 e na Figura 8.

Analisando os resultados aos 28 dias, conclui-se que, a partir do acréscimo da relação a/c e da substituição de agregado, também se obtém uma redução da resistência do concreto. A Figura 9 mostra que, enquanto ocorre o descolamento da pasta do cimento do agregado natural, os agregados reciclados são partidos ao meio. Como o agregado reciclado apresenta em suas faces uma textura bastante rugosa, a aderência da pasta do cimento na amostra RCD é similar à aderência da pasta do cimento na amostra de referência. Todavia, a resistência do concreto com RCD é menor que a resistência do concreto de referência em função da resistência inferior do agregado graúdo de RCD.

Foi realizada uma ANOVA a fim de verificar se o teor de substituição de RCD, a relação a/c e a idade de ruptura dos corpos de prova influenciam significativamente na resistência à compres-



► **Figura 5**
Curva de Abrams – resistência à compressão axial aos 7 dias



► **Figura 6**
Curva de Abrams – resistência à compressão axial aos 28 dias

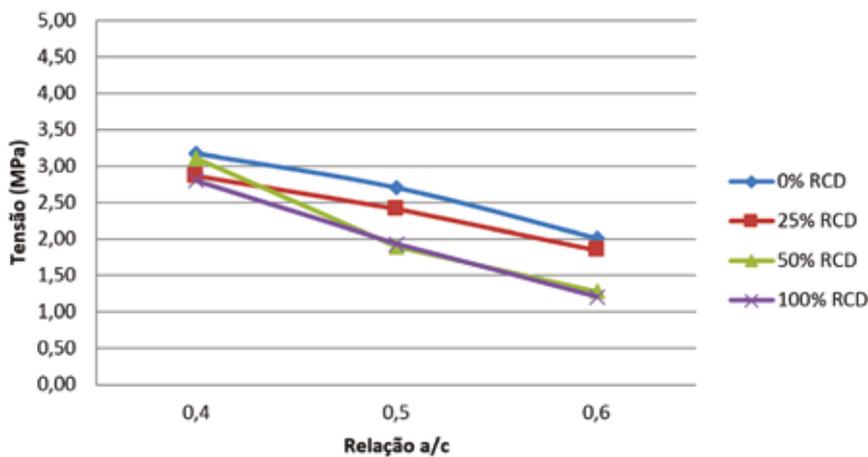
► **Tabela 14 – Tabela ANOVA para a resistência à compressão (f_c)**

Fonte de variação	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Constante	1	36391,07	36391,07	4584,30	0,0000
Teor de RCD	3	182,75	60,92	76,67	0,0000
Idade	1	1727,84	1727,84	2174,78	0,0000
Relação a/c	2	2773,95	1386,98	1745,74	0,0000
Teor de RCD*idade	3	10,25	3,42	4,30	0,0091
Teor de RCD*Relação a/c	6	65,17	10,86	13,67	0,0000
Idade*Relação a/c	2	79,56	39,78	50,07	0,0000
Teor de RCD*idade*Relação a/c	6	6,35	1,06	1,33	0,2613
Erro	48	38,14	0,79	–	–

Onde: GDL = graus de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

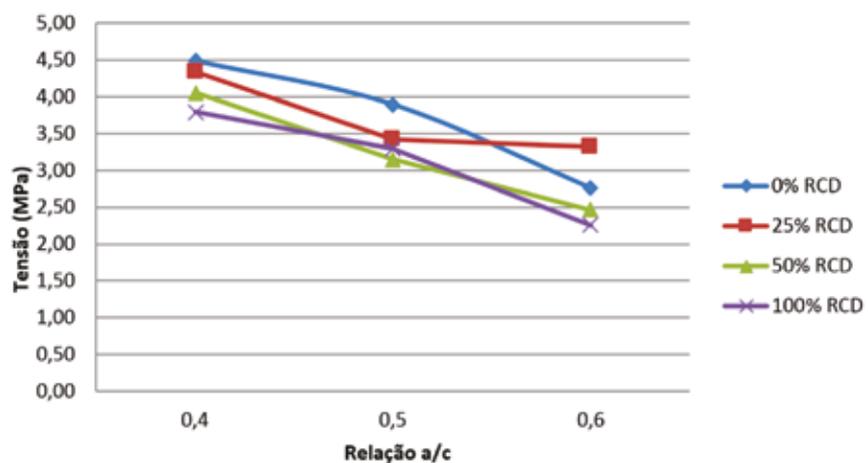
são, cujos resultados da análise estão apresentados na Tabela 15.

Neste caso, tem-se que tanto as variáveis quanto as suas interações exer-



► **Figura 7**

Curva de Abrams – resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias



► **Figura 8**

Figura 8 – Curva de Abrams – resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias

► **Tabela 15 – Tabela ANOVA para a resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$)**

Fonte de variação	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Constante	1	602,74	602,74	14509,27	0,0000
Teor de RCD	3	5,809	1,94	46,61	0,0000
Idade	1	24,105	24,10	580,26	0,0000
Relação a/c	2	23,914	11,96	287,83	0,0000
Teor de RCD*idade	3	0,2496	0,083	2,00	0,1261
Teor de RCD*Relação a/c	6	1,3767	0,229	5,52	0,0002
Idade*Relação a/c	2	0,0474	0,024	0,57	0,5688
Teor de RCD*idade*Relação a/c	6	1,0021	0,167	4,02	0,0024
Erro	48	1,994	0,042	–	–

Onde: GDL = graus de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

com influência na resistência à compressão do concreto, excetuando-se duas interações, as variáveis isoladas exercem influência significativa na resistência dos concretos com RCD.

Um modelo matemático que representa o comportamento dos concretos com RCD para a $f_{ct,sp}$ foi obtido após vários ajustes, cujo coeficiente de determinação (r^2) foi igual a 0,854. O modelo resultante é representado pela Equação 3.

$$f_{ct,sp} = e^{(5,60 - 0,036 \cdot RCD - 2,34 \cdot Relação\ a/c + 0,0018 \cdot Idade)} \quad [3]$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

RCD = teor de pó de RCD no concreto;

Relação a/c = relação a/c no concreto;

Idade = idade do concreto (dias).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados obtidos, observa-se que a utilização de material reciclado de construção e demolição como agregado é possível e viável. Com o aumento da quantidade de agregado reciclado, há uma redução de resistência e um aumento de po-



► **Figura 9**

Corpo de prova rompido sob a ação de tração por compressão diametral (50% RCD)



rosidade, conforme já observado em outros trabalhos similares.

Verificou-se também que a relação a/c, o teor de substituição e a idade mostraram-se como fatores significativos nas resistências à compressão e à tração por compressão diametral dos concretos produzidos. Além disso, as Equações 2 e 3 modelam satisfatoriamente o comportamento dos concretos produzidos com as espe-

cificidades do programa experimental deste trabalho. Sendo assim, tem-se que a ANOVA é uma poderosa ferramenta que serve para avaliar a efetiva influência dos fatores na resposta de um experimento.

A fim de garantir que o RCD possa ser empregado no concreto em larga escala, outras investigações se fazem necessárias. Por exemplo, é importante que sejam realizados ensaios visando

otimizar a curva granulométrica dos agregados, em função da variabilidade associada com a própria matéria-prima (RCD). Além disso, a fim de validar completamente o uso do material em concretos estruturais, maiores estudos devem ser realizados considerando aspectos de durabilidade e de deformações ao longo do tempo, entre outros aspectos, dos concretos fabricados com RCD. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ÂNGULO, S. C. Produções de concretos com agregados reciclados. Londrina, 1998. 86p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina.
- [02] BARRETO, I. M. C. B N. Gestão de resíduos na construção civil. Aracaju: SENAI/SE; SENAI/DN; COMPETIR; SEBRAE/SE; SINDUSCON/SE, 2005.
- [03] CARRIJO, P. M. Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto. 2005. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, USP, São Paulo.
- [04] LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. Cement and Concrete Research, v.34, p.1975-80.
- [05] HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI, 1992. 349p.
- [06] LEITE, M.B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.



**Contribuímos com
soluções sustentáveis
e duradouras.**

A Penetron Brasil oferece soluções diferenciadas para proteção e impermeabilização de estruturas de concreto.

(12) 3159-0090
penetron.com.br
info@penetron.com.br

**PENETRON**
SOLUÇÕES PARA PROTEÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO

Concreto de alta resistência com agregados miúdos de escória de ferro-níquel

CLAUDENY SIMONE ALVES SANTANA – MESTRANDA

GRAZIELLA PEREIRA PIRES DOS SANTOS – MESTRANDA

RAMON CARVALHO GONDIM – GRADUANDO

ANTONIO CARLOS RODRIGUES GUIMARÃES – PROFESSOR

LUIZ ANTONIO VIEIRA CARNEIRO – PROFESSOR

SEÇÃO DE ENGENHARIA DE FORTIFICAÇÃO E CONSTRUÇÃO,
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

I. INTRODUÇÃO

A escória de ferro-níquel, na forma de agregado miúdo, tem sido objeto de pesquisa em trabalhos sobre pavimentação de estradas (SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS 2013) e construção em concreto (FRANCKLIN JUNIOR e DE ALMEIDA, 2010) e (SANTOS *et al.*, 2013). Esses trabalhos visaram a verificar a viabilidade do aproveitamento dessa escória em obras de construção, contribuindo para uma destinação sustentável e proteção do meio ambiente.

Nos últimos anos, a atividade de recuperação de subprodutos tornou-se indispensável em face da necessidade da proteção ambiental. As indústrias siderúrgicas e metalúrgicas produzem grande quantidade de resíduos, em função dos processos de produção do ferro, aço e outras ligas. Estabelecer alternativas para o aproveitamento desses resíduos é um dos grandes desafios da sociedade moderna. A aproximação entre a universidade e a indústria adquire importância fundamental para a viabilização de inovações tecnológicas.

Dando continuidade ao trabalho de SANTOS *et al.* (2013), que estudou as propriedades de concretos de resistência convencional com diferentes proporções em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia, este trabalho trata de um estudo para a avaliação das propriedades de concretos de cimento Portland de alta resistência com agregados miúdos de escória de ferro-níquel.

Executaram-se quatro composições de concreto de alta resistência, tendo sido variada em cada composição do concreto a quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia (0%, 40%, 60% e 100%).

Realizaram-se ensaios para a determinação da resistência à compressão e da resistência à tração por compressão diametral. Além disso, foram executados ensaios não destrutivos para avaliar o índice esclerométrico e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Os resultados obtidos dos ensaios

realizados são apresentados a seguir, juntamente com a análise destes.

2. A ESCÓRIA DE FERRO-NÍQUEL

A escória de ferro-níquel deste estudo (Figura 1) foi proveniente de uma empresa mineradora, localizada em Barro Alto, no Estado de Goiás (SANTOS, 2013).

Trata-se de um agregado composto de diversos elementos químicos, constituindo-se em um resíduo comum no segmento de fabricação do ferro.

Uma quantidade considerável de minério de ferro é empregada anualmente no processo piro-metalúrgico, que compreende as etapas de preparação do minério (britagem, homogeneização e secagem), calcinação, redução e refino. Na redução, obtém-se o ferro-níquel que, posteriormente, é enviado ao refino, onde é adicionado oxigênio e cal para eliminar impurezas, como o enxofre e o fósforo.

O ferro-níquel é utilizado, principalmente, na indústria de aço-inox. Tanto na redução quanto no refino são geradas escórias no processo de produção do ferro-níquel.



► **Figura 1**
Depósito da escória de ferro-níquel na Planta de Barro Alto/GO (SANTOS, 2013)

A escória da redução possui altos teores de sílica (51% de SiO_2) e magnésio (28% de MgO), que formam minerais do grupo das olivinas, compostas por silicatos de magnésio e ferro. A olivina geralmente se apresenta com cor verde oliva, daí o seu nome. A Figura 2 ilustra a amostra de escória ferro-níquel da planta da mineradora, com sua tonalidade verde caracterizada pela sua composição química.

A caracterização física, química e mecânica de um agregado é essencial principalmente quando se trata de um material alternativo. Sua composição química vai determinar o comportamento e reação deste material em contato com outro agregado e com agentes agressivos externos presentes no meio ambiente. Em alguns casos, ocor-



► **Figura 2**
Aspecto da escória de ferro-níquel (SANTOS *et al.*, 2013)

rem reações químicas que provocam a degradação mais rápida do concreto.

A Tabela 1 apresenta os valores da caracterização química da amostra bruta, com os respectivos teores encontrados, ensaios de lixiviação e solubilização, fornecidos pela empresa mineradora.

A Tabela 2 apresenta os valores de caracterização qualitativa da massa bruta de escória de ferro-níquel de redução, onde indica a maior e menor concentração dos constituintes químicos presentes na amostra analisada e alguns traços da composição química mínima encontrada.

Segundo a norma da ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos podem ser classificados em três classes: classe I (perigosos), classe II (não inertes), e classe III (inertes).

Neste contexto, as análises da escória de ferro-níquel de redução apresentam em sua composição teores relevantes de metais tóxico-perigosos, como o níquel, cromo, cobre e vanádio, o que levou à classificação tipo classe III – inertes, pois nenhum dos constituintes apresenta concentração acima

► **Tabela 1 – Caracterização da escória bruta de ferro-níquel de redução: solubilização e lixiviação**

Amostra bruta		Lixiviação		Solubilização	
Parâmetros	Teores (% e ppm)	Parâmetros	Teores (mg/l)	Parâmetros	Teores (mg/l)
Silício	43,66 %	Silício	2,80	Silício	8,10
Magnésio	0,36 %	Magnésio	4,6	Magnésio	4,58
Alumínio	3,90 %	Alumínio	<0,05	Alumínio	<0,05
Ferro	14,90 %	Ferro	0,95	Ferro	0,19
Dureza total CaCO_3	1,49 %	Dureza total CaCO_3	26,41	Dureza total CaCO_3	26,41
Dureza de magnésio	1,49 %	Dureza de magnésio	18,92	Dureza de magnésio	18,86
Cromo	1,30	Cromo	< 0,05	Cromo	< 0,05
Níquel	0,14 %	Níquel	< 0,02	Níquel	< 0,02
Titânio	0,15 %	Titânio	< 0,01	Titânio	< 0,01
Manganês	0,34 %	Manganês	< 0,11	Manganês	< 0,05
Nióbio	<5,00 ppm	Nióbio	< 0,10	Nióbio	< 0,10
Cobre	106,00 ppm	Cobre	< 0,02	Cobre	< 0,02
Vanádio	184,00 ppm	Vanádio	< 0,01	Vanádio	< 0,01
Zircônio	27,00 ppm	Zircônio	< 0,01	Zircônio	< 0,01
Cobalto	66,00 ppm	Cobalto	< 0,10	Cobalto	< 0,10

► Tabela 2 – Análise de espectrograma para a escória de ferro-níquel de redução

Escória de FeNi de redução	Maiores constituintes concentração: > 5%	Silício, magnésio, alumínio
	Menores constituintes concentração: < 5% e > 0,1%	Ferro, cromo, cálcio
	Traços: concentração: < 0,1%	Níquel, titânio, manganês, nióbio, cobre, vanádio, zircônio, cobalto

dos valores estabelecidos na ABNT NBR 10004 (2004).

Pode-se considerar que os metais encontram-se na forma não passível de lixiviação e solubilização, não trazendo, assim, risco algum relativo à contaminação ao ambiente que irá compor.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram confeccionados, no Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do Instituto Militar de Engenharia, quatro grupos de concreto, perfazendo um total de 24 corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm de dimensões. Cada grupo apresentou um valor para a quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia (0%, 40%, 60% e 100%).

Executou-se uma betonada para cada grupo a fim de se obter um concreto o mais homogêneo entre corpos de prova.

O adensamento do concreto foi ma-

nual, onde foram feitas 2 camadas com 12 golpes cada. Os moldes de aço dos corpos de prova cilíndricos foram cobertos com placa de vidro para evitar a perda de água.

A desforma dos corpos de prova ocorreu após 24 horas de cada betonada e os mesmos foram colocados em câmara úmida até a data de ensaio.

Após a cura do concreto, foram realizados ensaios de compressão uniaxial e de compressão diametral para a determinação de sua resistência à compressão e à tração indireta por compressão diametral, conforme as normas ABNT NBR 5739 (2007) e ABNT NBR 7222 (2011), por meio do uso de prensa universal servo-hidráulica, com capacidade de 1000 kN, como mostra a Figura 3.

3.1 MATERIAIS

O cimento Portland utilizado em to-



► Figura 3
Prensa universal servo-hidráulica utilizada nos ensaios de compressão

dos os grupos de concreto foi o do tipo CP V-ARI.

Os agregados miúdos empregados na elaboração dos concretos foram a areia de rio lavada e a escória de ferro-níquel de redução (Figuras 4a e 4b), descrita no item 2 deste trabalho.

O agregado graúdo utilizado foi brita do tipo gnaisse com dimensão máxima característica de 9,5 mm (Figura 4c).

3.2 CONCRETOS

Foram confeccionados quatro tipos de concretos, com resistência à



a Areia lavada de rio



b Escória de FeNi



c Brita do tipo gnaisse

► Figura 4
Agregados utilizados neste trabalho

► Tabela 3 – Quantidade de material empregado por volume de concreto

Material	Quantidade em kg/m ³			
	C-0 FeNi	C-40 FeNi	C-60 FeNi	C-100 FeNi
Cimento	457	457	457	457
Microsilica	46	46	46	46
Areia	726	436	290	–
Escória de FeNi	–	290	436	726
Brita (9,5mm)	1039	1039	1039	1039
Água	160	160	160	160
Superplastificante	9	9	9	9

compressão característica de 70 MPa.

A Tabela 3 mostra a quantidade de material empregado por volume de concreto para cada grupo. Estes concretos apresentaram valores de abatimento de tronco de cone de cerca de 200 mm. Para aqueles que tiveram maior teor de escória de ferro-níquel, os valores de abatimento de tronco de cone foram ligeiramente maiores.

3.3 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Para a determinação dos valores médios de índices esclerométricos, o esclerômetro foi aplicado ortogonalmente à superfície lisa e seca do espécime cilíndrico 100 mm x 200 mm, em 9 pontos afastados de 30 mm entre si, formando uma malha quadrada 90 mm x 90 mm, conforme prescreve a ABNT NBR 7584 (2012).

Cada espécime cilíndrico ensaiado foi preso entre os pratos de compressão da prensa, para que não viesse a ocorrer deslocamento algum.

Na Figura 5, pode ser visto o esclerômetro digital modelo W-D-500, da marca James NDT Instruments, utilizado no programa experimental deste trabalho. Sua energia de percussão é capaz de avaliar concretos de resistência à compressão varian-

do de 10,8 MPa a 58,8 MPa (I.E. de 22 a 55), quando aplicado com ângulo de impacto nulo, isto é, paralelamente à direção normal da superfície do concreto.

Algumas das etapas do ensaio de esclerometria realizado neste trabalho podem ser vistas na Figura 5.

Os valores médios de velocidade das ondas ultrassônicas foram obtidos aplicando-se o método direto, segundo a ABNT NBR 8802 (2013), pois a energia máxima do pulso na transmissão direta é totalmente transmitida e recebida pelos transdutores. Os transdutores do aparelho ultrassônico foram posicionados sobre a superfície limpa e lisa dos topos inferior e superior do espécime cilíndrico, que foi deitado em uma superfície horizontal. Uma fina camada de acoplante (vaselina) foi aplicada nas faces dos transdutores e nas superfícies de concreto.

A Figura 6 mostra o aparelho ultrassônico utilizado nos ensaios, com dois transdutores de 54 kHz e as etapas de ensaio de ultrassom realizado neste trabalho. O aparelho ultrassônico possui frequência de propagação da onda



► Figura 5

Algumas das etapas do ensaio de esclerometria realizado neste trabalho

► Tabela 4 – Resultados médios do ensaios executados

Concreto	f_{cm} (MPa)	$f_{cm,spm}$ (MPa)	I.E.	v (km/s)
C – 0 FeNi	82,4	8,69	40	4,51
C – 40 FeNi	80,1	7,28	39	4,49
C – 60 FeNi	70,0	5,69	36	4,47
C – 100 FeNi	40,2	4,62	30	4,12



a Aplicação de vaselina no concreto



b Aplicação de vaselina no transdutor



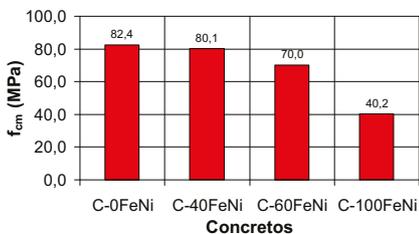
c Leitura do comprimento do espécime



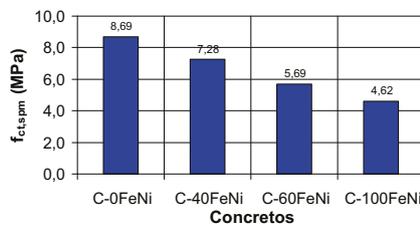
d Leitura da velocidade v no concreto

► **Figura 6**

Etapas do ensaio de ultrassom realizado neste trabalho



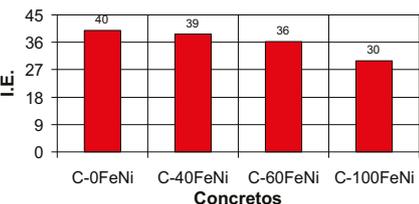
a Resistência à compressão



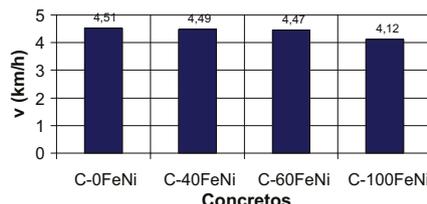
b Resistência à tração indireta por compressão diametral

► **Figura 7**

Valores médios de resistência para cada grupo de concreto



a Índice esclerométrico



b Velocidade de propagação das ondas ultrassônicas

► **Figura 8**

Valores médios dos ensaios não destrutivos para cada grupo de concreto

entre 24 kHz e 500 kHz e é dotado de circuito gerador-receptor, transdutor-emissor e transdutor-receptor, circuito medidor de tempo, cabos coaxiais e barra de referência para aferição do equipamento.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados médios de resistências à compressão f_{cm} e à tração indireta por compressão diametral $f_{ct,spm}$, de índices esclerométricos I.E., e de velocidade das ondas ultrassônicas v dos concretos, que foram obtidos fazendo a média de 3 espécimes, estão reunidos na Tabela 4.

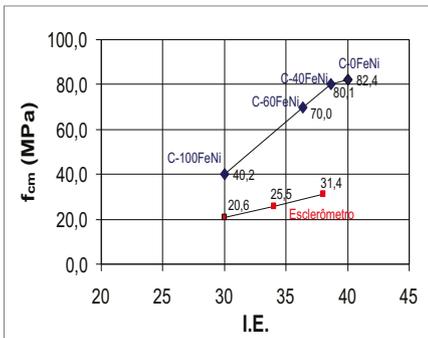
Na Figura 7, estão reunidos os valores médios de f_{cm} e de $f_{ct,spm}$ para cada grupo de concreto ensaiado. Os valores médios em MPa de f_{cm} situaram-se entre 40,2 e 82,4, enquanto os de $f_{ct,spm}$ variaram de 4,62 a 8,69.

Verifica-se que os valores de f_{cm} e de $f_{ct,spm}$ tenderam a diminuir com o aumento da quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel (FeNi) em substituição à quantidade em peso de areia. Para os concretos C-40FeNi, C-60FeNi e C-100FeNi, a diminuição de f_{cm} com relação ao valor de f_{cm} para o concreto C-0FeNi foi cerca de 3%, 15% e 51%. Para o caso de $f_{ct,spm}$, estes valores passaram para 16%, 35% e 47%.

Quanto maior a quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia, maior a queda de f_{cm} e de $f_{ct,spm}$.

A Figura 8 apresenta os valores médios de I.E. e de v para cada grupo de concreto ensaiado. Os valores médios de I.E. ficaram entre 30 e 40, enquanto os de v estiveram dentro do intervalo de 4,12 km/s a 4,51 km/s.

Constata-se que, em geral, os valores médios de I.E. e de v também ten-



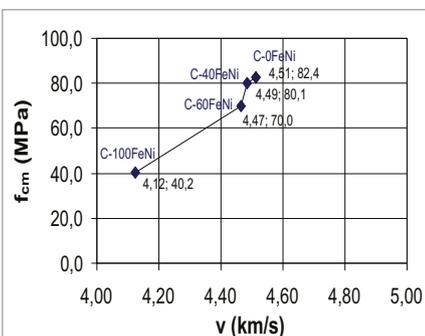
► **Figura 9**

Curvas I.E. x f_{cm} dos concretos ensaiados e segundo esclerômetro utilizado

deram a decrescer com o incremento da quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia, mas a queda máxima (25% e 9%) foi menor que a observada para os valores de f_{cm} (51%) e de $f_{ct,spm}$ (47%).

As curvas f_{cm} em função do I.E. dos concretos ensaiados e obtida do esclerômetro digital utilizado neste trabalho são mostradas na Figura 9.

Nota-se que os valores de I.E. tenderam a aumentar com o incremento de f_{cm} e que a curva I.E. x f_{cm} segundo o esclerômetro digital utilizado neste trabalho conduziu a valores de f_{cm} destacadamente inferiores aos valores de f_{cm} encontrados experimentalmente, em média cerca de 45%.



► **Figura 10**

Curva v x f_{cm} dos concretos ensaiados

A Figura 10 apresenta a curva f_{cm} em função de v dos concretos ensaiados. Pode-se perceber que os valores de v propenderam a crescer com o aumento de f_{cm} .

O grupo de concreto que não continha agregados miúdos de escória de ferro-níquel apresentou o maior valor de v entre os demais grupos. Em contrapartida, aquele que somente continha agregados miúdos de escória de ferro-

-níquel teve o menor valor de v entre os demais grupos.

Segundo WHITEHURST(1966) apud PRADO (2006), que apresentou uma classificação de qualidade do concreto em função da v encontrada na literatura, a qualidade dos concretos ensaiados neste trabalho é ótima, pois v situa-se entre 3,5 km/s e 4,5 km/s, conforme mostra a Tabela 4.



a Concreto C-40 FeNi antes do ensaio



b Concreto C-40 FeNi após o ensaio



c Concreto C-60 FeNi antes do ensaio



d Concreto C-60 FeNi após o ensaio

► **Figura 11**

Aspectos do espécime de concreto sob compressão simples

As Figuras 11 e 12 ilustram os aspectos pós-ruptura dos ensaios destrutivos realizados neste trabalho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tratou de um estudo para verificar a viabilidade do emprego de agregados miúdos de escória de ferro-níquel em um concreto de alta resistência e avaliar sua resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, índice esclerométrico e velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

Executaram-se quatro composições de concreto de resistência elevada, tendo sido variada em cada composição do concreto a quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia (0%, 40%, 60% e 100%).

De posse dos resultados de ensaios de compressão uniaxial, de compressão diametral, de esclerometria e de ultrassom, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

▶ os valores médios de f_{cm} , $f_{ct,spm}$, I.E. e v para cada grupo de concreto ensaiado diminuíram com o aumento da quantidade em peso de agrega-



a Antes do ensaio



b Após o ensaio

▶ **Figura 12**
Aspectos do espécime de concreto sob compressão diametral

do miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso de areia, cujas quedas máximas foram 51%, 47%, 25% e 9%, respectivamente;

- ▶ os valores médios de I.E. e de v aumentaram com o incremento de f_{cm} ;
- ▶ para um determinado valor de I.E., o esclerômetro digital utilizado neste trabalho subestimou os valores de f_{cm} em relação aos experimentais em torno dos 45%;
- ▶ a quantidade em peso de agregado miúdo de escória de ferro-níquel em substituição à quantidade em peso

de areia igual a 40% foi uma quantidade ótima para execução de concretos com escória de ferro-níquel, pois seus valores médios de f_{cm} , $f_{ct,spm}$, I.E. e v ficaram bem próximos dos do concreto sem escória (97%, 84%, 98% e 99%, nesta ordem);

- ▶ o agregado miúdo de escória de ferro-níquel em combinação com o agregado miúdo de areia de rio lavada pode ser uma boa alternativa para aproveitamento em obras de construção em concreto, contribuindo para uma destinação sustentável e proteção do meio ambiente. 🏗️

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 5739. Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de Prova Cilíndricos de Concreto, 2007.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 7222. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, 2011.
- [03] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 7584. Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, 2012.
- [04] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 8802. Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica: método de ensaio, 2013.
- [05] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação, 2004.
- [06] FRANCKLIN JUNIOR, I.; DE ALMEIDA, F. A. S. Verificação das Propriedade de Concretos Produzidos com Agregados de Escória de Níquel Provenientes de Mineração do Município de Pratápolis-MG, In: Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto, 52CBC, 2010.
- [07] PRADO, L. A. Módulo de deformação estático do concreto de baixa e alta relação a/c pelo método ultrassônico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.
- [08] SANTOS, G. P. P.; GUIMARÃES, A. C. R.; CARNEIRO, L. A. V.; OLIVEIRA, J. C. S. Resultados Preliminares: Uso da Escória Ferro Níquel em Concreto Asfáltico para Pavimentação, In: Anais da 41ª Reunião Anual de Pavimentação, 41RAPv, 2012.
- [09] SANTOS, G. P. P. Um Estudo sobre a Utilização da Escória de Ferro-níquel em Pavimento Rodoviário. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 124 pp., 2013.
- [10] SANTOS, G. P. P.; SANTANA, C. S. A.; GONDIM, R. C.; GUIMARÃES, A. C. R.; CARNEIRO, L. A. V. Avaliação das Propriedades de Concretos com Agregados Miúdos de Escória de Ferro-Níquel, In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 55CBC, 2013.
- [11] WHITEHURST, E. A. Evaluation of concrete properties from sonic tests. ACI Monogr. N. 2, American Concrete Institute, Iowa State University Press, Detroit, 1966.



Influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço de cana de açúcar residual nas propriedades mecânicas do concreto

DANIEL ANTÔNIO SILVEIRA – MESTRE EM ENGENHARIA

ENIO PAZINI FIGUEIREDO – PROFESSOR TITULAR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)

JOÃO HENRIQUE DA SILVA RÊGO – PROFESSOR ADJUNTO

UNIVERSIDADE DE BRÁSILIA (UNB)

I. INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira, nos últimos quatro anos, tem ocupado a segunda posição entre as fontes energéticas brasileiras, atrás apenas do petróleo. Esta indústria produz anualmente milhões de toneladas de Cinza do Bagaço de Cana de açúcar (CBC) residual, a partir da queima do bagaço da cana no processo de cogeração de energia. Na matriz energética brasileira, os produtos derivados da cana de açúcar, tal como o álcool etílico e o bagaço da cana de açúcar, representaram, no ano de 2009, os insumos para a produção de 17,5% de toda energia produzida, superior aos 13,9% da energia hidráulica e elétrica produzida no mesmo período (BRASIL, 2013).

O Brasil como um país emergente conta com uma demanda crescen-

te de energia e com a tendência de expandir ainda mais a produção de energias renováveis, dentre as quais a proveniente da queima do bagaço e do álcool etílico (etanol) como combustível. Com isso, há uma preocupação com as destinações dos resíduos gerados por esta indústria. Dentre esses resíduos, temos a CBC, que atualmente não conta com uma destinação adequada. Com o crescimento da indústria da cana de açúcar há uma intensificação dos problemas de disposição dos resíduos produzidos por ela. Porém, grande parte desses resíduos poderia ser destinada à produção de materiais de construção por meio do desenvolvimento de tecnologias alternativas, eficientes e sustentáveis.

A indústria da construção civil apresenta grande potencial de aproveitamento de subprodutos de outras

indústrias, que podem conter substâncias tóxicas e metais pesados. A escória granulada de alto forno, a sílica ativa, a Cinza da Casca de Arroz (CCA) são exemplos de adições ao concreto que são usadas também como substituição de parte do cimento Portland. Com o crescimento do mercado sucroalcooleiro e também da geração da CBC residual, as pesquisas na área têm crescido. A viabilidade dessas adições tem sido pesquisada por diversos grupos, tais como os liderados por Mehta, Malhotra, Isaia, Silveira, Toledo, Figueiredo, Rêgo, Prudêncio, Cordeiro e Dal Molin. A substituição de parte do cimento no concreto por CBC contribui de forma significativa com a redução do dióxido de carbono (CO₂) liberado no processo produtivo do cimento Portland. Estima-se que, para cada tonelada de clínquer produzido,

► Tabela 1 – Resumo do programa experimental, após a caracterização dos materiais

Objetivo	Propriedades analisadas	Idade dos CPs (dias)	Quantidade de CPs
Resistência mecânica	Resistência à compressão axial	7, 28 e 91	72
	Resistência à tração por compressão diametral	28	24
	Módulo de elasticidade	28	24
	TOTAL		120

uma tonelada de CO₂ seja liberada para a atmosfera.

Alguns resultados dessas pesquisas mostraram uma melhoria na trabalhabilidade do concreto e das argamassas, sem redução significativa das resistências mecânicas desses materiais, indicando a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento Portland pela cinza residual do bagaço da cana de açúcar (CBC). A CBC residual produzida na cogeração de energia elétrica tem, em sua composição química, a sílica como material predominante. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da substituição parcial do cimento Portland Tipo V, de alta resistência inicial (CPV-ARI), pela CBC residual, produzida na cogeração de energia elétrica, nas propriedades mecânicas do concreto convencional e de alta resistência.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

A CBC residual utilizada nesta pesquisa foi obtida em uma indústria sucroalcooleira do município de Goianésia, Goiás, Brasil. Com o objetivo de se retirar partes não queimadas de bagaço de cana de açúcar ainda presentes na CBC residual, optou-se por

um peneiramento simples com malha de abertura de 1,19 mm. Em seguida, a CBC foi submetida à secagem por 24h em estufa à temperatura de 120°C ±5 °C.

Procedeu-se a moagem da CBC em moinho de bolas (marca Marconi, modelo MA -701/21), com formato cilíndrico e volume interno de 21,2 l. No interior do moinho, foram utilizadas 44 esferas, com quatro diâmetros distintos (24 mm, 34 mm, 38 mm e 45 mm), totalizando uma massa de 9,1 kg de esferas de aço, juntamente com 2 kg de CBC residual, por quatro horas, a uma frequência de 4100 rotações por hora, ou 68,33 rpm.

Os ensaios das propriedades físicas e químicas da adição mineral utilizada neste trabalho foram realizados no Laboratório Furnas Centrais Elétricas S/A. O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CPV-ARI da marca Tocantins, doado pela Votorantim Cimentos, localizada em Aparecida de Goiânia. As caracterizações do cimento também foi realizado em Furnas, conforme preconizado pelas normas NBR NM 23 (2001) e NBR 5733 (1991). O aditivo superplastificante, da marca SikaViscocrete 3535, foi caracterizado quanto à densidade, resíduo sólido, cor e pH.

A areia média obtida em Professor Jamil, Goiás, e a brita de uma Pedrei-

ra em Caturai, Goiás, foram caracterizadas conforme as normas da ABNT no que diz respeito à granulometria, massa específica e absorção de água para condição Saturada Superfície Seca (SSS), bem como no teor de umidade antes da concretagem.

2.2 Métodos

Os concretos foram produzidos utilizando-se duas relações água/aglomerante (a/agl), 0,37 e 0,60, quatro teores de substituição do cimento CPV-ARI por CBC residual: 0% (como referência), 5%, 10% e 20%. O concreto com relação a/agl de 0,60 foi moldado com o traço de 1:1,61:3,13:0,60 (aglomerante:areia:brita:água), sendo que a parcela do aglomerante corresponde a soma das massas de CPV-ARI e CBC residual. No concreto com relação a/agl de 0,37, com traço de 1:0,85:2,03:0,37, utilizou-se um aditivo superplastificante com um consumo de 0,8% em relação a massa de aglomerante.

Foram moldados 15 corpos de prova (CPs) cilíndricos de 15x30cm para cada tipo de concreto estudado, totalizando-se 120 amostras. Os ensaios realizados estão listados na Tabela 1 e tiveram como objetivo



► Figura 1
Capeamento do concreto para ensaio de compressão axial





► **Figura 2**
Amostras após ensaio de compressão axial

determinar as propriedades mecânicas dos concretos descritos anteriormente.

As amostras foram capeadas com massa de enxofre, conforme ilustrado na Figura 1, para determinação da resistência à compressão axial, de acordo com a NBR 5739 (2007). Na Figura 2, são mostradas as 2 amostras que foram ensaiadas por compressão axial. A resistência à tração por compressão diametral teve como diretriz a NBR 7222 (2011). O ensaio e a amostra rompida são apresentados nas Figuras 3 e 4.

O comportamento tensão versus deformação foi obtido com emprego de transdutores elétricos para medição dos deslocamentos longitudinais. O cálculo do módulo de elasticidade secante foi determinado conforme NBR 8522 (2008).



► **Figura 3**
Ensaio de tração por compressão diametral

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Caracterização e análise dos materiais utilizados

As propriedades físicas do cimento CP-V ARI utilizado na presente pesquisa estão descritas na Tabela 2. Na Tabela 3, apresentam-se as propriedades químicas e físicas da CBC residual, bem como do cimento CP-V ARI. Na Tabela 3, também são apresentados os resultados das caracterizações de duas Cinzas da Casca de Arroz (CCA) residuais, extraídos de outras pesquisas (Cordeiro (2006); Rêgo *et al.* (2002)), para fins de comparação, em função da dificuldade de se encontrar outros trabalhos com a CBC residual de indústrias sucroalcooleiras nacionais. Os ensaios de Índice de Atividade Pozolânica (IAP) com a cal e com o cimento apresentaram resultados maiores do que os valores exigidos pela NBR12653 (2012), o que qualifica a CBC como material pozolânico. O ensaio de determinação de atividade química por meio do método de Chapelle modificado oferece um parâmetro para avaliar o consumo de Ca(OH)_2 do material, que deve



► **Figura 4**
Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral

apresentar consumo mínimo de CaO igual a 330 mg/g de amostra para ser considerado material pozolânico. A CBC residual apresentou um consumo de 198 mg CaO/g. Este valor, abaixo do estipulado pelo ensaio, indica que possivelmente os valores de IAP com o cimento e a cal se devem mais ao efeito “microfiller” do que ao o consumo de Ca(OH)_2 da reação pozolânica.

As principais propriedades químicas foram obtidas por espectroscopia de fluorescência de raios X. Observa-se, ainda, na Tabela 3, uma diferença importante nos resultados de perda ao fogo. No caso da CBC residual, este valor atinge 19,38% da massa desta cinza, fato este justificado pela

► **Tabela 2 – Caracterização física do cimento CP-V ARI**

Propriedades determinadas ensaios físicos	Valores encontrados	Limites
Massa específica (g/cm ³)	3,11	–
Finura	Resíduo na peneira 200 (%)	0,5 <=6,0
	Resíduo na peneira 350 (%)	0,6 –
	Área específica (cm ² /g)	5050 >=3000
Tempo de pega (h:min) mecânica	Início	2:50 >=1:00
	Fim	3:20 <=10:00
Água de consistência – pasta (%)	29,8	–
Expansão em autoclave (%)	0,1	–

elevada velocidade de queima do bagço (processo quase instantâneo) nas usinas sucroalcooleiras. Alguns autores trabalham com a CBC com beneficiamento por meio de incineração. No entanto, nesta pesquisa, optou-se por trabalhar com a CBC de forma residual, por representar um modo de manejo adequado, considerando uma possível utilização industrial, seja por concreteiras ou na composição de um cimento composto. O cimento CPV apresentou teor de SO_3 maior do que o máximo exigido pela norma, o que é justificado pelo alto teor de Sulfato de cálcio do cimen-

to. Este alto teor de sulfato de cálcio pode comprometer a pega e a durabilidade do cimento.

O aditivo superplastificante utilizado nos concretos com relação a/agl 0,37 apresentou densidade de $1,1 \text{ g/cm}^3$, teor de resíduo sólido de 38,83%, cor castanha claro e pH de 4,4. O módulo de finura encontrado para areia média de leito de rio foi de 2,63, a absorção foi de 0,4% e a massa específica de $2,62 \text{ g/cm}^3$ na condição SSS. A brita de origem granítica com dimensão máxima de 19 mm apresentou módulo de finura de 6,91, absorção de 0,6% e massa

específica de $2,74 \text{ g/cm}^3$ na condição SSS.

A areia média obtida em Professor Jamil e a brita da Pedreira de Caturai foram caracterizadas conforme as normas da ABNT no que diz respeito à granulometria, massa específica e absorção de água para a condição Saturada Superfície Seca (SSS), bem como no teor de umidade antes da concretagem.

3.2 Desempenho mecânico do concreto

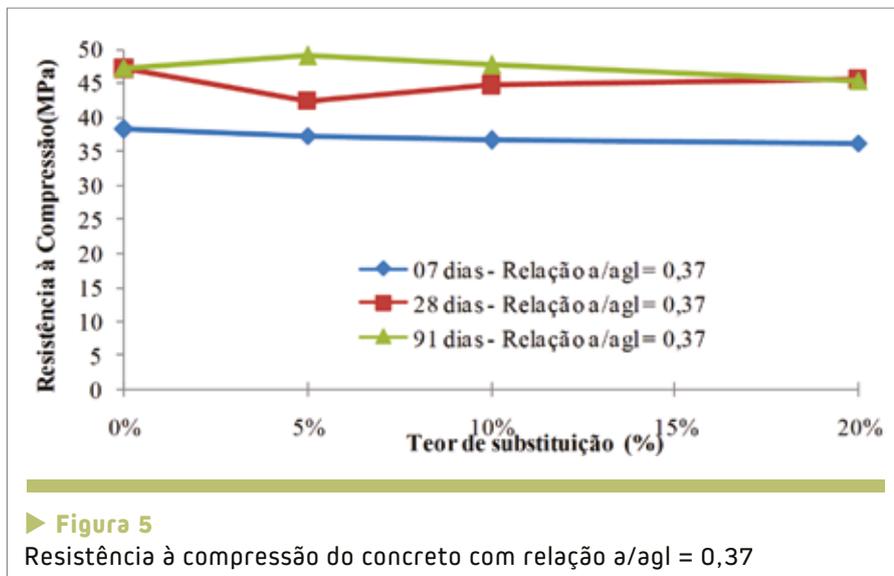
O ensaio de resistência à compressão em concretos com relação

► Tabela 3 – Caracterização química do cimento, da CBC residual e de duas outras cinzas

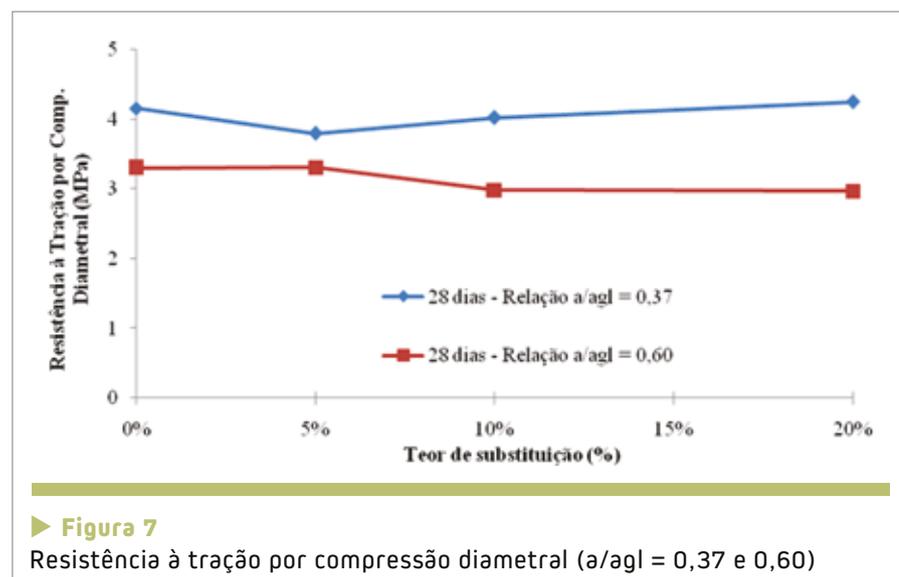
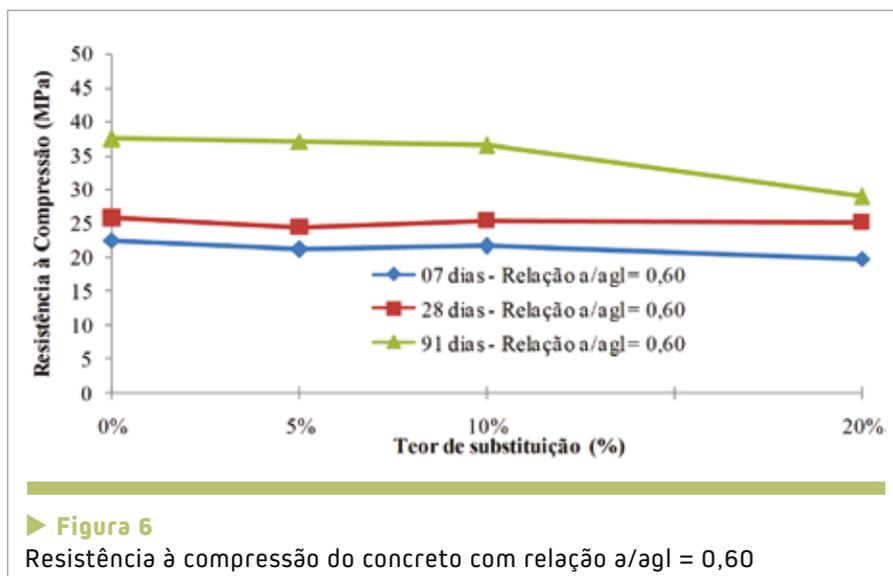
Propriedades determinadas	Cimento CP V ARI	CBC residual moída por 4 horas	CCA residual *	CCA residual moída por 5 horas **	
Massa específica (g/cm^3)	3,11	2,40	2,29	2,21	
Área específica (cm^2/g)	5.050	11.390	336,72	4.960	
Índice de atividade pozolânica com cal (MPa)	–	6,4	–	4,7	
Índice de atividade pozol. com o cimento (%)	–	78,4	109	84,5	
Chapelle modificado / Atividade química	–	198	736	–	
(mgCaO/g amostra)	4,45	19,38	11,88	7,41	
Perda ao fogo (%)	1,26	–	–	–	
Resíduo insolúvel	4,08	–	0,06	–	
Trióxido de enxofre (SO_3) (%)	4,47	1,14	–	1,23	
Óxido de magnésio (MgO) (%)	18,56	62,58	82,62	81,48	
Dióxido de silício (SiO_2) (%)	3,58	5,12	0,49	1,70	
Óxido de ferro (Fe_2O_3) (%)	4,13	6,51	0,38	0	
Óxido de alumínio (Al_2O_3) (%)	58,46	1,13	0,85	1,75	
Óxido de cálcio (CaO) (%)	1,3	–	–	–	
Óxido de cálcio livre (CaO) (%)	Óxido de sódio (Na_2O) (%)	0,32	0,36	0,05	0,08
	Óxido de potássio (K_2O) (%)	1,25	2,26	1,81	4,42
	Equiv. alcalino (%)	1,14	1,85	–	2,99
Álcalis solúveis em água	Óxido de sódio (Na_2O)	0,18	0,01	–	–
	Óxido de potássio (K_2O)	1,11	0,05	–	–
	Equiv. alcalino	0,91	0,04	–	–
Sulfato de cálcio ($CaSO_4$)	6,94	0,00	–	–	

* Cordeiro et al. (2009); ** Rêgo et al. (2002).





a/agl de 0,37, para a idade de 7 dias, apresentou resultados bem próximos para os três teores de substituição em relação ao concreto de referência (0% de substituição de CP V por CBC residual), como pode ser observado na Figura 5. Para as idades de 28 e 91 dias, os valores ficaram próximos e dentro do intervalo de $45,64 \pm 2,02$ MPa, com exceção do teor de 5%, que apresentou um comportamento diferenciado dos demais, apresentando o menor dos valores de resistência aos 28 dias (42,36 MPa).



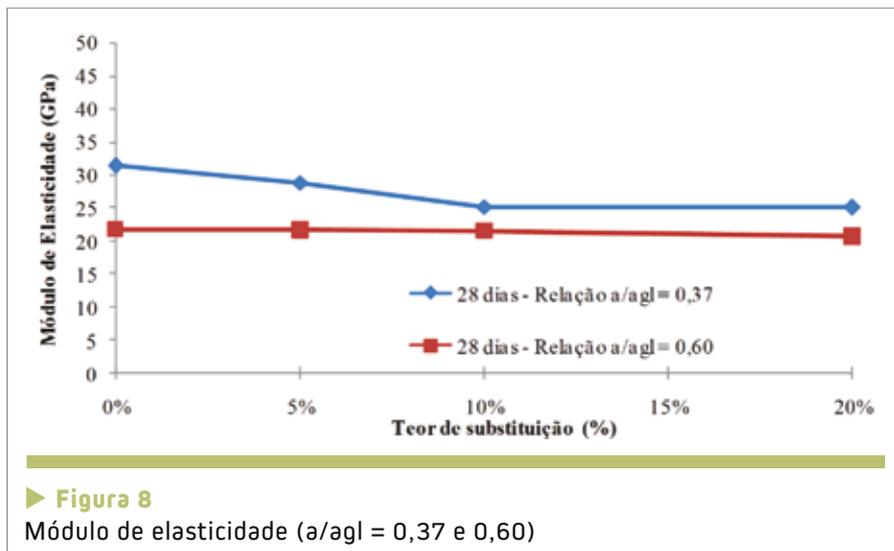
Porém, aos 91 dias, este mesmo teor (5%) apresentou a maior resistência à compressão (49,05 MPa).

Os concretos com relação a/agl de 0,60 apresentaram valores bem próximos de resistência à compressão com até 10% de substituição em relação ao concreto de referência, em cada uma das idades (7, 28 e 91 dias), e um decréscimo significativo na resistência com o teor de 20% para as idades de 91 dias, conforme mostra a Figura 6.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, com a

substituição de 5%, 10% e 20% de cimento pela CBC residual, os valores encontrados estão relativamente próximos ao de referência. Sendo que os valores de resistência à tração para o concreto com relação a/agl de 0,37 ficou próximo a 4 MPa e, para o concreto com relação a/agl de 0,60, os valores apresentaram uma média de 3,14 MPa, de acordo a Figura 7.

O ensaio do módulo de elasticidade está relacionado à estabilidade dimensional das estruturas de concreto. Por isso, julgou-se necessário a rea-



lização deste ensaio, pelo menos, na idade de 28 dias. Os concretos com relação a/agl de 0,60 apresentaram valores bem próximos ao módulo de elasticidade do concreto de referência (média global de 21,44 GPa). Porém, para a relação a/agl de 0,37, os concretos apresentaram reduções no módulo de elasticidade, em função da variação do teor de substituição de CP V por CBC residual, apresentando valores mais baixos para os teores de 10% e 20%, conforme mostra a Figura 8.

4. CONCLUSÕES

A CBC residual utilizada neste

estudo, quando comparada a outros tipos de cinzas residuais, como as CCA's que foram objeto de estudo de Cordeiro (2006) e Rêgo *et al.* (2002), demonstra uma alta taxa relativa à perda ao fogo, decorrente da velocidade de queima do bagaço (processo quase instantâneo) nas usinas sucroalcooleiras. O teor de sílica (SiO_2), inferior na CBC residual, mostra que esta adição tem qualidade inferior em relação às duas CCA's objeto da comparação. Alguns autores trabalham com a CBC com beneficiamento por meio de incineração. No entanto, nesta pesquisa,

optou-se por trabalhar com a CBC de forma residual, por representar um modo de manejo adequado, considerando uma possível utilização industrial, seja por concreteiras ou na composição de um cimento composto.

A utilização da CBC residual em concretos, substituindo parte do cimento Portland empregado em teores de até 10%, possibilita a confecção de concretos com comportamentos mecânicos próximos ao concreto de referência. Em altos teores de substituição, como 20%, há um ligeiro decréscimo das propriedades mecânicas, provavelmente devido ao baixo efeito pozolânico da CBC residual.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo apoio financeiro à pesquisa, por meio da Rede Goiana de Pesquisa em Reciclagem de Resíduos Agroindustriais para a Construção Civil. Agradecemos também a Furnas Centrais Elétricas S/A, pela disponibilidade e auxílio na execução dos ensaios. ➤

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 23 (2001) Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro.
- [02] ABNT. NBR 5733 (1991) Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro.
- [03] ABNT. NBR 7222 (2011) Concreto e argamassa– Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro.
- [04] ABNT. NBR 8522 (2008) Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro.
- [05] ABNT. NBR 5739 (2007) Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.
- [06] ABNT. NBR 12653 (2012) Materiais Pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro.
- [07] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (2013). Balanço energético nacional 2013 resultados preliminares ano base 2012. Rio de Janeiro.
- [08] Cordeiro, G. C. (2006). Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cinza de Cana-de-açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [09] Isaiá, G. C. (1995). Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura. 1995. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [10] Rêgo, J. H. S. and Figueiredo, E. P. and Nepomuceno, A. A. (2002). A utilização da cinza de casca de arroz residual (CCA residual) como adição mineral ao cimento em concreto. In: 44º Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON. Anais. São Paulo.



Estudo da adição de fibras de polipropileno em concreto compactado com rolo

ALESSANDRO FERNANDES DELLA VECCHIA – ENG. CIVIL

MESTRANDO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA - UPF

ADRIANA AUGUSTIN SILVEIRA – PROFESSORA-DOUTORA

FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA – UPF

FRANCISCO DALLA ROSA – PROFESSOR-DOUTOR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL - UPF

I. INTRODUÇÃO

○ concreto compactado com rolo ou CCR é conhecido pela sua consistência nula, o qual é preparado, transportado e aplicado utilizando-se equipamentos típicos para a construção de obras de terraplanagem. Este tipo de concreto tem sido frequentemente utilizado em obras de pavimentação e/ou barragens.

As propriedades do CCR endurecido são similares aos concretos convencionais, contudo, apesar de possuir pouca água na sua mistura, este tipo de concreto também está sujeito a variações volumétricas oriundas da retração. A retração é um dos fatores que frequentemente gera preocupações, pelo fato de ocasionar o surgimento de trincas ou fissuras após a cura do concreto. Este aspecto torna-se mais evidente quando estes concretos são misturados com elevadas quantidades de cimento e motivado pela baixa umidade relativa, temperatura e intensidade do vento. O CCR apresenta menor risco de retração,

visando principalmente reduzir os efeitos provocados pela retração e observando concomitantemente qual a influência da adição desses elementos na sua resistência mecânica.

o qual é preparado, transportado e aplicado utilizando-se equipamentos típicos para a construção de obras de terraplanagem. Este tipo de concreto tem sido frequentemente utilizado em obras de pavimentação e/ou barragens.

O uso de elementos fibrosos tem sido uma alternativa para a redução dos efeitos da retração presentes no concreto. O elemento fibroso neste caso pode contribuir na distribuição das tensões geradas pela retração, de maneira a reduzir os impactos da mesma sobre a qualidade final da camada de CCR. Rodrigues e Montardo (2001) afirmam que os concretos que utilizam fibras de polipropileno tem uma redução satisfatória no número de fissuras, decorrente da alta capacidade de deformação que estas fibras possuem (cerca de 80% até a ruptura). Outros estudos também mostraram que a adição de fibras em materiais cimentícios tem proporcionado um aumento do desempenho desses materiais compósitos, melhorando principalmente as características do comportamento mecânico (CONSOLI et al 2004).

Dessa forma, o presente estudo propõe a investigação do uso de fibras de polipropileno adicionadas ao CCR,

visando principalmente reduzir os efeitos provocados pela retração e observando concomitantemente qual a influência da adição desses elementos na sua resistência mecânica.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste artigo serão apresentados resultados parciais de um programa de pesquisa que investiga a utilização de fibras de polipropileno em CCR. Para tanto, foi utilizado um programa experimental correspondente 24, ou seja, 2 níveis de estudo e 4 fatores para cada nível, totalizando 256 corpos de prova. Para avaliar o efeito da incorporação de fibras de polipropileno na retração, bem como, na resistência à compressão e tração do CCR, foram investigados os efeitos das variáveis principais, bem como de suas interações. No Quadro 1, observam-se todas as variáveis investigadas no programa experimental, sendo que os resultados apresentados são para as misturas preparadas com a energia de Proctor modificada.

Conforme nota-se no Quadro 1, os resultados apresentados neste trabalho referem-se a parte do programa experimental descrito anteriormente com o enfoque nas seguintes variáveis de resposta: a resistência mecânica e a retração. No Quadro 2, são mostradas as quantidades de agregados utilizados nas misturas para a confecção do concreto.

2.1 Materiais analisados

Os agregados graúdos utilizados no presente trabalho são oriundos da região de Passo Fundo, norte do Rio Grande do Sul. Nesta região é comum a presença de rochas basálticas, e vários trabalhos já foram realizados com os agregados desta região (DRAGO et al., 2009). O agregado miúdo foi extraído do leito do rio Jacuí/RS. Na Figura 1, são apresentadas as distribuições granulométricas de cada um dos agregados utilizados. Todos os agregados apresentaram peso específico superior a 26 kN/m³, e para o caso da brita 1, foi identificado que a absorção de água foi igual a 2,37%.

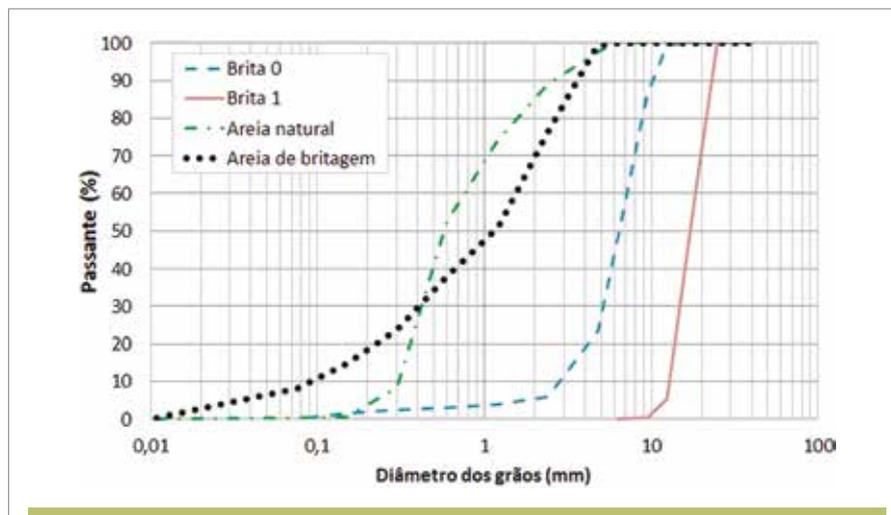
O proporcionamento dos agregados para as combinações de variáveis estu-

► Quadro 2 – Quantidades de agregados utilizados nas misturas

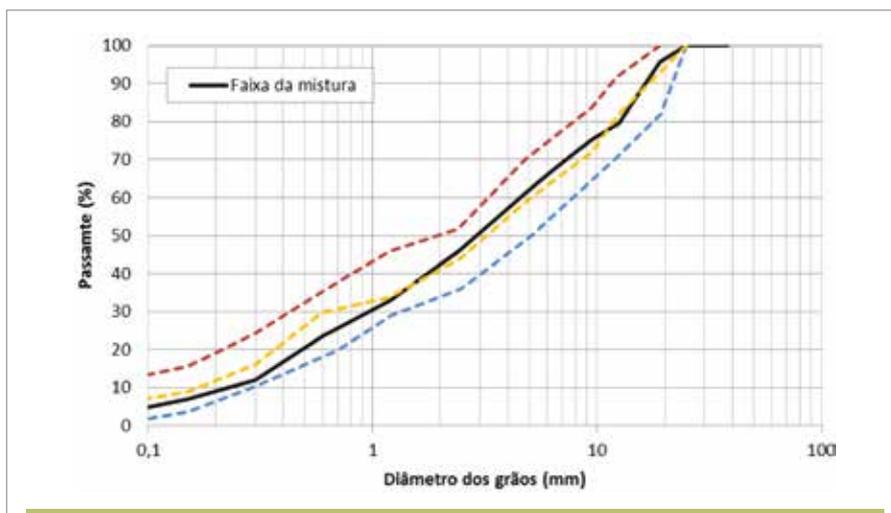
Agregado	Areia natural	Areia de britagem	Brita 0	Brita 1
Quantidade (%)	12	44	22	22

das do CCR foi realizado utilizando-se os conceitos apresentados por Pittman e Ragan (1998). Esta composição busca reduzir os efeitos da retração através de uma estrutura granular contínua e densa. Na Figura 2, é apresentada a composição granulométrica utilizada.

A fibra de polipropileno tem a característica de alcançar a ruptura com valores de deformação chegando próximos a 80% do comprimento da mesma. Na Figura 3, pode-se observar visualmente a fibra utilizada neste trabalho com diâmetro igual a 18mm e resistência a tração 300 MPa.



► Figura 1
Distribuição granulométrica dos agregados utilizados



► Figura 2
Curva granulométrica utilizada nas misturas de CCR

► Quadro 1 – Variáveis principais e interações

Variáveis investigadas	Faixa de estudo do programa de pesquisa
Consumo de cimento (kg/m ³)	80 200
Comprimento da fibra (mm)	6,00 24,0
Teor de fibra (%)	0,25 0,50
Energia de compactação (J/dm ³)	59,5 273,4



► **Figura 3**
Aspecto visual da fibra de polipropileno utilizada

O cimento escolhido para a realização dos ensaios de resistência mecânica e retração foi Portland de Alta Resistência Inicial (CP V -ARI) de fabricação nacional. A composição física e química é apresentada no Quadro 3. A escolha deste tipo de cimento deveu-se à necessidade de se avaliar o efeito da incorporação da fibra nas idades iniciais do CCR, uma vez que, na prática, esta informação na execução do CCR em campo é de extrema importância.

2.2 Procedimentos experimentais

Para a obtenção da umidade e o peso específico de moldagem, foram

realizados ensaios de compactação seguindo as recomendações da norma NBR 7182 (ABNT, 1988). As energias de compactação adotadas no programa de pesquisa estão apresentadas no Quadro 1, sendo que corresponde a energia de Proctor Normal (59,5 J/dm³) e Modificado (273,4 J/dm³). No presente trabalho, apresenta-se os resultados referentes a energia de 273,4 J/dm³. Não foi observada mudança considerável nos parâmetros de compactação para as diferentes misturas, de tal maneira que a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo identificados foram, respectivamente, 10,5% e 20 kN/m³ de massa específica aparente

seca. Em comparação com o peso específico de um concreto convencional com rochas basálticas, os valores observados neste estudo se apresentaram relativamente inferiores. Tal aspecto pode estar atribuído a forma como foi compactado o material, visto que adotou-se a metodologia similar a usada para compactação de solos (Ensaio Proctor), mas sem a vibração do material. Na Figura 4, é apresentado visualmente o aspecto da mistura do CCR com a adição de 0,5% de fibras de 24 mm de comprimento.

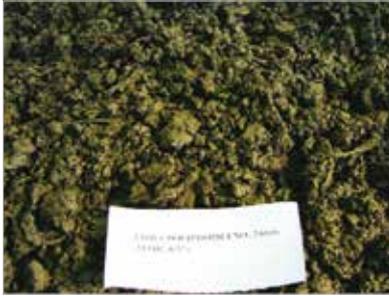
A moldagem corpos de prova para os ensaios de compressão axial seguiu uma ordem aleatória, a qual foi previamente estabelecida através de um planejamento de experimentos. Foram moldados corpos de prova de 100 mm x 200 mm, sendo que a moldagem foi executada em 5 camadas de igual altura e compactada. Para a avaliação da retração, foram moldados corpos de prova retangulares com dimensões de 100 mm x 400 mm, compactadas em 4 camadas.

Em todos os corpos de prova, o controle da compactação foi realizado mediante a aferição da altura final de cada camada. O tempo de cura das amostras

► **Quadro 3 – Composição química e propriedades físicas do cimento utilizado**

Propriedades químicas									
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P. Fogo	CaOL	R. Ins	Eq. Alc.
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
4,04	19,16	2,63	60,56	4,70	2,16	3,04	1,64	0,76	0,63
Propriedades físicas									
Exp. Quente	Tempo de pega (h:min)		Cons. normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à compressão (MPa)		
	início	fim					3 dia	7 dias	28 dias
mm			%	cm ² /g	%	%			
0,55	02:43	03:32	29,4	4,351	0,19	20,2	34,2	40,3	49,3

Fonte: Cimentos Itambé (<http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=371&chave=2012-9>)



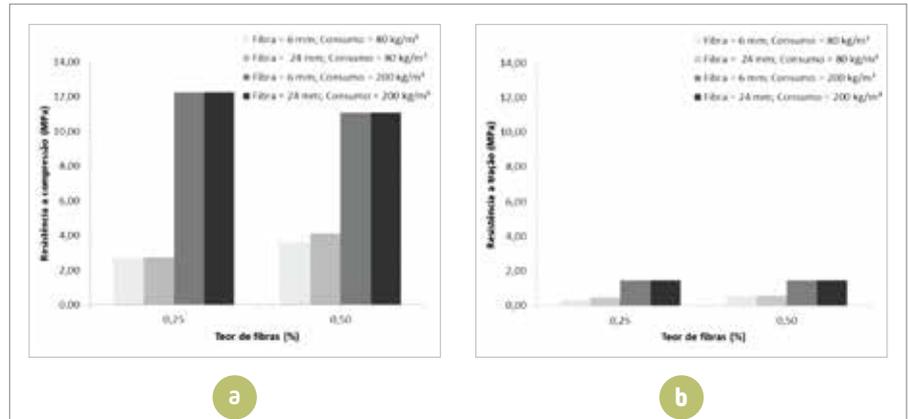
► **Figura 4**
Aspecto final da mistura do CCR com a adição de 0,5% fibras de 24 mm de comprimento

para os ensaios de compressão e tração por compressão diametral foi de 7 dias, ao passo que, para os ensaios de retração, foi realizado o monitoramento 2, 7, 14 e 28 dias após a moldagem.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 A valiação da resistência mecânica

O comportamento mecânico de materiais cimentados está diretamente ligado às suas características de porosidade e teor de cimento utilizado na mistura. Misturas com porosidades maiores demandam elevadas quantidades de cimento para resultar numa resistência mecânica adequada. Porém, essa quantidade de cimento decai à medida que a porosidade é reduzida, fato que resulta numa maior densificação e uma maior área de contato entre grãos. Diferente de um concreto convencional, em que existe quantidade de pasta de cimento suficiente para facilitar o adensamento por vibração, o concreto do tipo CCR necessita que seja aplicado a compactação por amassamento e vibração juntas. Então, no caso do CCR, a energia de compactação e o teor de cimento comandam a sua

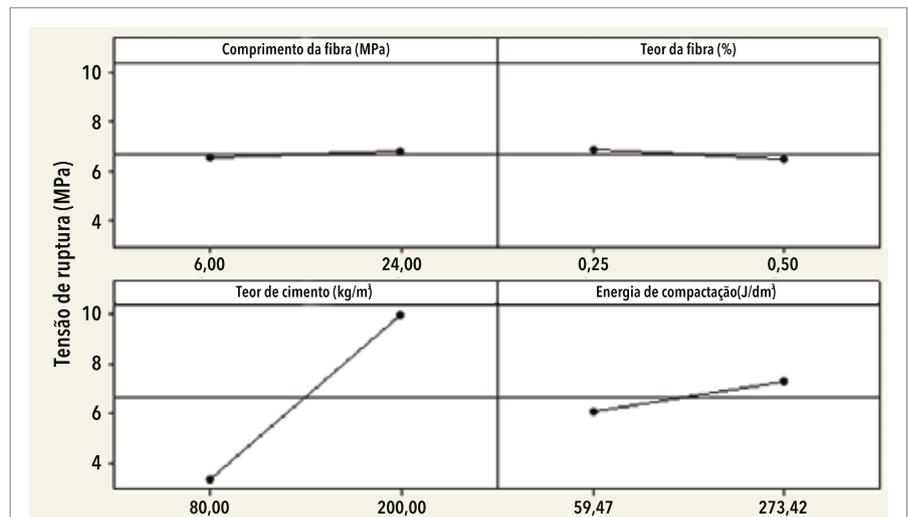


► **Figura 5**
Resistência do CCR aos 7 dias, preparado com energia de compactação igual a 273,4 J/dm³: (a) Compressão; (b) Tração

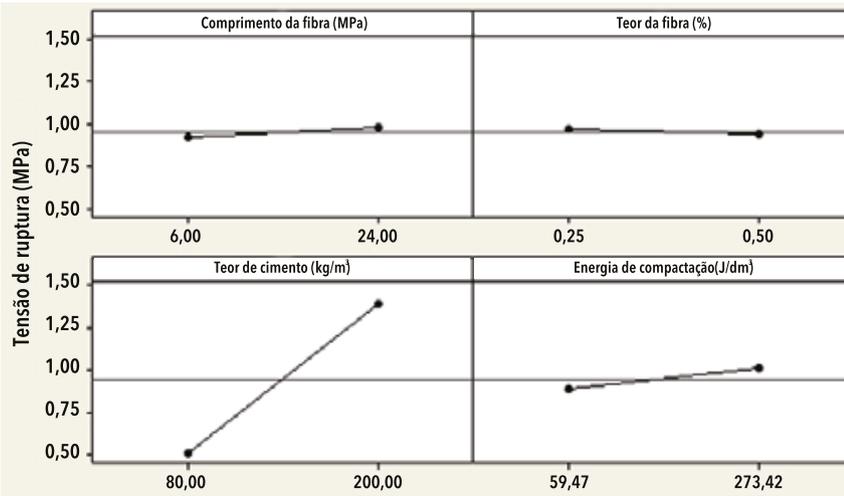
resistência mecânica. Na Figura 5(a) e 5(b), são apresentados os resultados obtidos na resistência à compressão e à tração por compressão diametral aos 7 dias de idade para os comprimentos de 6 e 24mm e quantidade de fibras de 0,25 e 0,50%, compactadas com a energia de 274,3 J/dm³.

Analisando-se as Figuras 5(a) e 5(b), observa-se que, das variáveis analisadas, o comprimento da fibra e o consumo de cimento foram os fatores mais significativos sobre a resistência à

compressão e à tração por compressão diametral. Na Figura 5 (a), este comportamento é evidenciado quando se compara os resultados obtidos com os teores de 0,25% e 0,50%. Ou seja, independentemente do teor de incorporação de fibra (0,25% ou 0,50%), o comprimento da fibra tem uma influência importante na resistência à tração por compressão diametral e à compressão. Além disso, observa-se que existe também uma interação entre o comprimento da fibra e o consumo de cimento, pois,



► **Figura 6**
Análise dos principais efeitos dos fatores analisados para os ensaios de compressão axial



► **Figura 7**
Análise dos principais efeitos dos fatores analisados para os ensaios de compressão diametral

quanto maior o consumo de cimento e maior o comprimento da fibra, maior é a resistência à tração e à compressão. Tais resultados corroboram o que é consenso na literatura (DONATO, 2003), entre outros. Observa-se que, mesmo variando o comprimento das fibras e a quantidade, não foi possível identificar alterações significativas nas resistências à compressão e à tração.

Os resultados obtidos nas Figuras 5(a) e 5 (b) são confirmados através da realização de uma ANOVA (análise de variância), apresentada na Figura 6. Na Figura 6, observa-se uma análise dos principais efeitos de cada fator investigado na resistência à compressão. Observando-se a interação entre as variáveis analisadas, nota-se que a melhor combinação para a resistência à compressão é a que contém o teor de fibras de 0,25%, teor de cimento de 200 kg/m³, fibras de 24mm e com energia de compactação de 273,4 J/m³, equivalente a energia modificada de compactação no ensaio Proctor.

Por outro lado, observa-se também que a adição de fibras não interfere significativamente nos resultados de compressão, diferentemente dos efeitos causados pela energia de compacta-

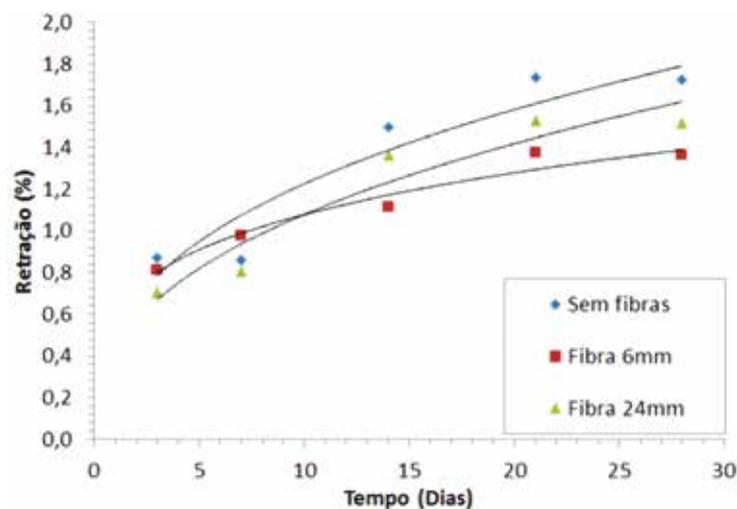
ção e principalmente pela quantidade de cimento. Da mesma forma, estes efeitos também foram observados para os ensaios de tração por compressão diametral, como apresentados na Figura 7.

3.2 Análise da retração

Na Figura 8, são apresentados os resultados dos ensaios de retração para os corpos de prova de CCR. As variáveis analisadas foram: 0,25% de incorporação de fibra de polipropileno de comprimento de 6 e 24 mm, consu-

mo de cimento de 200 kg/m³ e energia de compactação igual a 273,4 J/dm³.

Optou-se em analisar apenas os corpos de prova com o maior consumo de cimento (200 kg/m³), uma vez que, quanto maior o consumo de cimento, maior a retração hidráulica. Nesta situação, acredita-se que o efeito da incorporação de fibra de polipropileno seja maior. De fato, a partir dos resultados apresentados na Figura 8, observa-se uma redução nos valores de retração para as misturas que receberam a incorporação de fibras em comparação com os corpos de prova de referência (0% de fibra). Tais resultados indicam que a adição de fibras de polipropileno de 6 mm apresentam um melhor desempenho para idades maiores, diferentemente da fibra de 24 mm, a qual parece ter maior influência sobre a retração nas primeiras idades. Apesar de os valores medidos da retração terem sido relativamente pequenos, observa-se que, para uma idade de 28 dias, a retração é reduzida em 12% e 21% respectivamente para as fibras de 24 mm e 6mm. Este mesmo padrão de comportamento foi apresentado por Rodrigues e Montardo (2001),



► **Figura 8**
Resultados obtidos no ensaio de retração em corpos de prova de CCR com e sem adição de fibras de polipropileno

onde foi observado que misturas mais ricas apresentam uma afinidade maior com fibras mais curtas.

4. CONCLUSÕES

Ao fim deste trabalho foi possível chegar às seguintes conclusões, válidas dentro das condições e limites específicos do estudo realizado:

▶ A adição das fibras de polipropileno nos teores propostos neste estudo não apresenta influência significativa no desempenho da resistência à compressão, bem como na resistência à tração por compressão diâmetro. Contudo, os principais fatores que determinaram a mudança da resistência mecânica foram o consumo de ci-

mento e a energia de compactação;

▶ Os resultados da retração indicam que a incorporação de 0,25% de fibras de polipropileno foi benéfica ao desempenho do CCR quanto à retração por secagem, visto que, com a incorporação da fibra, houve uma redução de 12% e 21% (respectivamente, para os comprimentos de 24 e 6mm). ◀

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro-RJ: 1988. 10p.
- [02] CONSOLI, N. C. ; MONTARDO, J. P. ; DONATO, M. ; PRIETTO, P. D. M. . Effect of material properties on the behaviour of sand-cement-fibre composites. Ground Improvement, Londres, v. 8, n.2, p. 77-90, 2004.
- [03] DRAGO, C.; VERNEY, J. C. K.; PEREIRA, F. M.; Efeito da utilização de areia de britagem em concretos decimento Portland. REM – Revista da Escola de Minas. Ouro Preto, N.62, p. 399-408, 2009.
- [04] DONATO, M.; Comportamento mecânico de concreto compactado com rolo reforçado com fibras de polipropileno. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – PPGEC-UFRGS, Porto Alegre. 82p. 2003.
- [05] PITTMAN, D. W.; RAGAN, S. A.; Drying Shrinkage of Roller-Compacted Concrete for Pavement Applications. ACI Material Journal. N.1 Vol. 95, p.19-26, 1998.
- [06] RODRIGUES, P. F.; MONTARDO, J.; A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. 44º Congresso Brasileiro do Concreto Ibracon, Belo Horizonte. 16p. 2001

Através de ferramentas inteligentes a **RR COMPACTA** incorpora modernas tecnologias no processo de **Retrofit**. Da fachada às áreas internas, em edifícios de médio ou grande porte. **Vamos inovar?**

Durabilidade das estruturas pela impermeabilização por cristalização integral do concreto

DOMINGO LEMA – GERENTE TÉCNICO

EDUARDO F. S DE MORAES – GERENTE TÉCNICO

CLÁUDIO N. OURIVES – DIRETOR GERAL

PENETRON BRASIL

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, além da preocupação com a resistência do concreto, a durabilidade também tem sido enfoque de engenheiros e projetistas. Patologias prematuras vêm ocorrendo em estruturas de concreto residenciais, comerciais e industriais, trazendo riscos, desconforto e altos custos de recuperação.

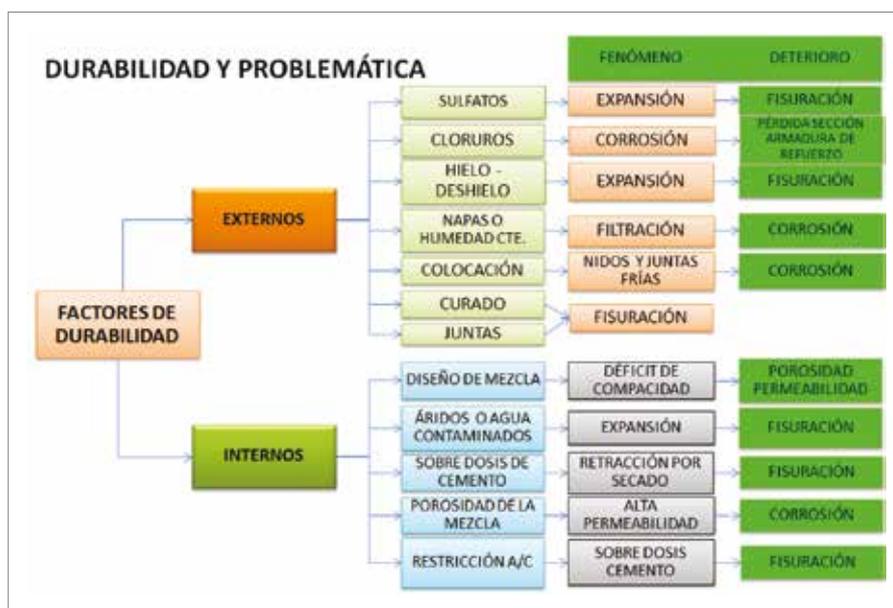
Atualmente, existem métodos e sistemas de última geração, em comparação aos tradicionais, que são mais eficazes e menos onerosos, garantindo a proteção do concreto contra a ação de agentes e ambientes agressivos. Isso pode ser obtido por um mecanismo de formação de cristais na microestrutura do concreto provenientes da adição dos aditivos minerais conhecidos como aditivos de cristalização PRAH (aditivos para redução da permeabilidade à pressão hidrostática), de acordo com o Relatório do ACI 212.3R-10*.

O mecanismo de formação de cristais contínuo resulta em um aumento

substantial na vida do concreto, questão que será demonstrada em detalhes na exposição deste trabalho.

Quando se trata de durabilidade do concreto, a definição não deve ser baseada somente na especificação de uma resistência mínima à compressão, em um teor máximo de água/cimento

(a/c), um teor mínimo de cimento ou de adição de ar. Há melhores maneiras de quantificar a durabilidade através de baixa permeabilidade e baixa retração, que são características de desempenho de concreto que podem prolongar a vida de serviço de uma estrutura sujeita a condições de exposição severas.



► **Figura 1**

Fatores e tipos de danos ou deterioração que afetam a durabilidade do concreto



► **Figura 2**
Ataque de sulfatos



► **Figura 3**
Corrosão por cloreto

Os aditivos minerais adicionados ao concreto proporcionam propriedades únicas para impermeabilização através de cristalização de poros, capilares e fissuras até 0,4 mm de abertura, que resulta em maior durabilidade e vida útil das estruturas, minimizando custos de manutenção e operação desses elementos.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar o estudo, análise e resultados de um desenvolvimento realizado no Chile para comprovar o aumento da durabilidade das estruturas através da impermeabilização por cristalização integral do concreto.

2. DESCRIÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO CONHECIDA POR CRISTALIZAÇÃO

Os aditivos de cristalização é um

impermeabilizante cimentício com ingredientes ativos na forma de pó, que reage com a água livre do concreto para formar uma estrutura cristalina insolúvel. Esse mecanismo de formação de cristais ocorre quando os ingredientes ativos dos aditivos de cristalização são reagidos com os compostos da pasta de cimento, como o hidróxido de cálcio, alumínio, óxidos metálicos, sais no concreto e a água, formando uma estrutura cristalina no interior dos poros, capilares e fissuras. A formação desses cristais impedirá a penetração de água, porém permitirá a passagem do vapor d'água, evitando a pressão de vapor dentro da estrutura do concreto.

3. DURABILIDADE

O *Guide to Durable Concrete ACI 201.2R-01* define a durabilidade do concreto feito com cimento hidráulico como “a capacidade para resistir à ação de intempéries, ataque químico, abrasão ou qualquer outro processo de degradação”, e determina que o concreto durável deve manter a sua forma original, características de qualidade e serviço quando expostos a este ambiente.

Além disso, note que existem fatores que afetam a durabilidade de diferentes maneiras. Eles podem ser exter-



► **Figura 4**
Infiltração de água

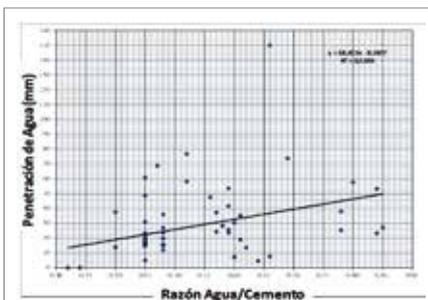


► **Figura 5**
Retração por secagem

nos, quando provenientes do ambiente agressivo, bem como relacionados com a execução do concreto, e de origem interna, relacionados ao projeto do traço e abordagens convencionais quanto à durabilidade. Na Figura 1, são apresentados os fatores que afetam a durabilidade e as patologias associadas, se não forem tomadas as medidas de proteção.



► **Figura 6**
Gelo e degelo



► **Figura 7**

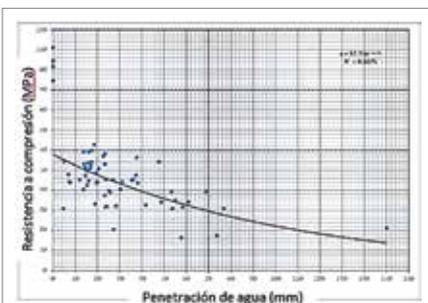
Relação entre a penetração de água e a/c, de acordo com a NCh 2262

4. CRITÉRIOS DE PROJETO CONVENCIONAIS PARA DURABILIDADE DO CONCRETO

Atualmente, para atender à durabilidade, são estabelecidas restrições ao projeto do traço de concreto, como:

- a) Valores elevados de resistência;
- b) Baixa relação a/c;
- c) Alto consumo de cimento.

Muitos estudos argumentam que, mesmo que o concreto seja mais impermeável, é também mais rígido e sujeito a fissuras, apresentando problemas operacionais significativos, tais como: redução da vida útil do concreto, alteração de configuração do traço e maior calor de hidratação. Esses aspectos produzem patologias e efeitos indesejáveis sobre as estruturas, tais



► **Figura 8**

Relação entre a resistência à compressão e penetração de água, de acordo com a NCh 2262

como: fissuras, módulo de elasticidade inferior, maior fluência e, portanto, um desempenho diferente em termos de durabilidade.

Obla, Lobo e Lemay (2005) indicam que os requisitos de durabilidade do Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-95 são geralmente baseados em um baixo a/c, resistência mínima e incorporação de ar, para reduzir a permeabilidade à água, sais ou produtos químicos que afetam a durabilidade e vida útil do concreto. Também indicam que o concreto pode ser otimizado com a utilização de materiais cimentícios complementares e adições químicas inovadoras para alcançar a redução da permeabilidade, por meio de ensaios que validam a impermeabilidade do concreto. Por conseguinte, a durabilidade deve ser especificada com base no comportamento de impermeabilidade do concreto resultante.

No Chile, as medidas de a/c e resis-

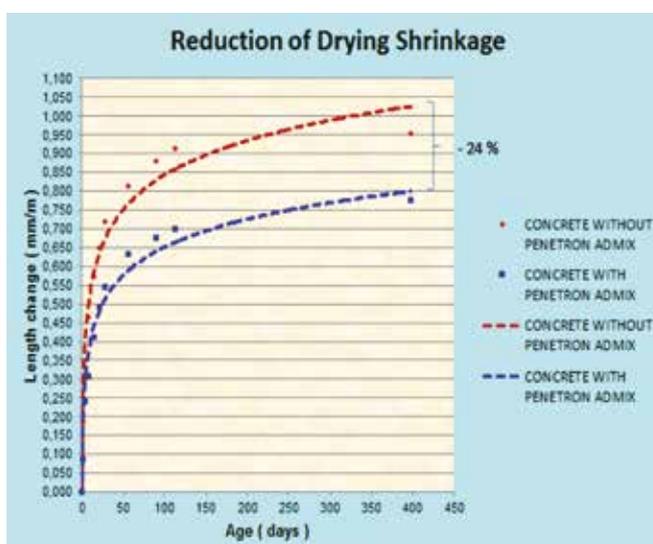
tência à penetração de água apresentam elevada dispersão e, portanto, não podem ser correlacionadas. Os valores obtidos nos controles em condições laboratoriais estão apresentados nas Figuras 7 e 8.

5. PROJETO DE INVESTIGAÇÃO E PESQUISA

Os corpos de prova foram produzidos na usina de concreto e testados no laboratório da Divisão de Engenharia e Gestão da Construção (DICTUC), da Universidade Católica do Chile.

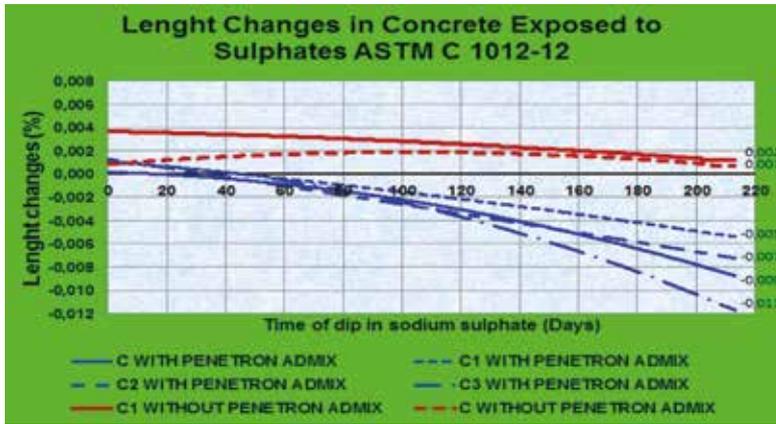
Abaixo, estão algumas características do concreto produzido:

- C1 – concreto com cimento Portland pozolânico e agregados da região norte do Chile;
- C2 – concreto com cimento Portland pozolânico e agregados da região central do Chile;
- C3 – concreto com cimento Portland com adições de escória e agregados da região sul do Chile.



► **Figura 9**

Diminuição da variação do comprimento do concreto devido à retração por secagem, conforme a norma ASTM C157



► **Figura 10**

Alterações no comprimento do concreto exposto ao sulfato, de acordo com a norma ASTM C1012

► Relação a/c utilizada para os traços de concreto: 0,50 a 0,52.

Os testes de autocompactação foram realizados no laboratório da Concremat, em São Paulo. A microscopia eletrônica dos corpos de prova foi realizada na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em São Paulo.

Para validar o desempenho de diferentes concretos, foram realizados testes acelerados que permitiram obter resultados comparativos para todos os parâmetros que foram uti-

lizados para a durabilidade.

6. RETRAÇÃO POR SECAGEM

Os corpos de prova foram medidos de acordo com os regulamentos da norma NCh 2221 e os resultados são mostrados na Figura 9.

As mudanças em comprimento devido à retração por secagem do concreto foram medidas por mais de um ano. O concreto com aditivos de cristalização teve redução da retração por secagem de 24% em relação ao concreto de referência.

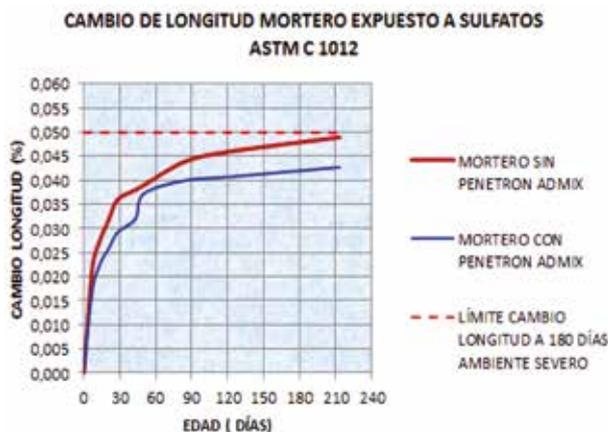
7. RESISTÊNCIA DO CONCRETO AO SULFATO DE SÓDIO

As amostras de concreto foram submetidas a uma solução de sulfato de sódio e os valores apresentados na Figura 10 são a média de três corpos de prova. Concreto com aditivos de cristalização sendo atacado por sulfatos não apresentou expansão; concreto de referência apresentou expansão em todo o ensaio, resultando na desintegração da massa de concreto.

Os corpos de prova de argamassa com e sem aditivos de cristalização foram testados de acordo com a norma ASTM C1012 e os valores apresentados na Figura 11 são a média de três corpos de prova. Os requisitos para a variação do comprimento das argamassas expostas aos sulfatos estão estabelecidos na norma ASTM 1157 e estão apresentados na Tabela 1.

8. RESISTÊNCIA DO CONCRETO À DIFUSÃO DE CLORETO

Atualmente, para proteger contra o ataque de cloreto, são utilizadas medidas de proteção, tais como: a incorporação de aditivos inibidores de corrosão ou instalação de ânodos de sacrifício



► **Figura 11**

Alterações do comprimento da argamassa exposta ao sulfato (ASTM C1012)

► **Tabela 1 – Alterações de comprimento – requisitos em argamassas feitas com base em cimento hidráulico, ASTM 1175**

Resistência à sulfatos	MS	HS
6 meses (%)	0,10	0,05
12 meses (%)	–	0,10

Nota: MS – Cimento moderadamente resistente sulfato; HS – Cimento altamente resistente a sulfato.

► Tabela 2 – Coeficiente de difusão de cloreto aparente

Concreto	Tempo (dias)	Cont. inicial Cl Ci (%)	Cont. sup. Cl Cs (%)	Coef. difusão aparente Cl (m ² /s)
Sem Penetron Admix	35	0,023	1,084	7,20E-12
C 1 com Penetron Admix	35	0,022	1,304	4,90E-12
C 2 com Penetron Admix	35	0,015	1,275	6,17E-12
C 3 com Penetron Admix	35	0,008	1,481	4,66E-12

Nota: C – concreto.

	C SEM PENETRON	C COM PENETRON
A espessura do revestimento, (m)	0,06	0,06
Concentração de cloreto na superfície, Cs (% masa)	1,53	1,48
Coeficiente de difusão aparente, Da (m ² /s)	7,20E-12	4,66E-12
Coeficiente de difusão corrigido para o factor idade, D(t) (m ² /s)	3,22E-13	1,33E-13
Função de erro, erf	0,967	0,966
Limite de concentração de cloreto na concreto, C _(x,t) (%)	0,05	0,05
Limitar concentrações de cloretos no concreto, (% rpc)	0,32	0,32
VIDA ÚTIL DE ESTRUTURA, t (anos)	39	95

► Figura 12

Vida útil estimada do concreto (segunda lei de Fick)

na estrutura. Em relação ao aditivo inibidor da corrosão, não há a certeza de que, quando adicionados ao concreto, são distribuídos uniformemente na matriz para passivar a armadura. Em relação aos anodos de sacrificio, esta é uma técnica em declínio, pois esses elementos se deterioram ao longo do tempo e devem ser substituídos no curto prazo, associado ao alto custo e risco de corrosão. Se surgirem fissuras, a umidade e o sal de cloreto entram, podendo causar danos à estrutura. As amostras foram testadas de acordo com ASTM C1556 e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Notadamente, o método de ensaio acelerado ASTM C1556 aplica uma concentração de cloreto equivalente a

aproximadamente 4,7 vezes a encontrada pela estrutura exposta em ambientes marinhos.

Após a obtenção dos valores de coeficiente de difusão de cloreto, procedeu-se à avaliação da vida útil de serviço do concreto, utilizando o modelo da segunda lei de difusão de Fick.

$$C(x,t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] \quad [1]$$

$$C(x,t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] \quad [2]$$

Onde,

C(x,t) = Concentração de íon cloreto a uma distância x de uma superfície de concreto por um período de exposição t (% de massa do material);

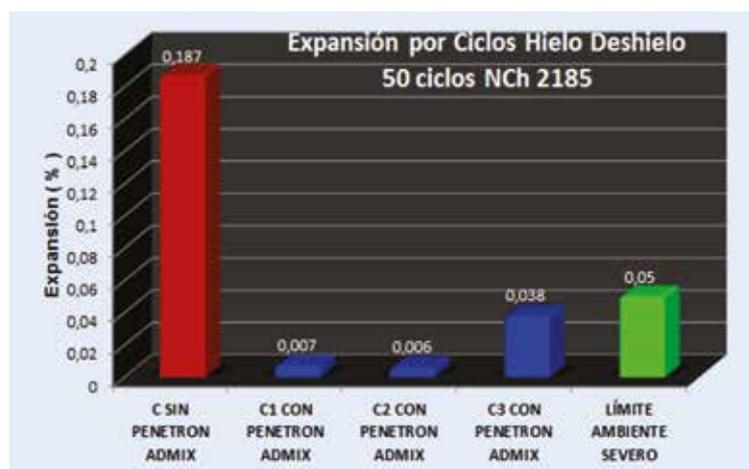
C_s = Concentração de íon cloreto na superfície do concreto (% de massa do material);

x = espessura do revestimento;

t = tempo de exposição de íon cloreto (anos);

D_c = Coeficiente de difusão de cloretos (m²/s);

erf = função de erro;



► Figura 13

Resistência do concreto aos ciclos de congelamento e descongelamento



Notas: O limite especificado corresponde aos critérios de avaliação estabelecidos no *Manual Durar Cyted*. Esta publicação indica que, com uma espessura do cobrimento de 30 mm, a absorção capilar limite em ambientes severos é $\leq 5E-05$ (m/s^{1/2}) e, em ambientes menos severos, 10E-04 (m/s^{1/2}).

► **Figura 14**
Absorção capilar de concreto

$D_c(t)$ = coeficiente de difusão de cloretos no tempo t (m²/s);

D_0 = coeficiente de difusão de cloretos no tempo t_0 (m²/s);

t_0 = tempo inicial de difusão de cloretos (anos);

t = tempo de controle de difusão de cloretos (anos);

m = é usado 0,5.

Aplicando o modelo de previsão, obtiveram-se os valores mostrados na Figura 12.

Concretos com aditivos de cristalização estimam uma vida útil, antes do início da corrosão, 2-3 vezes maior do que o concreto de referência para um nível de concentração de cloreto de 4,7 vezes acima do ambiente marinho. Portanto, pode-se estimar que o tempo de vida útil antes do início da corrosão será mais de 100 anos. O concreto com aditivos de cristalização é a melhor solução para evitar a corrosão em estruturas que serão expostas ao ambiente marinho.

9. RESISTÊNCIA DO CONCRETO AOS CICLOS DE GELO E DEGELO

Foram preparadas e testadas amostras de acordo com a norma NCh 2182 e os valores obtidos são apresentados na Figura 13.

A norma NCh 2185 estabelece um limite de expansão máxima de 0,05% para concreto com 5% de ar incorporado, após 50 ciclos de gelo e degelo.

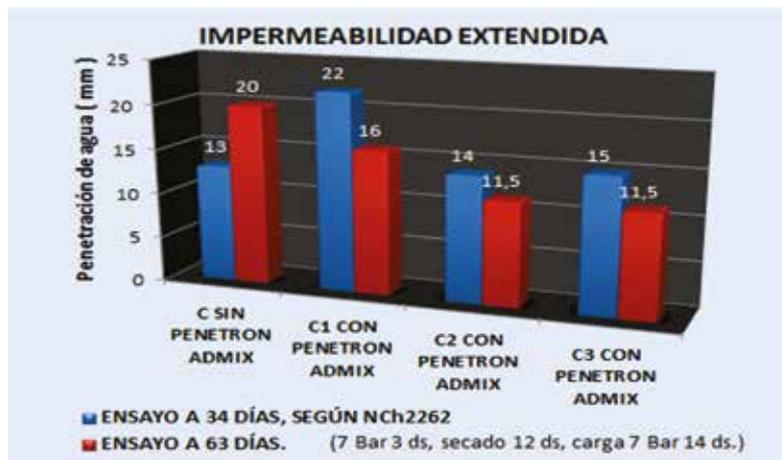
Os valores correspondem ao concreto sem ar incorporado, o que significa que a introdução de ar no concreto com aditivos de cristalização não é necessária para suportar o ciclo de gelo-degelo.

IO. TAXA DE ABSORÇÃO CAPILAR

As amostras foram preparadas de acordo com a norma ASTM C 1585. Foram realizados os ensaios após 90 dias, com a pressão de água mantida de 0,5 MPa, durante um período de 28 dias. Após este período, não se utilizou pressão de água. Os valores obtidos são mostrados na Figura 14.

II. IMPERMEABILIDADE DO CONCRETO

Foram preparadas e testadas amostras de concreto de acordo com a norma NCh 2262. Além disso, os testes de pressão de água foram conduzidos por longos períodos para avaliar a estanqueidade além das idades padrão, a fim de mostrar o efeito da formação de cristais ao longo do tempo. As Figuras 15 e 16 mostram os valores obtidos



► **Figura 15**
Penetração de água, com pressão de água aos 63 dias (NCh 2262)



► **Figura 16**
Penetração de água, com pressão de água aos 90 dias (NCh 2262)

12. A AUTOCICATRIZAÇÃO DE FISSURAS EM CONCRETO (SELF-HEALING)

As amostras foram fabricados no Chile (DICTUC laboratório) e testados com base em GB18445 / 01 – chineses Standard. Na Figura 17, é indicada uma descrição sumária do ensaio. Além disso, a taxa de percolação de água foi avaliada através da fissura das amostras e os valores obtidos



Moldes



Enchimento



Geração de fissura

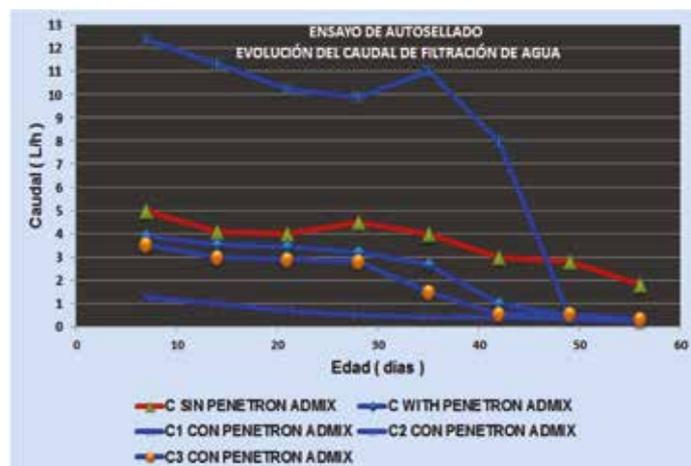


Aplicação de água pressurizada

► **Figura 17**
Preparação para corpos de prova autocicatrizantes

com a idade de teste e aplicando procedimento prolongado.

Os valores apresentados nas Figuras 15 e 16 mostram que em concretos de referência, os valores obtidos estão abaixo de 20 mm de penetração de água, após 28 dias, conforme a norma. Mas, após 63 dias sob pressão da água, a penetração de água aumentou 50% em comparação aos 28 dias. No entanto, nos concretos com aditivos de cristalização a 63 e 90 dias, a penetração de água diminui em 30 a 40% em comparação com os valores da idade de 28 dias, devido à formação de cristais no tempo.



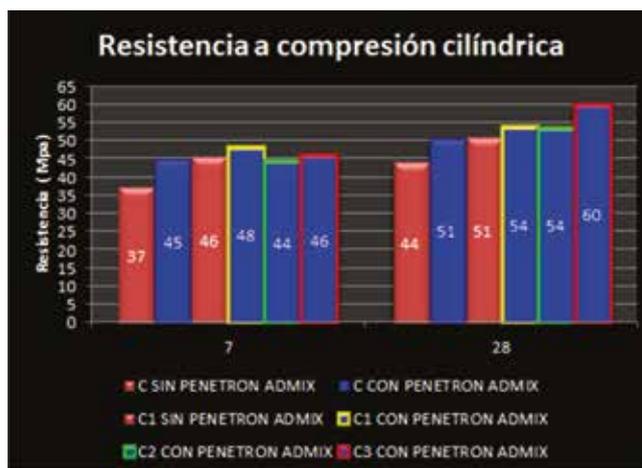
► **Figura 18**
Avaliação da taxa de percolação de água pela fissura por 8 semanas (self-healing)

são apresentados na Figura 18.

Os valores indicam que, no concreto com aditivos de cristalização fissurado, após a aplicação de uma pressão de água cerca de 150 m de coluna de água, durante oito semanas, os cristais produzidos na fissura reduziram o fluxo de água em 95%. O concreto de referência, em oito semanas, obteve uma redução de fluxo de apenas 60%, porém não tem a capacidade de selar fissuras futuras.

13. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O concreto com aditivos de cristalização obteve um aumento da resistência à compressão de 13% ao fim de 28 dias, em comparação com o concreto de referência (Figura 19). Isto é atribuí-

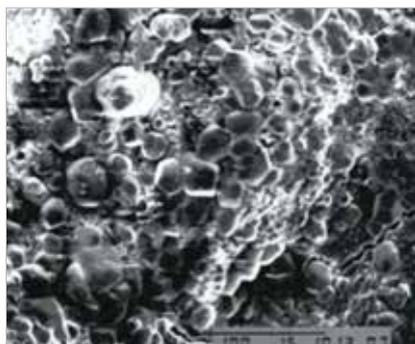


► **Figura 19**
Resistência à compressão

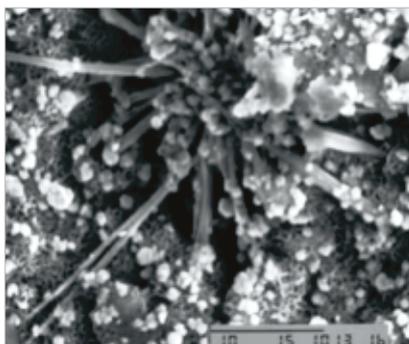
do à maior compacidade da massa de concreto com aditivo de cristalização, que produz um menor volume de vazios e uma diminuição de microfissuras na interface com a argamassa seca, permitindo maior e melhor transferência de carga para os agregados.

14. MICROSCOPIA

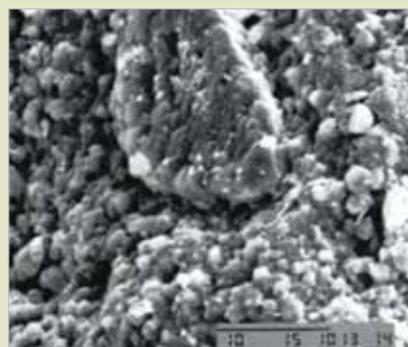
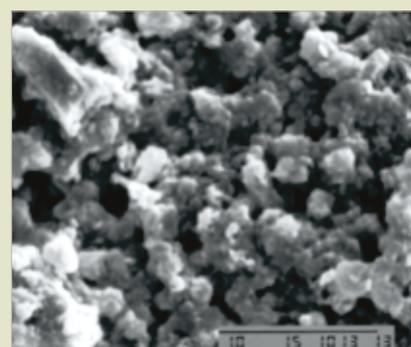
Após a conclusão do teste de aut cicatrização, foi realizada a microscopia eletrônica de varredura para verificar a formação de cristais. Concretos com aditivos de cristalização mostraram a formação dos cristais na massa, que estão descritos na Figura 20.



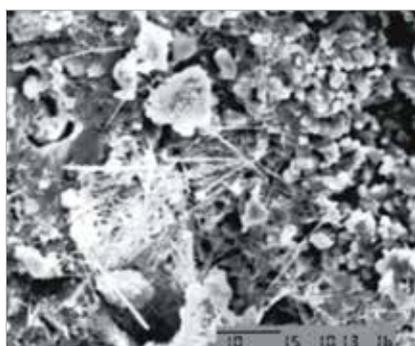
Formação de cristais na fissura (µm)



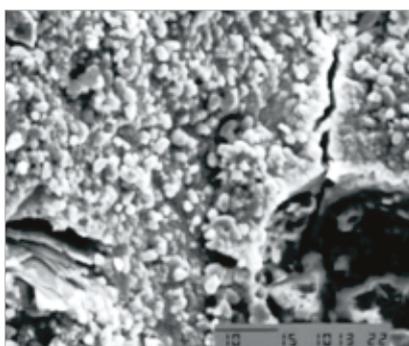
C1 cristais de CaCO₃ (µm)



Concreto de referência: não se observam cristais ou produtos que não sejam os de cimento Portland (µm)



C2 cristais de CaCO₃ (µm)



C3 cristais de CaCO₃ (µm)

► **Figura 20**
Microscopia eletrônica de varredura do concreto

15. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, foi possível concluir que:

- ▶ Retração por secagem: concreto com aditivos de cristalização tem 24% menos retração por secagem;
- ▶ Resistência aos sulfatos: concreto com aditivos de cristalização não tem expansão; concreto de referência apresenta expansão de volume durante o teste;
- ▶ Impermeabilidade: concreto com aditivos de cristalização, em comparação com concreto de referência, tem 30-40% menos penetração de água sob pressão superior a 28 dias (63 e 92 dias);
- ▶ Absorção capilar: concreto com aditivos de cristalização, apresenta valores 10 vezes menores do que o limite de exposição severa, para um cobrimento de 30 mm;
- ▶ Difusão de cloreto: concreto com aditivos de cristalização apresentam valores do coeficiente de difusão de cloreto 50% menores do que o concreto de referência, resultando em vida útil 4,7 vezes maior;
- ▶ A resistência ao gelo e degelo: concreto com aditivos de cristalização, em comparação com concreto de referência, tem expansão 10 vezes menor, não sendo necessária a utilização de aditivo incorporador de ar; concreto de referência não atende expansão máxima;
- ▶ Autocicatrização de corpos de prova fissurados: os cristais formados no volume e na fissura dos corpos de prova com aditivos de cristalização restauram a impermeabilidade em mais de 95%; concreto de referência, na mesma idade, reduz a taxa de percolação em apenas 60%;
- ▶ Resistência à compressão: concreto com aditivos de cristalização obteve um aumento de 13% na resistência à compressão em comparação com concreto de referência.

Por fim, o concreto com aditivos de cristalização oferece os seguintes benefícios:

- ▶ Não há necessidade de superdimensionar o concreto para alcançar durabilidade;
- ▶ Otimização do traço de concreto;
- ▶ Quando não são usados os critérios de projeto convencionais, há redução das patologias associadas;
- ▶ A vida útil é três vezes maior antes do início da corrosão;
- ▶ Redução de custos da estrutura;
- ▶ A utilização de outros aditivos que não garantem a durabilidade é eliminada;
- ▶ Permite atingir a durabilidade sem o uso de critérios restritivos de projeto do traço. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] NORMA CHILENA. NCh 2182: Hormigón y mortero – Aditivos – Clasificación y requisitos. Chile, 1995.
- [02] NORMA CHILENA. NCh 2185: Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo. Chile, 1992.
- [03] NORMA CHILENA. NCh 2221: Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de los cambios de longitud. Chile, 2010.
- [04] NORMA CHILENA. NCh 2262: Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la agua – Método de la penetración de agua bajo presión. Chile, 1997.
- [05] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C157: Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar and Concrete. West Conshohocken. PA, 2004.
- [06] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1012: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement, Mortars Exposed to a Sulfate Solution. West Conshohocken. PA, 2005.
- [07] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1157: Standard Performance Specification for Hydraulic-Cement. West Conshohocken. PA, 2003.
- [08] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1175: Standard Guide to Test Methods and Standards for Nondestructive Testing of Advanced Ceramics. West Conshohocken. PA, 2004.
- [09] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1556: Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion. West Conshohocken. PA, 2004.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1585: Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. West Conshohocken. PA, 2004.
- [11] LOBO C. L.; Lemay L.; Obla K.. National Ready Mixed Concrete Association. Specifying Concrete for Durability, Performance-Based Criteria Offer Best Solution. USA, 2005.
- [12] CHINESE STANDARD. GB 18445-2001: Cementitious Capillary Crystalline Waterproofing Materials. China, 2001.
- [13] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 212.3R-10: Report on Chemical Admixtures for Concrete. USA, 2010.
- [14] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201.2R-01: Guia to Durable Concrete. USA, 2001.
- [15] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-95: Building Code Requirements for Structural Concrete. USA, 1995.
- [16] RINCÓN O. T.; CARRUYO A. R.; ANDRADE C.; HELENE P. R. L.; DÍASZ I.. Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, Cytel. Venezuela, 3a edição, 2000.

Economia de baixo carbono: uma visão para o futuro da indústria brasileira de cimento

YUSHIRO KIHARA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP)

GONZALO VISEDO

SINDICADO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC)

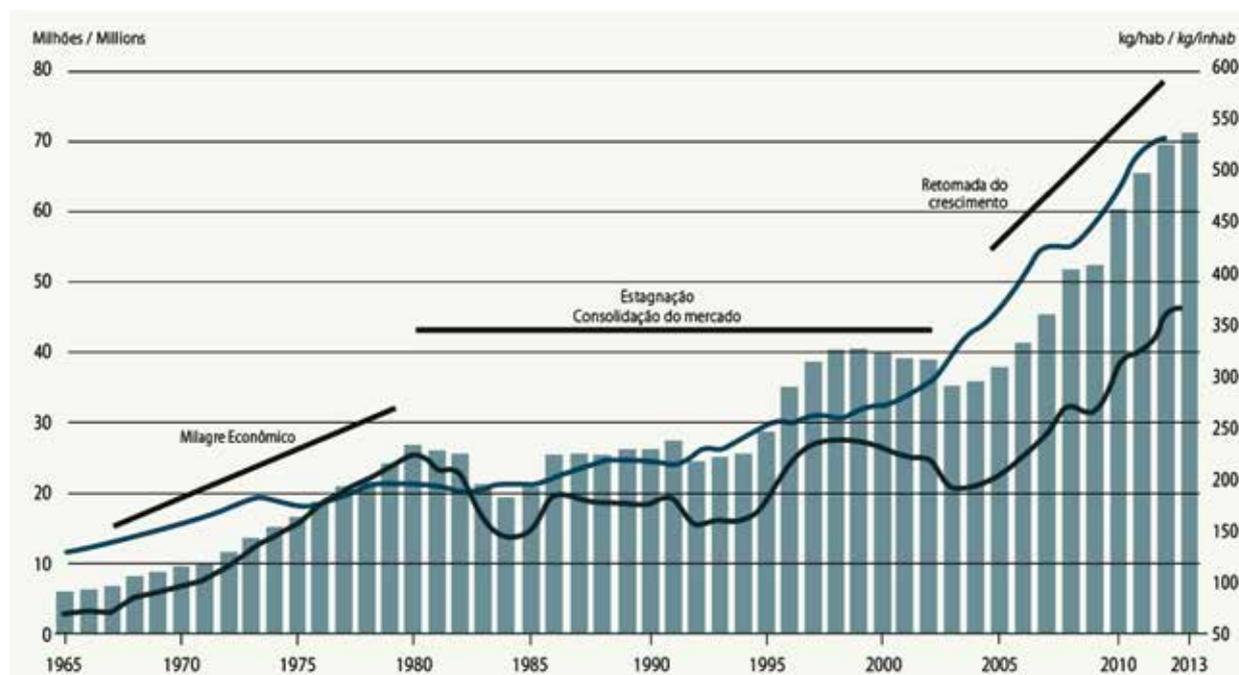
I. A INDÚSTRIA DO CIMENTO E O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

Brasil é um país com dimensões continentais, são mais de sete mil quilômetros de costa marítima, fronteiras com 10 países diferentes e uma área de 8.500.000 quilômetros quadrados. Foi dentro des-

te cenário que a indústria brasileira de cimento começou a desenvolver-se, primeiro em São Paulo, em 1926, e depois no Rio de Janeiro, apesar de iniciativas pioneiras não bem sucedidas em outros estados da União. Com um começo tímido no início do século XX, a produção nacional ultrapassou as importações a

partir de 1933. A indústria brasileira iniciou, então, um processo consistente de consolidação e crescimento.

Foi nos anos 70, entretanto, que o chamado “milagre econômico” impulsionou a indústria do cimento, estimulada pelos inúmeros projetos habitacionais e de infraestrutura da época. Em apenas



► **Figura 1**

Consumo aparente do cimento no Brasil (SNIC, 2013)



17 grupos industriais

88 fábricas

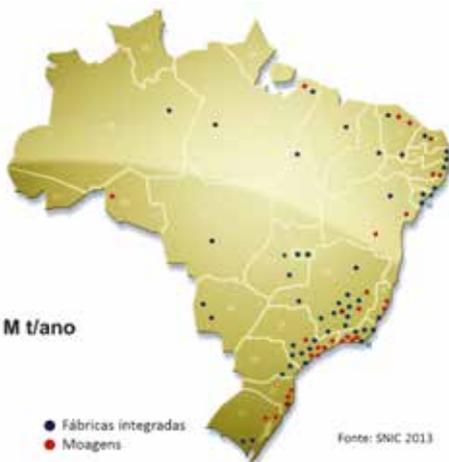
· 57 integradas

· 31 moagens

Produção (2013): 70 M t

Consumo (2013): 71 M t

Capacidade Instalada (2013): 86 M t/ano



► Figura 2

Distribuição regional das fábricas de cimento no Brasil

10 anos, o consumo per capita passou de 100 para 227 kg por habitante. Nesse mesmo período, a produção de cimento triplicou, saltando de nove para 27 milhões de toneladas anuais, e foram instaladas 24 novas fábricas para abastecer essa crescente demanda.

O País passou por um período de estagnação, a chamada “década perdida”, mas recuperou-se com um novo ciclo de crescimento, iniciado a partir de 2004. Embora com desaceleração do crescimento nos dois últimos anos, atualmente conta com 88 plantas industriais cimenteiras, controladas por 17 grupos industriais. Em 2013, a capacidade instalada era de 86 milhões de toneladas/ano, com produção de 70,1 milhões de toneladas, fazendo do Brasil o sexto maior produtor e quarto maior consumidor de cimento do mundo.

2. A CRISE DO PETRÓLEO E O PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO DO PARQUE NACIONAL

A indústria cimenteira brasileira se destaca atualmente no cenário internacional como uma das mais bem posicionadas em termos de baixa emissão de carbono e de eficiência energética. Essa posição, reconhecida pela Agência Internacional de Energia, foi conquistada graças a ações iniciadas dé-

cadadas atrás e que vêm se ampliando e consolidando ao longo de vários anos.

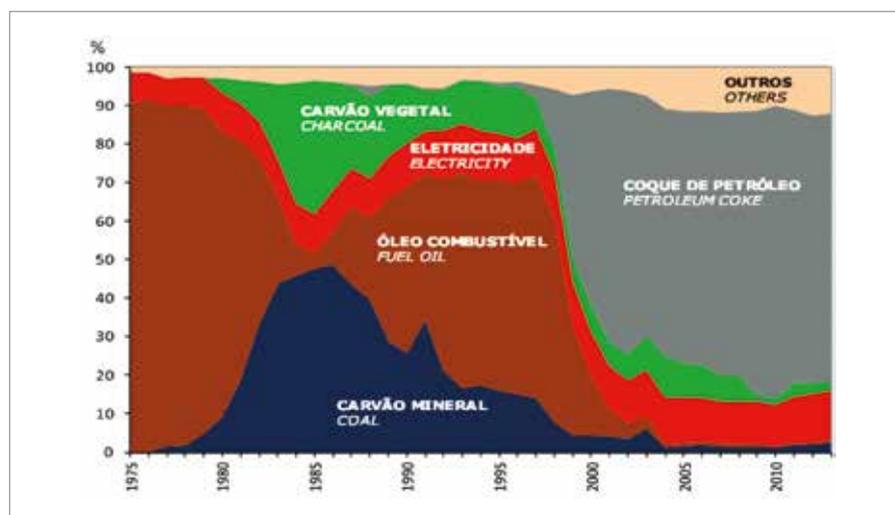
O caminho para atingir essa produção de forma sustentável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, foi marcado por diversos desafios. No final da década de 70, a crise energética com que se deparava o País, como decorrência da elevação dos preços internacionais do petróleo, levou o Governo Federal a buscar soluções para conter a importação de petróleo e derivados, dos quais o Brasil era altamente dependente, substituindo-os por energéticos de origem nacional.

Dentre as soluções propostas, um protocolo assinado em 1979, entre o

Governo, o Setor de Cimento e o de Extração do Carvão, tinha como desafio reduzir o consumo de óleo combustível na indústria cimenteira, intensiva em energia, substituindo-o pelo carvão nacional. Era criado o Protocolo do Carvão.

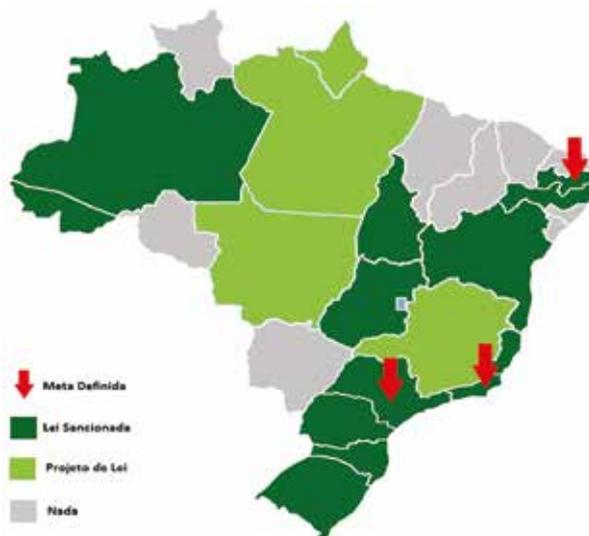
O documento visava criar condições e implementar medidas que propiciassem o desafio de reduzir ao máximo e no mais curto prazo possível o consumo de óleo combustível no setor de cimento brasileiro.

Dos compromissos então assumidos pela indústria, resultou a modernização do parque industrial, com a conversão do processo “via úmida” para “via seca” em diversas unidades, garantindo economia de quase metade do consumo de combustíveis. No processo de via úmida, a água é utilizada para misturar e homogeneizar as matérias-primas (calcário e argila) na fabricação do clínquer, sendo necessário durante o processo de fabricação a retirada desta água, o que faz com que haja um aumento do consumo de energia na ordem de 5,9 a 6,7 GJ/t de clínquer, o que não ocorre no processo



► Figura 3

Estrutura do consumo energético do setor cimento (MME, 2014)



► **Figura 4**
Políticas estaduais de mudanças climáticas (NESA, 2013)

de via seca, onde esta homogeneização das matérias-primas se dá através do ar quente, que transita pelo forno, emitido pelo maçarico principal e secundário, passando pelos pré-aquecedores e/ou pré-calcinadores, tendo, desta forma, um consumo energético em torno de 3 GJ/t de clínquer.

Além disso, a instalação de equipamentos de redução de consumo energético, a intensificação no uso de adições ao cimento, como escórias de alto forno, cinzas de usinas termelétricas e argilas calcinadas, a busca por outras fontes de energia alternativa, como biomassa, e o desenvolvimento de queimadores para vários tipos de combustíveis, com tecnologia 100% nacional, foram outros resultados obtidos para um melhor aproveitamento da energia pelo setor.

Em outras palavras, tudo que se exige hoje da indústria cimenteira mundial como meios de mitigação de emissões e de redução do uso de fontes de energia não renováveis começou como resposta ao desafio lançado pelo Protocolo de 1979. O Governo Federal, por sua vez, comprometeu-se e desenvolveu diversos programas de apoio às iniciativas.

Naquela época, as emissões de CO₂ não eram o centro das preocupa-

ções. Mas as ações executadas desde então tiveram papel determinante para alçar a indústria do cimento brasileira entre as menos poluentes, se antecipando na busca por um mundo mais sustentável.

O problema atual já não é mais o óleo combustível, que praticamente deixou de ser utilizado. E o carvão mineral não se tornou o seu substituto. Além de o nacional ser de baixíssimo poder calorífico, inadequado, o grau de emissão dessa fonte de energia não recomenda seu uso em grande escala. Contudo, outras fontes alternativas passaram a ser buscadas e utilizadas, como o coprocessamento de resíduos e o maior uso de biomassa.

3. O CIMENTO E A DISCUSSÃO CLIMÁTICA

Nos dias de hoje, felizmente, a questão ambiental já é uma realidade e as mudanças climáticas, suas causas e consequências, têm sido o tema dominante da agenda mundial nos últimos anos. Para a indústria do cimento constitui também uma questão de máxima relevância, uma vez que a emissão de CO₂ é intrínseca ao seu processo produtivo, seja com a transformação química

da matéria-prima em cimento, seja com a queima de combustíveis utilizados para possibilitar essa transformação.

Estudos internacionais apontam que aproximadamente 5% das emissões de CO₂ de origem antrópica no mundo provêm da produção de cimento (no Brasil, esse valor corresponde a 2,6%, de acordo com o último Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, divulgado em 2010 e atualizado em 2013). Por sua vez, a previsão de demanda por cimento, principalmente nas economias emergentes como o Brasil, é de aumentar substancialmente nas próximas décadas, fazendo da gestão de carbono uma questão prioritária para o setor.

O tema também tem ganhado força nos últimos anos no Brasil. No âmbito federal, foi aprovada em 2009 a Política Nacional de Mudanças Climáticas, que estabeleceu compromisso de redução, voluntária, de 36% a 39% das emissões totais brasileiras projetadas para 2020.

A regulamentação desta Política, em 2011, estabeleceu diversos Planos Setoriais, dentre eles o Plano Indústria, com o objetivo de reduzir em 5% as emissões de CO₂ de todo o setor industrial.

Nas esferas estaduais, a discussão climática também tem se capilarizado rapidamente. O Governo de São Paulo, estado mais industrializado do país, por exemplo, sancionou em 2009 sua própria Política Estadual de Mudanças Climáticas, estabelecendo meta de redução de 20% das emissões totais do Estado em 2020, com relação a 2005.

O Estado do Rio de Janeiro, da mesma forma, na sua Política Estadual de Mudança do Clima, definiu uma meta geral de redução na sua intensidade de carbono, isto é, as toneladas de CO₂ por PIB gerado, até 2030, em relação também a 2005, estabelecendo vários compromissos setoriais. Para

o setor industrial, criou a obrigatoriedade de apresentação de um Plano de Mitigação de Emissões na ocasião do licenciamento ambiental.

Até o momento, 14 dos 26 Estados brasileiros já possuem uma Política Estadual de Mudanças Climáticas, sendo três com meta específica de redução (SP, RJ, PB), conforme ilustra a figura 4.

4. PILARES DA SUSTENTABILIDADE

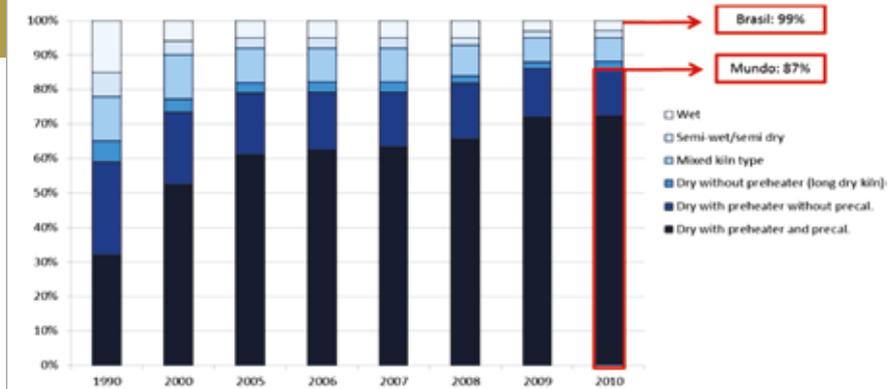
A indústria do cimento brasileira ocupa hoje posição de referência no combate aos gases de efeito estufa, graças a uma série de características do processo produtivo, além de diversas ações adotadas pelo setor, algumas alavancadas a partir da transformação industrial durante a crise do petróleo do final da década de 70, outras mais recentemente. São elas:

4.1 Eficiência energética

O setor no Brasil possui hoje um parque industrial moderno e eficiente, com instalações que operam com baixo consumo energético e, consequentemente, uma menor emissão de CO₂ quando comparado a outros países.

Praticamente todo o cimento no país é produzido por via seca, garantindo significativa diminuição do uso de combustíveis em relação a outros processos menos eficientes. Além disso, pré-aquecedores e pré-calcinadores reaproveitam os gases quentes para pré-aquecer a matéria-prima previamente à entrada do forno, diminuindo ainda mais o consumo de combustíveis. Os fornos via seca com pré-aquecedores, no Brasil, são responsáveis por cerca de 99% da produção de cimento.

Comparativamente, segundo último levantamento da CSI – Cement



► **Figura 5**
Produção de clínquer por tipo de forno (WBCSD/CSI, 2012)

Sustainability Initiative, em escala mundial os fornos via seca com pré-aquecedor (e com ou sem pré-calcinador) representam somente 87%.

4.2 Combustíveis alternativos

Além dos combustíveis tradicionais utilizados pela indústria do cimento, como coque de petróleo, óleo combustível e carvão mineral, é cada vez mais crescente o uso de combustíveis alternativos no Brasil, através do coprocessamento de resíduos e da utilização de biomassa.

A queima de resíduos através do coprocessamento tem aumentado consideravelmente a partir dos anos 2000. Atualmente, são coprocessados pela indústria do cimento no Brasil aproximadamente 1,25 milhão de toneladas de resíduos por ano, representando cerca de 9% da matriz de combustíveis. Contudo, o setor possui um potencial de destruição de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas, o que representa uma alternativa significativa para mitigação das emissões de CO₂, devido aos resíduos apresentarem um menor teor de carbono em relação aos combustíveis fósseis e ao fato dos combustíveis alternativos requerem um menor consumo térmico para sua combustão, além de contribuir com parte do CaO necessário para a produção do clínquer.

No entanto, para alcançar valores

similares àqueles praticados por países desenvolvidos, é preciso uma maior integração entre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Política Nacional de Mudanças Climáticas, bem como superar diversos obstáculos de regulamentação, políticas públicas que não contemplam o coprocessamento como alternativa de destinação de resíduos, conscientização social e ambiental priorizando a valorização energética de resíduos em substituição a combustíveis fósseis não renováveis.

O Brasil também é o país que mais utiliza biomassa na produção de cimento, também conforme levantamento da CSI, com pouco menos de 12% de participação na sua matriz energética.

Essa biomassa é constituída, principalmente, por carvão vegetal e, secundariamente, por resíduos de agricultura como palha de arroz.

4.3 Adições ao clínquer

A indústria nacional tem tradição no uso de cimentos com adições. O aproveitamento de subprodutos de outras atividades e matérias-primas alternativas é realizado há mais de 50 anos no País, prática que só recentemente vem sendo mais adotada em muitos países.

Dispondo de um parque industrial moderno, a indústria de cimento brasileira pôde praticar através de estudos

realizados em centros de pesquisa europeus a produção de cimentos com adições ao clínquer, com materiais como

escórias granuladas de alto forno para a produção de cimento de alto-forno, cinzas volantes, pozolanas artificiais para

a produção de cimento pozolânico eficiente no combate à reações de álcali-agregados, e filler calcário, que além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, uma vez que diminui a produção de clínquer e, consequentemente, a queima de combustíveis e a emissão da descarbonatação.

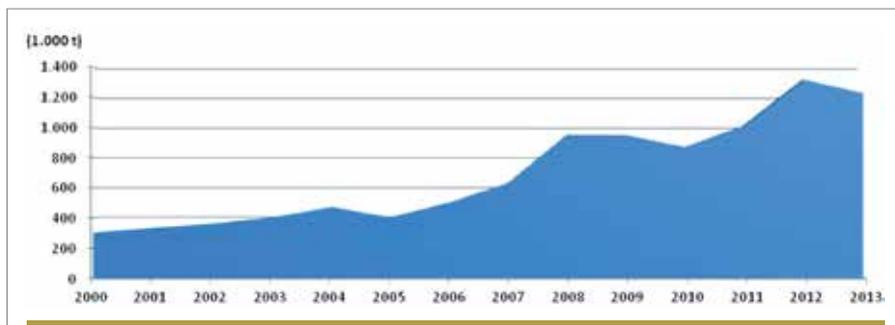
Além disso, os cimentos com adições representam uma solução ambientalmente correta para subprodutos de outros processos produtivos, como escórias siderúrgicas e cinzas de termelétricas. Tudo isso atendendo, acima de tudo, as especificações das Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A crescente utilização de adições no Brasil tem representado uma das mais eficazes medidas de controle e redução das emissões de CO₂ da indústria. O país apresenta a menor relação clínquer/cimento (70%) e, consequentemente, o maior percentual de adições utilizadas, colocando mais uma vez o Brasil como referência internacional na busca por cimentos com menor emissão.

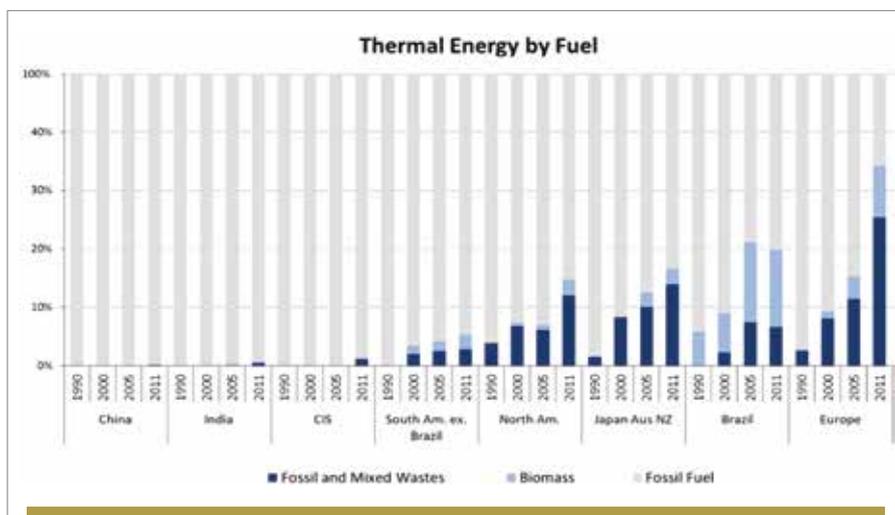
5. DESAFIOS DA INDÚSTRIA DO CIMENTO BRASILEIRA

No caso particular da indústria do cimento brasileira, a conjunção desses pilares ajudou a posicionar o setor entre os mais eficazes no controle de suas emissões, apresentando os menores níveis de CO₂ por tonelada de cimento produzida, segundo o levantamento da CSI.

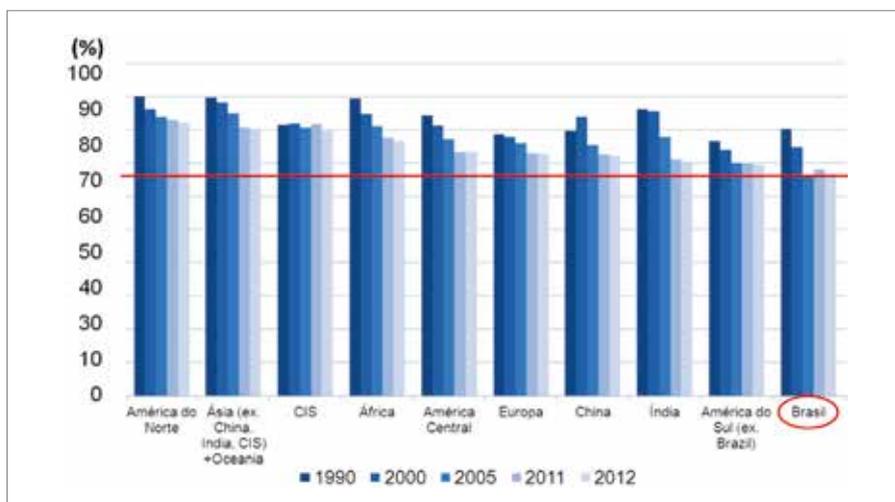
Essa condição diferenciada, entretanto, limita o potencial de redução das emissões do setor, em virtude do grau de excelência já alcançado, como já anteviu o gráfico da Agência Internacional de Energia. Esse desafio, no entanto, representa uma motivação adicional para a indústria do cimento brasileira na busca por alternativas que possibilitem



► **Figura 6**
Evolução dos resíduos coprocessados (ABCP, 2014)



► **Figura 7**
Energia térmica por tipo de combustível (WBCSD/CSI, 2012)



► **Figura 8**
Razão clínquer no cimento (WBCSD/CSI, 2012)



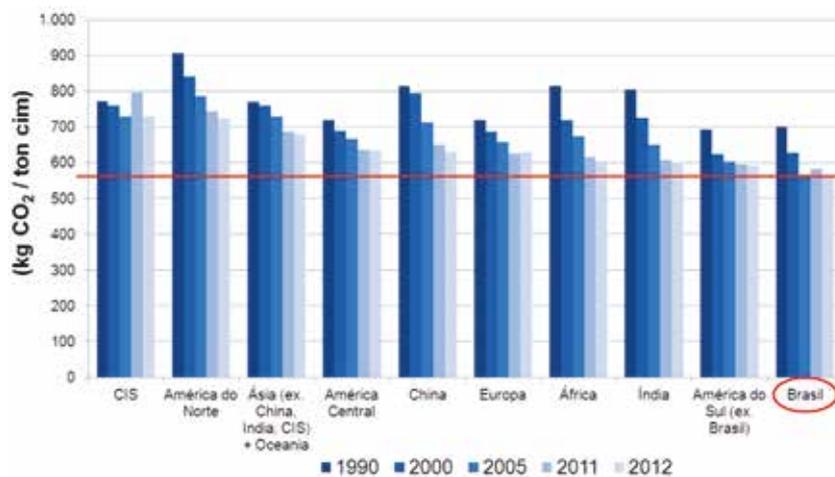
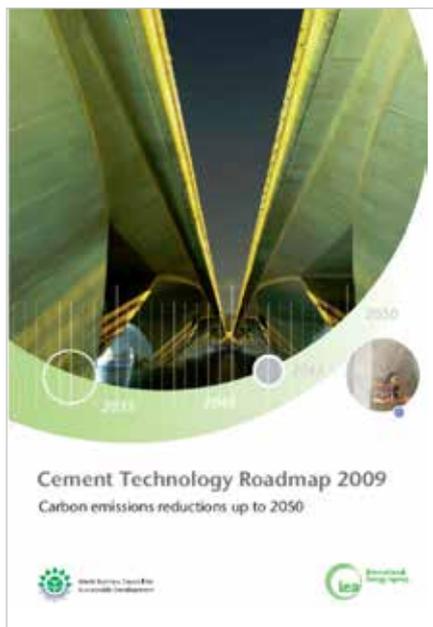
intensificar ainda mais a mitigação de suas emissões.

6. UM OLHAR PARA O FUTURO - THE BRAZILIAN CEMENT TECHNOLOGY ROADMAP

A revolução climática no Brasil fez surgir uma demanda cada vez maior de estudos e projetos governamentais, acadêmicos ou do setor produtivo, correlacionados ao tema, na busca por uma economia de baixo carbono.

A indústria brasileira do cimento, atenta a todos estes esforços e antecipando-se novamente, trabalha na elaboração de um novo projeto, o mapeamento das emissões do setor, projetadas até 2050, e suas respectivas alternativas de redução.

Este trabalho será a versão brasileira do *Cement Technology Roadmap*, estudo



► **Figura 9**
Emissão específica de CO₂ (WBCSD/CSI, 2012)



► **Figura 10**
Potencial de redução de CO₂ da indústria de cimento (IEA, 2009)

global elaborado em 2009 pela *International Energy Agency – IEA*, em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD*, primeiro no mundo a projetar um cenário de redução potencial de emissões de um setor específico em um horizonte até 2050. A exemplo daquele feito recentemente na Índia, o projeto brasileiro também contará com a participação destas duas reconhecidas entidades. A versão nacional do projeto foi

lançado em 12 de setembro de 2014, coordenada pela ABCP e SNIC.

Tudo isso pensando, acima de tudo, no grande desafio da indústria do cimento brasileira, que é atender à crescente demanda por cimento no país para a construção da infraestrutura necessária ao seu desenvolvimento, mantendo as suas já baixas emissões específicas de CO₂, que a colocaram entre as mais eficientes do mundo. 🏗️

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ABCP. (2014). Panorama do Coprocessamento - Brasil ano base 2013 - ABCP.
- [02] IEA. (2009). Energy technology Transitions for Industry - International Energy Agency.
- [03] MME. (2014). Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 / Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro: EPE.
- [04] NESA. (2013). Observatório de Políticas Públicas de Mudanças Climáticas.
- [05] SNIC. (2013). Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - Relatório anual 2013.
- [06] WBCSD/CSI. (2012). Getting the Numbers Right - Cement Sustainability Initiative. Retrieved 02 11, 2015, from <http://www.wbcscement.org>

Sustentabilidade em projeto de estrutura em concreto armado

RAQUEL PETRY BRONDANI – MESTRANDA

GIHAD MOHAMAD – PROFESSOR DOUTOR

GERALDO CEHELLA ISAIA – PROFESSOR DOUTOR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL,
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

I. INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura, a construção civil tem a seu dispor uma ampla variedade de tipologias estruturais de aplicações viáveis nos modelos usuais de edificações de múltiplos pavimentos. Paralelamente a esse aspecto, destaca-se a sustentabilidade, sendo uma premissa a utilização de forma racional dos recursos naturais existentes visando à minimização de impactos ambientais em decorrência da atividade humana. Ainda na etapa de projeto, deve-se estabelecer uma maneira sistematizada de busca pela otimização de resultados, com vistas à extração do máximo potencial dos materiais para a determinação da melhor solução tecnológica.

É de competência e responsabilidade do engenheiro a definição da alternativa ideal frente às opções disponíveis, isto é, aquela capaz de conciliar o desempenho esperado ao menor consumo dos materiais. Não é prática corriqueira a realização de estudos prévios detalhados com foco nas soluções de projeto, posto que as certificações de edifícios e as

normatizações pertinentes compõem um panorama, de certa forma, recente na construção civil brasileira. Seja por conhecimento teórico insuficiente ou falta de experiência, a definição da tipologia da estrutura, frequentemente, se dá apenas de acordo com conhecimentos práticos já adquiridos ou conforme padrões pré-estabelecidos, sem a avaliação comparativa de critérios de consumo.

Faz-se imprescindível a busca constante pelo conhecimento das diferentes tipologias estruturais e suas respectivas peculiaridades por parte dos responsáveis técnicos, assegurando-se o sucesso não apenas na etapa de projeto, mas, inclusive, na posterior execução e nos resultados finais obtidos com vistas à racionalização.

Com base em um dado projeto arquitetônico e se utilizando um software de análise e dimensionamento estrutural, objetiva-se a determinação da melhor solução tecnológica de acordo com critérios de consumo, bem como a elaboração de quantitativos de materiais a serem confrontados entre si para diferentes tipologias

de laje, revelando a importância dessa prática para fins de sustentabilidade.

2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme Nagalli (2012), uma edificação sustentável requer o desenvolvimento de novos parâmetros de avaliação, a revisão de procedimentos adotados, o emprego de insumos alternativos, a qualificação da mão de obra, além de outros tantos aspectos. Tem-se, assim, o desenvolvimento de um cenário em que a construção civil como um todo deve buscar novas alternativas para racionalizar as edificações, desde a elaboração de projetos de qualidade até o manejo e uso sustentável dos bens materiais e humanos disponíveis à atividade.

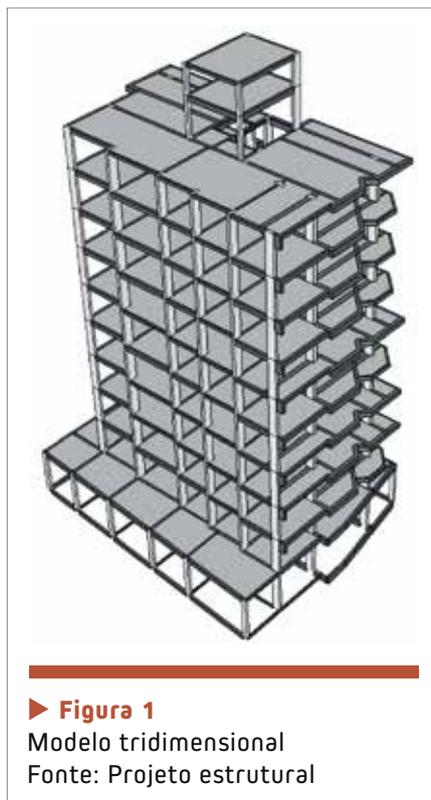
A esse respeito, MacAskill e Guthrie (2013) afirmam que, de forma simplificada, a avaliação da sustentabilidade inicia-se pela seleção de indicadores; na sequência, definem-se metas a serem atingidas de forma satisfatória; então, faz-se a coleta e a posterior análise dos dados; por fim, calcula-se a sustentabilidade

com base em uma combinação dos critérios previamente estabelecidos.

Weisenberger (2011) complementa essa afirmação ao relatar que a obtenção de uma estrutura sustentável não requer apenas a seleção de materiais, fazendo-se necessário o uso racional em dada finalidade, o que é possibilitado pela otimização já na etapa de projeto. O autor ainda afirma que um engenheiro de estruturas sustentáveis é um engenheiro estrutural capaz de considerar todos os aspectos do projeto relacionados à estrutura. Isto é, precisa de uma visão global da edificação desde as etapas iniciais de concepção estrutural.

Nesse contexto, a racionalização constitui um princípio que pode ser aplicado a qualquer método ou sistema construtivo. Entretanto, a maior parte das medidas deve ser empregada na fase de projeto, pois, de acordo com Melhado (1994), é nessa etapa que há maiores implicações no que diz respeito a dimensões, especificações e detalhes a serem incorporados à estrutura. Gagnon, Leduc e Savard (2012) sintetizam os diferenciais de um projeto voltado à sustentabilidade ao enumerar os seguintes aspectos: a estruturação do processo de projeto, as questões referentes à sustentabilidade consideradas, a relevância dos indicadores de projeto, a precisão da avaliação dos indicadores, as melhorias esperadas pelas soluções alternativas em relação às soluções convencionais e a tomada de decisão em si.

Sendo assim, evidencia-se a importância da etapa de projeto na busca pela racionalização. Dessa forma, o desenvolvimento de projetos com foco na sustentabilidade requer a integração de diversos crité-



► **Figura 1**
Modelo tridimensional
Fonte: Projeto estrutural

rios técnicos previamente definidos, utilizando-se ferramentas que permitem a avaliação e a determinação da solução ótima para cada estrutura.

3. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O presente trabalho consiste em um estudo de caso com base em um projeto arquitetônico de uma edificação residencial multifamiliar, originalmente concebida para execução com a tipologia estrutural de lajes maciças de concreto armado. Em termos gerais, totalizam-se doze pavimentos, sendo eles: subsolo, térreo, três pavimentos-tipo (2º pav.; 3º, 4º, 6º pav. iguais e 5º, 7º, 8º, 9º pav. iguais), cobertura e reservatório. Os pavimentos-tipo contêm doze unidades autônomas, o subsolo e o térreo são destinados ao estacionamento, a cobertura ao abrigo da casa de máquinas, do terraço e da saída de emergência e, por fim, no pavimento reservatório, tem-se a caixa da água, perfazendo uma área

construída total de 2180,25 m². Para fins ilustrativos, as Figuras 1 e 2 representam o modelo tridimensional da edificação e a planta de formas de um pavimento-tipo.

4. METODOLOGIA

4.1 Pré-dimensionamento

Utilizando-se um software de análise e dimensionamento estrutural, foram alocados os pilares nos pavimentos-tipo e, na sequência, verificou-se a adequação nos pavimentos térreo e subsolo, com vistas ao melhor aproveitamento de espaços e à preservação das condições estéticas impostas pelo projeto arquitetônico. Na etapa seguinte, foram lançadas as vigas e, então, as lajes. Para as estruturas em concreto, adotou-se classe de resistência C25.

Inicialmente, na etapa de pré-dimensionamento, as dimensões dos pilares foram estimadas em 20 x 60 cm. Para as vigas, as dimensões das bases foram determinadas conforme a espessura das paredes e as alturas de acordo com a relação usual vão/10 a vão/12. Por fim, o pré-dimensionamento dos elementos de lajes foi feito especificamente conforme cada tipologia:

- a) **Lajes maciças de concreto armado:** espessuras variadas entre 10, 12 e 13 cm conforme as ações atuantes na estrutura;
- b) **Lajes nervuradas:** lajes bidirecionais, enchimento tipo “EPS Painel B12/40/40”, elementos de dimensões $h_b=12\text{cm}$, $b_x=40\text{cm}$ e $b_y=40\text{cm}$, associados a uma capa de concreto inicialmente estimada em $e_c = 4\text{ cm}$, que perfaz uma espessura total de 16 cm;

Além das normas acima referenciadas, o presente trabalho segue as diretrizes da NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Os requisitos referentes à estrutura constantes na NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho também foram avaliados. Cabe ressaltar que a versão do software utilizado não dispunha do módulo “incêndio”, sendo utilizado, portanto, o método tabular para verificações dimensionais dos elementos de laje, conforme prescrições da NBR 15200:2012 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

4.3 Simplificações

Certas simplificações foram adotadas com o intuito de facilitar o lançamento dos modelos estruturais, evidentemente, sem prejudicar o cálculo e o desempenho estrutural. O carregamento das escadas foi estimado em 1000 kgf/m, descarregados em cada uma das vigas em que as mesmas se apoiam. Além disso, a rampa de acesso ao subsolo não foi lançada no projeto estrutural, no entanto, para sua contabilização, foram calculadas as respectivas cargas, as quais foram aplicadas nos modelos.

4.4 Análise estrutural

No software, após a completa definição dos parâmetros descritos, os modelos estruturais de cada tipologia de laje foram processados, utilizando-se o método de pavimentos isolados, no qual, pavimento a pavimento, são montados pequenos pórticos para o dimensionamento dos elementos estruturais, sendo as reações obtidas nos pavimentos su-

periores aplicadas na forma de ações no topo dos pavimentos inferiores. Optou-se por esse tipo de processamento nas etapas iniciais por se tratar de um modelo simplificado que requer menor tempo de análise, facilitando o refinamento das dimensões previamente estimadas na etapa de pré-dimensionamento.

Na sequência, as estruturas foram processadas pelo método de pórtico espacial, um modelo tridimensional que permite análises bastante precisas. Inicialmente, são calculadas as lajes e suas reações são transferidas às vigas nas quais estão apoiadas; a estrutura de pórtico é processada e as solicitações são utilizadas no detalhamento dos elementos estruturais básicos – lajes, vigas e pilares. São considerados os carregamentos verticais e horizontais, bem como deslocamentos horizontais, estabilidade global, não linearidade e imperfeições geométricas. Trata-se, portanto, de um modelo bem mais complexo, que requer um tempo de processamento maior, justificando sua utilização apenas nas etapas mais avançadas. Em um mesmo modelo, foram realizados sucessivos processamentos de forma iterativa, sendo o resultado de cada processamento utilizado como base para o processamento seguinte. Pavimento a pavimento, elemento a elemento, buscou-se a redução máxima das seções para a obtenção de um modelo racionalizado passível de comparações com os demais de acordo com o critério de sustentabilidade estabelecido. A cada novo processamento, diferentes seções de diferentes elementos estruturais apresentavam dimensões insuficientes, exigindo redimensionamento, ao passo que outras permitiam a redução desses valores

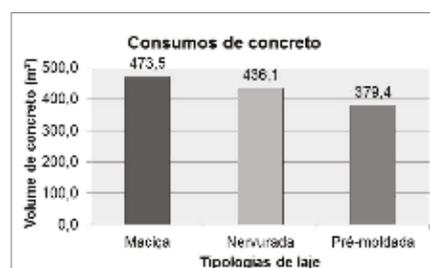
devido às novas condições de distribuição de esforços criadas. Após o término de um dado processamento, a não ocorrência de erro nas dimensões, de acordo com os critérios anteriores, definiu o fim da análise estrutural da edificação.

A etapa seguinte consistiu na extração dos relatórios de consumo de materiais. Finalmente, pode-se quantificar o concreto, o aço e as fôrmas necessários à execução de lajes, vigas e pilares. Com base nesses aspectos, pode-se, portanto, determinar a tipologia de laje que, comparativamente, é a mais sustentável.

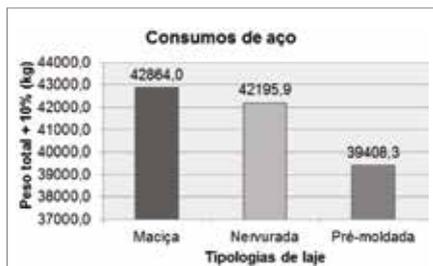
5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Diante do acima exposto, procedeu-se à análise das opções disponíveis para verificação da melhor solução de projeto. Conforme já citado anteriormente, para a situação específica desse estudo de caso, pretende-se definir a tipologia mais sustentável, avaliando-se os resultados obtidos na etapa de projeto estrutural, de acordo com o critério do menor consumo de materiais.

Os relatórios de processamento gerados pelo software expressam a quantificação dos materiais necessários à execução dos elementos estruturais básicos. Os resultados



► **Figura 3**
Consumos de concreto por tipologia estrutural – Fonte: os autores



► **Figura 4**
Consumos de aço por tipologia estrutural – Fonte: os autores

obtidos estão apresentados nas Figuras 3, 4 e 5.

Para o presente estudo de caso, definiu-se que a busca pela sustentabilidade estava fundamentada na etapa de projeto estrutural e nos menores consumos de concreto, aço e fôrmas para a posterior execução de lajes, vigas e pilares. Ao examinar de forma comparativa os resultados obtidos, nota-se, para os três materiais em análise, a mesma tendência: a tipologia de lajes pré-moldadas apresenta os menores consumos, seguida pelas nervuradas e, por fim, pelas maciças de concreto armado. Portanto, em função dos critérios definidos, a solução tecnológica mais sustentável é a de lajes pré-moldadas.

Comparativamente, os extremos de consumo (lajes pré-moldadas e maciças) apresentam diferenças que atingem os patamares de 20% para o concreto, 8% para o aço e 24% para as fôrmas, sendo a tipologia de lajes

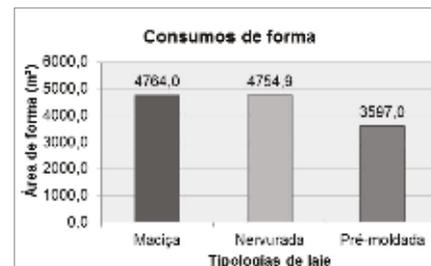
maciças, contraditoriamente, a escolhida para o dimensionamento na situação real de projeto.

Contudo, é importante ressaltar ainda que as lajes nervuradas e pré-moldadas requerem blocos de enchimento, respectivamente, 5953 unidades de “EPS Painel B12/40/40” e 18829 unidades de “Lajotas Cerâmicas B8/25/20”.

Quando se tem um objetivo de avaliação mais abrangente que extrapole os elementos estruturais que requerem concreto, aço e fôrmas, resultados complementares, como os blocos de enchimento, também podem ser decisivos. Sendo assim, na decisão final em uma situação real de projeto, os parâmetros de interesse para a avaliação da sustentabilidade podem ser alterados conforme necessidade.

6. CONCLUSÕES

A sustentabilidade na engenharia civil engloba uma série de procedimentos em que se busca o uso racional dos recursos para mitigação dos impactos ambientais. Uma visão global da edificação é fundamental, desde as etapas iniciais de concepção estrutural, visto que é na etapa de projeto que são realizadas as análises para cada solução tecnológica em estudo, permitindo a avaliação prévia de resultados de acordo com critérios de interesse.



► **Figura 5**
Consumos de fôrma por tipologia estrutural – Fonte: os autores

Para o presente estudo de caso, com base em um comparativo direto, a tipologia de lajes pré-moldadas apresentou os menores consumos de materiais, seguida pelas lajes nervuradas e maciças de concreto armado. Os extremos de consumo apresentaram uma diferença de 20% para o concreto, 8% para o aço e 24% para as fôrmas, evidenciando a importância do projeto estrutural na busca pela sustentabilidade.

Além da avaliação comparativa dos quantitativos de materiais, é sabido que, para uma análise mais ampla da sustentabilidade, podem ser abordados outros parâmetros auxiliares à tomada de decisão, tais como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), como metodologia de análise do impacto ambiental gerado, e Custo do Ciclo de Vida (CCV), para fins de avaliação dos aspectos econômicos de dada alternativa. ◀

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] GAGNON, B.; LEDUC, R.; SAVARD, L. From a conventional to a sustainable engineering design process: different shades of sustainability. *Journal of Engineering Design*, v. 23, n. 1, p. 49-74, jan. 2012.
- [02] MACASKILL, K.; GUTHRIE, P. Risk-based approaches to sustainability in civil engineering. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers – Engineering Sustainability*, v. 166, n. ES4, p. 181-190, ago. 2013.
- [03] MELHADO, S. B. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. 1994. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- [04] NAGALLI, A. Comparativo técnico e econômico entre obras comerciais com características sustentáveis e convencionais. *Téchne*, São Paulo, ed. 179, p. 60-63, fev. 2012.
- [05] WEISENBERGER, G. Sustainability and the Structural Engineer. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, v. 16, p. 146-150, 2011.



Inscrições abertas para ‘startups’ da construção civil em Concurso de Inovação

“Startups” de todo mundo têm a chance de ganhar projeção internacional e de firmar parcerias de negócios com um dos grupos multinacionais de construção civil, líder em seu segmento de materiais de construção de alto desempenho. É o que promete o Concurso NOVA de Inovação, promovido pela Saint-Gobain, que objetiva reconhecer as mais inovadoras “startup” da construção civil, meio ambiente, desenvolvedoras de materiais avançados, de eficiência energética e de sustentabilidade.

O termo “startup” significa iniciar uma empresa e colocá-la em funcionamento, na língua inglesa. Depois da bolha da internet, entre 1996 e 2001, o termo popularizou-se, passando a significar uma empresa recém-criada, embrionária ou em fase de constituição, com projetos diferentes, inovadores e promissores, que podem gerar oportunidades de negócios.

Lançada oficialmente em Xangai, na China, a quinta edição da premiação celebra o 350º aniversário da Saint-Gobain e está com as inscrições abertas até 19 de junho.

“A Saint-Gobain tem grande interesse em trabalhar com ‘startups’ porque acreditamos que elas dão origem a muitas iniciativas inovadoras que podem ser aplicadas no mercado. Ao entrar no concurso, a ‘startup’ tem



a oportunidade de ser avaliada por equipes da Saint-Gobain e, quando houver interesse mútuo, trabalhar em conjunto com a empresa em oportunidades de negócios potencialmente significativas. Graças à competição, os finalistas e vencedores também podem desfrutar de ampla exposição pública, explicou Didier Roux, diretor de Pesquisa e Inovação do Grupo Saint-Gobain.

A NOVA é a equipe da Saint-Gobain encarregada de identificar e avaliar a criação de empresas, com o objetivo de fazer parcerias mutuamente benéficas e de longo prazo com as atividades do Grupo. Desde que foi criada, em 2006, mais de 2600 ‘startups’ foram selecionadas e mais de 65 parcerias foram firmadas.

Um júri composto por funcionários da NOVA examinará todas as inscrições, num processo de seleção aberto e transparente, e escolherá oito finalistas, que apresentarão suas inovações perante um painel de líderes empresa-

rias da Saint-Gobain, durante a Conferência Greenbuild Internacional & Expo, que acontece nos dias 18 e 19 de novembro, em Washington, nos Estados Unidos.

Para Paul Houang, diretor do Centro de P&D da Saint-Gobain no Brasil, “essa é uma excelente oportunidade para as ‘startups’ brasileiras entrarem em contato com a Saint-Gobain e apresentarem seus projetos. Além do prêmio, a exposição internacional poderá proporcionar uma grande alavanca de crescimento a essas empresas inovadoras”.

Três prêmios serão concedidos: ao primeiro colocado, no valor de 50 mil dólares; ao segundo, no valor de 25 mil dólares; e ao terceiro, no valor de 15 mil dólares. Um prêmio adicional de 10 mil dólares será dado a um dos oito finalistas selecionados pelo voto dos colaboradores da Saint-Gobain. Além do patrocínio financeiro, a empresa vai avaliar todos os finalistas com o objetivo de estabelecer parcerias em P&D, comerciais, de distribuição e de fabricação, ou na forma de participação societárias.

Para se inscrever e obter mais informações: www.nova-saint-gobain.com.

Concreto drenante e a sustentabilidade

RICARDO PIERALISI • ANTONIO AGUADO DE CEA

SERGIO HENRIQUE PIALARISSI CAVALARO • IGNACIO SEGURA PÉREZ

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA – BARCELONA, ESPANHA

MARCELO HENRIQUE FARIAS DE MEDEIROS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR) – PARANÁ, BRASIL

I. INTRODUÇÃO

A concepção de um concreto com baixo teor de cimento e elevada porosidade interconectada foi desenvolvido e aplicado no Reino Unido, nos meados dos anos 50. Nesse período, a demanda para construção de habitações era alta, a mão de obra qualificada apresentava-se em baixa, assim como a disposição financeira do governo e da população. O concreto permeável de cimento Portland (CPCP) dessa época recebia o nome de *'no-fines concrete'* (NFC) e era empregado na construção de casas, representando uma economia de cimento e uma construção rápida e fácil. Portanto, em um primeiro momento sua característica principal era estrutural.

Utilizava-se o NFC na construção de paredes de até 7,5 m de altura e 18 m de comprimento, elementos com essa característica apresentavam uma espessura de 250 mm e na face externa um revestimento de 20 mm de argamassa. Na Figura 1, pode ser observado um testemunho de NFC [1] extraído da parede de uma casa construída na década de 50, onde está representada tanto a parte de NFC quanto a de argamassa em contato com o exterior da casa. Além das características anteriormente discu-

tidas, essas paredes apresentam uma baixa condutividade térmica, trabalhando como um isolante térmico entre o exterior e o interior da habitação.

Posteriormente, no final dos anos 80, esse concreto especial foi novamente tema de estudos e aplicações, agora com o nome comercial de *'pervious concrete'* ou *'porous concrete'*. Entretanto, sua aplicação não apresentava mais caráter estrutural, por não ser competitivo frente aos novos tipos de concreto. Nesse momento, sua característica de transporte de líquidos (permeabilidade) era o principal objeto de estudos, sendo empregado principalmente em pavimentos de baixo carregamento, estacionamento e calçadas. O uso desse material representa uma redução significativa no custo de implantação de redes para captação de água pluvial, evita a incidência de inundações, assim como, a formação de espelhos d'água.

De acordo com as filosofias de dosagem mais tradicionais, a obtenção de um concreto permeável de cimento Portland (CPCP) se dá mediante a redução do conteúdo de materiais finos utilizados. Nesse sentido, praticamente se elimina a incorporação da fração granulométrica correspondente as areias e adições e se reduz a quantidade de pasta ao mínimo



► **Figura 1**
Testemunho de NFC extraído de uma casa [1]

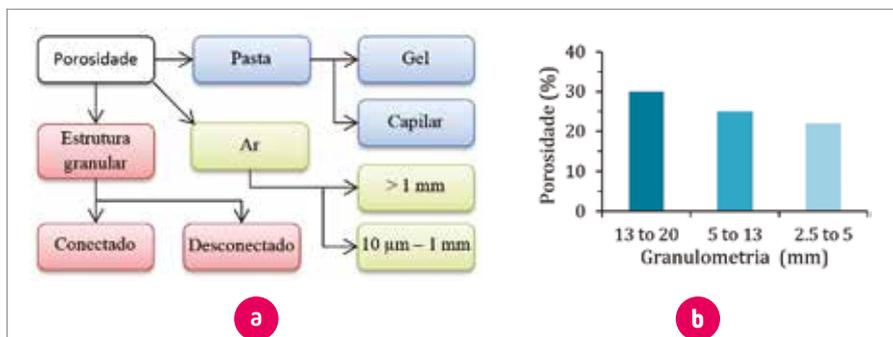
necessário para envolver os grãos de agregado graúdo. Essa mistura dá lugar a um material altamente poroso, com uma elevada permeabilidade, baixo peso específico (na ordem de 1600 a 2100 kg/m³), além de um bom comportamento como isolante térmico/acústico. No entanto, a redução da compacidade e dos contatos entre grãos também acarreta em uma significativa perda das resistências mecânicas.

2. PROPRIEDADES DO CPCP

2.1 Porosidade

A principal característica apresentada por esse concreto especial é sua elevada porosidade, que pode ser usada aplicando-o na redução de problemas





► **Figura 2**
Tipos de poros apresentados pelo CPCP (a) e relação porosidade-granulometria (b)

ambientais, como inundações. Em geral, essa porosidade varia em torno de 15 – 30% do volume do concreto e pode ser dividida em três tipos: poros da pasta; ar retido; e poros da estrutura granular, como apresentado na Figura 2(a). A porosidade apresentada pela pasta é muito pequena ($< 15 \mu\text{m}$) e não é definida como importante para o CPCP. O mesmo ocorre com os poros originados por ar retido, entretanto podem existir poros desta formação maiores que 1 mm, mas geralmente não são conectados aos outros. A estrutura formada pelo arranjo dos agregados e aliada a uma baixa quantidade de finos apresenta uma grande quantidade de poros, sendo o principal responsável pela permeabilidade característica do CPCP.

Dependendo da curva granulométrica, da quantidade de pasta e da compactação, esses poros podem apresentar-se conectados ou desconectados. Na Figura 2(b) é apresentado um gráfico que relaciona a porosidade (%) com a faixa granulométrica, considerando uma mesma quantidade de pasta e mesma compactação. Observa-se também nesse estudo que a granulometria 13 - 20 mm apresenta uma porosidade de 30 %, a 5 – 13 mm na ordem de 25 % e a 2,5 – 5 mm

de 20 %. Sendo assim, pode-se afirmar que utilizando uma granulometria formada por agregados de maior diâmetro, obtém-se um CPCP com maior porosidade.

2.2 Permeabilidade

Como sugere a Figura 3, a permeabilidade à água elevada é uma característica intrínseca do CPCP e está diretamente relacionada com a conectividade dos poros. Portanto, um ensaio de permeabilidade à água pode ser considerado uma maneira de medir indiretamente o quão conectados são os poros de um CPCP. Entende-se [2] que

um CPCP com permeabilidade na faixa de 15 a 40 mm/s não deve apresentar características estruturais e na faixa de 1 a 10 mm/s são concretos com melhores desempenhos estruturais. Em geral, são aceitos como concretos permeáveis para diversas aplicações os que apresentam permeabilidade na ordem de 5 a 20 mm/s. A permeabilidade à água é função da forma do agregado, da curva granulométrica, da dimensão máxima característica do agregado graúdo, da quantidade de pasta e do nível de compactação aplicado.

Para uma avaliação aproximada da permeabilidade, em campo, se utiliza o método definido pela ASTM C1701/C (2009) [3], o qual utiliza o princípio do permeâmetro de carga variável. Esse princípio avalia o tempo necessário para o material absorver um volume específico de água. O processo de ensaio, utiliza um tubo de PVC (com diâmetro definido dependendo do material poroso) em contato direto com a superfície do pavimento, sendo que a região de contato entre o tubo e o pavimento deve ser vedada para limitar a região de infiltração de água. Por outro lado, para uma medição da permeabilidade em laboratório (seja por corpos de provas moldados ou por testemunhos



► **Figura 3**
Permeabilidade do concreto permeável

extraídos de pavimentos), a ACI 522 [4] recomenda a utilização de permeâmetros de carga variável (avalia o tempo necessário para um volume de água definido permear pelo CPCP) e carga constante (avalia o volume de água que passa através do CPCP em um determinado tempo).

2.3 Densidade

Esse tipo de concreto também pode ser considerado como um concreto leve, devido à sua elevada porosidade. Na literatura, pode ser encontrado que a densidade do CPCP varia de 1600 a 2100 kg/m³. Além do mais, a densidade está diretamente ligada à permeabilidade e à resistência à compressão:

- ▶ Elevada densidade gera um CPCP com alta resistência à compressão, porém com baixa permeabilidade de água dentro da faixa do CPCP;
- ▶ Baixa densidade gera um CPCP com resistência à compressão reduzida e elevada permeabilidade à água.

Isso torna evidente a necessidade de considerar cada aplicação para o CPCP que se pretende dosar, considerando a permeabilidade, resistência e densidade necessária para o cumprimento das funções de cada projeto.

2.4 Fluidez

Ao longo dos anos, os problemas relacionados com a trabalhabilidade e o concreto vêm sendo exaustivamente pesquisados e discutidos. Com isso, concretos convencionais com alta fluidez são plenamente possíveis e utilizados nos dias atuais. Entretanto, os estudos do CPCP estão um passo atrás, apresentando em geral uma trabalhabilidade muito baixa com “slump” quase zero. Isso se deve principalmente à característica granulométrica deste concreto. Na tecnologia do concreto autoadensável, a fluidez elevada é conseguida com o uso de aditivos superplastificantes e a quantidade de finos é elevada para reduzir a segregação, evitando que o agregado graúdo se concentre na parte de baixo das peças. A exsudação também é prevenida com a elevação do teor de finos, que dificulta a separação da água da mistura e seu afloramento na superfície das peças de concreto. Para o CPCP, o reduzido teor de finos é uma característica do material, o que dificulta sobremaneira a obtenção de alta fluidez com a simples incorporação de aditivo superplastificante.

Todavia, pesquisadores como Bhutta et al. [5] investigam como aumentar a fluidez do CPCP. Em seus trabalhos,

é apresentado um CPCP com propriedades melhoradas, denominado ‘*High Performance Porous Concrete*’ (HPPC). Os pesquisadores obtêm esta característica utilizando aditivos superplastificantes e agentes coesivos, elevando a fluidez medida pelo ‘*slump test*’ quando comparado com o CPCP convencional, como pode ser observado na Figura 4.

2.5 Características mecânicas

A ASTM C39 (2009) [6] define que a resistência mínima à compressão para um CPCP é de 2 MPa. No entanto, a literatura atual apresenta CPCPs com resistência à compressão na faixa de 5 a 30 MPa. Sendo que ensaios realizados nos laboratórios da Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) apresentaram resistências maiores que 30 Mpa, chegando a 50 MPa. Entretanto, deve-se ressaltar que a NBR 9781 [7] exige que, em caso de utilização de pavimentos intertravados, a resistência mínima deve ser de 35 MPa para ser utilizados em estacionamentos e vias de carros leves. Vale salientar que no Brasil ainda não existe uma norma específica para pavimentos permeáveis de concreto, porém, atualmente está em atividade o CE 18:600.10 - Comissão de Estudo de Pavimento Permeável do ABNT/CB18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, cujo Coordenador é o Engenheiro Cláudio Oliveira, da ABCP (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Esta comissão já produziu um texto de norma que está sendo aprimorado e a previsão de esta norma entrar em vigor 2015, sendo configurado um avanço nacional sobre este tema.

O uso de aditivos e adições, como fibras de polipropileno, são alternativas bastante utilizadas para o aumento das propriedades mecânicas do CPCP.



▶ **Figura 4**
'Slump test' de uma amostra de CPCP e de HPPC

Nos estudos de Aguado et al. [8], foi apresentado um importante incremento de resistência com a utilização de polímeros na dosagem do CPCP e alguns estudos da utilização do látex [9] mostra um acréscimo de resistência à compressão de quase 50% para concretos permeáveis de baixa resistência.

Devido à elevada porosidade, a resistência à tração deste tipo de material é relativamente mais baixa que a de um concreto convencional. Entretanto, com o uso apropriado de aditivos e adições no CPCP, pode-se alcançar valores de até 5 MPa de resistência à tração por compressão diametral.

2.6 Características térmicas

Devido à elevada porosidade interconectada, o CPCP apresenta uma condutividade térmica (0,7 – 1,7 W/m·K) inferior ao concreto convencional (> 2,0 W/m·K). Quando o elemento de CPCP permite a passagem de ar, apresenta uma condutividade térmica mais baixa, devido ao efeito de convecção entre o ar e o concreto. Com essa característica, pode ser aplicado como um isolante térmico em fachadas (sem apresentar características estruturais) e também no interior de paredes-sanduíche. Além do mais, quando utilizando em pavimentos atua diretamente na redução da temperatura das cidades, diminuindo o efeito conhecido como ilha de calor (*'urban heat island'*).

3. MATERIAIS

3.1 Cimento, aditivos e adições

Devido às aplicações do CPCP, o mesmo está constantemente em contato com agentes agressivos externos e, com essas condições, torna-se necessário o uso de um cimento Portland resistente a

danos térmicos, lixiviação, descalcificação e outros. Materiais cimentantes complementares, como a sílica ativa, cinzas volantes e metacaulim, podem ser usados em conjunto com o cimento Portland para aumentar a durabilidade do CPCP, bem como suas características.

O uso de aditivos químicos para CPCP vem sendo exaustivamente estudado: como comentado na seção anterior, utiliza-se aditivos principalmente para melhorar a trabalhabilidade e a resistência desse material. As adições são estudadas como maneira alternativa de diminuir a quantidade de cimento (visando tanto aspectos ambientais quanto econômicos) e também para melhorar a resistência mecânica da matriz.

3.2 Agregados

Os agregados utilizados em concretos podem ser divididos em duas frações: fina e grossa. Essas duas frações atuam de maneira diferente no CPCP. Normalmente, a fração fina é descartada ou quase descartada para reduzir o teor de argamassa, de modo a deixar espaços vazios, elevando a permeabilidade do material. Quando a utilização final do CPCP visa uma maior resistência e trata a permeabilidade como requisito secundário, pode-se manter uma parte da fração fina do agregado. Uma maneira de diminuir a perda da permeabilidade quando se utiliza a fração fina na dosagem é reduzir a relação cimento/agregado, ou seja, substituir parte do aglomerante por areia.

Entretanto, como argumentado anteriormente, é mais comum, ao trabalhar com um CPCP, descartar a fração fina da curva granulométrica. Com o uso somente da fração grossa e com uma quantidade apropriada de pasta, o concreto resultante apresentará uma

matriz estrutural mais aberta e mais permeável. Tennis et al. [10] sugerem o emprego de curvas granulométricas entre 3,75 – 19 mm, sendo que as experiências dos autores mostram uma excelente resposta ao utilizar granulometrias de 2 – 5 mm e de 5 – 8 mm. Sugere-se também que, na fabricação do CPCP, o uso de uma granulometria descontínua permite ao material uma melhor capacidade de drenagem (maior coeficiente de permeabilidade)

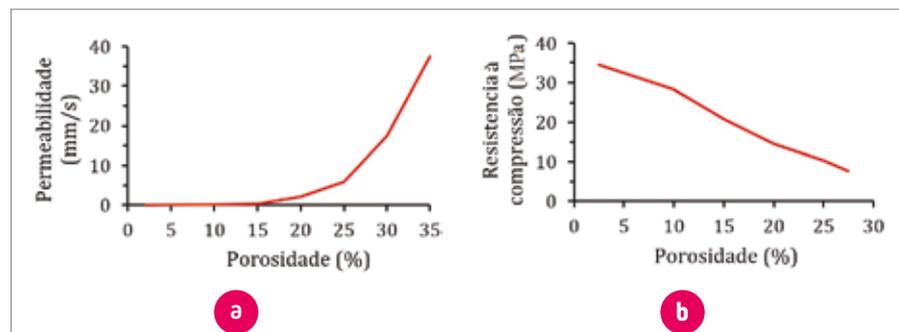
Além de agregados convencionais, o uso de agregados reciclados também vem sendo objeto de estudos, tanto para reduzir ainda mais os impactos ambientais quanto para utilizar como filtros de águas-cinza. Ao empregar agregados reciclados, obtém-se um acréscimo da permeabilidade, porém as propriedades mecânicas tendem a diminuir com o aumento da relação de uso do agregado reciclado.

3.3 Água

Quanto ao papel da água nas misturas de concreto [5] observa-se uma importância no empacotamento das partículas devido a sua propriedade lubrificante. Sendo que, no caso de um CPCP, a relação a/c varia de 0,25 – 0,35, evitando-se a segregação e proporcionando a devida conexão da pasta (desenvolvendo o papel de agente de conexão de partículas de agregados graúdos). O controle de qualidade da água é de extrema importância e os requisitos são os mesmos definidos para o concreto convencional.

4. DOSAGEM

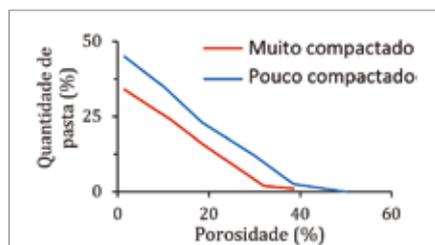
O apêndice 6 da ACI 211.3R-02 [11] apresenta um método para dosar um CPCP com *'slump'* zero. Esse método é baseado nas propriedades do



► **Figura 5**
Relação entre porosidade e permeabilidade (a) e porosidade e resistência à compressão (b)

CPCP, onde, em um primeiro momento, se deve eleger a permeabilidade ou a resistência à compressão desejada. A Figura 5(a) mostra uma curva típica que relaciona a porosidade com um valor de permeabilidade e a Figura 5(b) apresenta uma curva típica que relaciona a resistência à compressão com a porosidade, ambas definidas pela ACI 211.3R-02 para um tipo determinado de agregado.

Na sequência do método de dosagem, se deve relacionar a porosidade retirada dos gráficos anteriores com a quantidade de pasta (Figura 6). Nessa mesma figura, pode-se observar a existência de duas curvas, representando os limites de compactação (pouco e muito compactado). Para obter uma mesma porcentagem de poros, um CPCP muito compactado necessita de menos cimento quando comparado com um mesmo material com baixo nível de compactação.



► **Figura 6**
Relação entre quantidade de pasta e porosidade

O último passo do método é definir a relação a/c e, como exposto anteriormente, deve-se trabalhar na faixa de 0,25 – 0,35, sendo que a quantidade de água deve ser rigorosamente controlada [6]. A Figura 7 apresenta três diferentes imagens de um mesmo CPCP com diferentes quantidades de água. Pode-se observar na Figura 7(a), que quando a relação a/c é deficiente, os agregados não se aderem uns aos outros. Por outro lado, a Figura 7(b) apresenta um CPCP com a quantidade de água adequado (observa-se que, ao amassar o concreto fresco nas mãos, o mesmo fica com suas partículas aderidas entre si sem segregação). Já a Figura 7(c) mostra um CPCP com excesso de água, onde a pasta escorre sobre as partículas e favorece a segregação, podendo inclusive formar um concreto de baixa permeabilidade.



► **Figura 7**
CPCP em estado fresco: baixa relação a/c (a); adequada relação a/c (b) e alta relação a/c (c) [6]

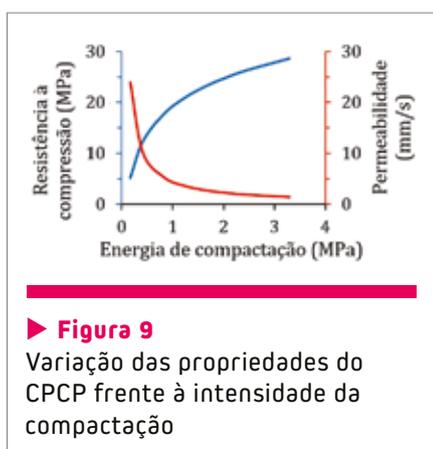
5. EFEITO DA COMPACTAÇÃO

O CPCP pode ter sua compactação executada de diferentes maneiras, como por meio de rolo compactador (incremento de carga axial), por rolo vibrador compactador (incremento de carga axial com vibrações horizontais) e por sapo (carga axial dinâmica), como observado na Figura 8. Sendo que cada tipo de compactação apresenta diferentes resultados e com eficiências também diferentes. Geralmente, emprega-se a compactação via rolo compactador, por ser menos suscetível a segregar, que pode diminuir tanto a resistência mecânica quanto à permeabilidade.

A intensidade da compactação aplicada sobre o CPCP modifica bastante suas propriedades finais. Como discutido previamente, a principal característica desse concreto especial é sua propriedade de transporte de líquidos, facilitado por sua estrutura porosa interconectada. A Figura 9 apresenta uma curva, onde são correlacionadas a permeabilidade e a resistência à compressão com o aumento da energia de compactação. A curva vermelha representa a evolução da permeabilidade e, como esperado, o acréscimo da energia de compactação ocasiona uma redução considerável na permeabilidade. Além do mais, uma elevada intensidade de compactação pode inclusive levar a uma perda bastante



► **Figura 8**
Rolo compactador (a) e sapo compactador (b)



► **Figura 9**
Variação das propriedades do CPCP frente à intensidade da compactação

elevada da permeabilidade. Além disso, uma compactação mal aplicada pode ocasionar um mesmo resultado devido a segregação da pasta.

Por outro lado, a curva azul representa a evolução da resistência à compressão com o acréscimo da energia de compactação aplicada. Com essa curva, pode-se observar, diferente do que ocorre com a permeabilidade, que a resistência à compressão aumenta com o incremento da compactação. Isso se deve à redução da porosidade e aproximação dos agregados.

6. CAMPO DE APLICAÇÃO DO CPCP

A característica de drenagem faz desse concreto um material interessante pelo ponto de vista de sustentabilidade, sua aplicação sendo inclusive contada como créditos no sis-

tema LEED (*'Leadership in energy and Environmental Design'*), baseando-se na possibilidade de incorporação de agregados reciclados, seu efeito de redução no aquecimento das cidades e manutenção da permeabilidade do solo. Comparado aos concretos convencionais, o CPCP possibilita uma melhor drenagem de águas pluviais, recarregando os lençóis freáticos. Além disso, existe a possibilidade de aplicar esse material para a purificação e tratamento de águas residuais e contaminadas.

O CPCP apresenta uma diversidade de aplicações, com o denominador comum de sua capacidade de drenagem e de isolamento térmico/acústico, entretanto, geralmente, sem responsabilidade estrutural ou em elementos com baixos requisitos estruturais. Nesse sentido, cabe destacar as seguintes aplicações: pavimentos de baixa carga, sub-base e base de pavimentos convencionais e pavimentos urbanos com intuito de reduzir ruídos. Apesar da aplicação predominante do CPCP em pavimentos, a Tabela 1 mostra uma série de outros usos para esse material.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CPCP é apresentado como um material de elevada porosidade inter-

conectada, sendo uma solução alternativa para pavimentos de baixa carga. A rede de poros apresentada por esse material facilita o transporte de água de sua superfície até o solo. Seu emprego acarreta uma redução de equipamentos hidráulicos necessários para captação de água pluvial, reduzindo, assim, o custo de implantação da via. Além desse benefício econômico, o CPCP ajuda a diminuir a incidência de inundações no meio urbano, pela sua característica de proporcionar permeabilidade ao pavimento, e também de reduzir problemas como o deslizamento dos veículos devido a formação de uma lâmina de água sobre os pavimentos.

Também sendo utilizado como pavimento (vias de tráfego, calçadas e estacionamentos) auxilia a diminuir o efeito de aquecimento urbano, por apresentar baixa condutividade térmica, comparado com outros tipos de pavimentos. Além de contribuir para uma absorção sonora dos ruídos produzidos pelo tráfego.

Para sua devida aplicação, algumas medidas de controle devem ser aplicadas, como o controle da

► **Tabela 1 – Principais aplicações do CPCP [6]**

Aplicações	
Pavimentos de baixo carregamento	Calçadas
Estacionamentos	Estruturas hidráulicas
Tratamento de água	Sub-base de pavimentos convencionais
Estabilização de taludes	Pisos
Pavimentos com drenagem	Barreiras sonoras
Isolante térmico	Paredes

quantidade de finos e a intensidade da compactação imposta. Um elevado teor de finos e uma alta intensidade de compactação reduzem a principal característica desse material, sua porosidade interconectada. Antes do emprego do CPCP em cada situação

prática, ensaios de laboratório devem ser feitos para verificar se a dosagem satisfaz as características de projeto. Além disso, um sistema de controle tecnológico em campo é importante de ser implantado para assegurar o sucesso da aplicação.

8. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao financiamento do “Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de España” por meio de uma bolsa de doutorado “Formación del Profesorado Universitario (FPU)”. ↵

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Sommerville, J., Craig, N. e Charles, A. No-fines concrete in the UK social housing sock: 50 years on. *Structural Survey*, 29(4) (2011) 294-302.
- [02] Ferguson, Bruce K. *Porous Pavements*, CRC Press, Boca Raton (2005) 417-455.
- [03] American Society of Testing and Materials (ASTM), ASTM 1701 / C1701M - 09: Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete, (2009)
- [04] ACI Committee 522, Report on Pervious Concrete, 2010.
- [05] Bhutta, M. A. R., Tsuruta, K. e Mirza, J. Evaluation of high-performance porous concrete properties. *Construction and Building Material*, 31 (2012) 67-73.
- [06] American Society of Testing and Materials (ASTM), ASTM C39 / C39M - 14a: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (2009)
- [07] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 978, Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, (2013).
- [08] Aguado, A., Josa, A. e Pindado, M. A. Caracterización experimental y numérica de Hormigones Porosos modificados con polímeros. Barcelona: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), (1997).
- [09] Shen, W., Shan, L., Zhang, T., Mab, H., Cai, Z. e Shi, H. Investigation on polymer-rubber aggregate modified porous concrete. *Construction and Building Materials*, 38 (2013) 667-674.
- [10] Tennis, P. D., Leming, M. L. e Akers, D. J. *Pervious Concrete Pavements*, EB302.02. Portland Cement Association and National Ready Mixed Concrete Association, USA (2004) 36 pp.
- [11] ACI 211.3R. Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete. (2002).

Confiança, produtividade, experiência, inovação e satisfação, são os principais conceitos que resumem todos os diferenciais dos equipamentos, serviços e peças SCHWING-Stetter.

Enquanto a globalização e internacionalização são fatores de principal importância para qualquer mercado, o grupo SCHWING-Stetter mantém sua filosofia de foco no cliente, superando suas expectativas através de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de seus produtos, procurando sempre inovar e aperfeiçoar o desempenho e a segurança dos equipamentos. Com essa filosofia e equipamentos aprovados nas principais obras do Brasil e do mundo desde 1934, a marca SCHWING-Stetter é sinônimo de credibilidade e segurança, baixo custo de manutenção, alto valor de revenda e competência técnica para qualquer projeto.

**SCHWING
Stetter**

Rod. Fernão Dias, km 56 | Terra Preta | Mairiporã
07600-000 | São Paulo | Brasil
Tel.: +55 11 4486-8500 | Fax: +55 11 4486-1227
info@schwingstetter.com.br

80
ANOS DO GRUPO
SCHWING-Stetter

www.schwingstetter.com.br

Estruturas de concreto: contribuição à análise da segurança em estruturas existentes – Parte II

DOUGLAS COUTO • MARIANA CARVALHO • ANDRÉ CINTRA • PAULO HELENE

PHD ENGENHARIA

4. AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES

Apresentam-se algumas prescrições de normas nacionais e internacionais reconhecidas e respeitadas no Brasil. O foco principal é analisar questões de tecnologia do concreto e da avaliação e verificação da segurança nas estruturas existentes, respondendo às seguintes perguntas básicas:

- Como obter a resistência característica do concreto equivalente à do corpo de prova moldado, a partir de testemunhos extraídos?
- Quais são os parâmetros principais de segurança a serem considerados na análise de estruturas existentes?
- Quais são as diferenças com relação aos parâmetros usuais de projeto utilizados para obras novas?

4.1 Caso geral e normalização brasileira

Para avaliação da resistência à compressão do concreto em estruturas existentes com o fim de verificar a segurança da estrutura, deve-se empregar

os conceitos e prescrições das normas ABNT NBR 8681:2003, ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 7680:2015. Sendo esta última, a norma mais adequada e recente.

Portanto, considerando que a resistência do aço não se altera com o tempo (desde que conservado dentro de um bom concreto), a incógnita maior é sempre a resistência característica do concreto à compressão, aos 28 dias de idade, convencionada como f_{ck} e aferida pelas normas ABNT NBR 12655, ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739.

No caso de estruturas existentes, essa resistência deverá ser aferida a partir da resistência de testemunhos extraídos a uma idade diferente de 28 dias, que pode ser denominada resistência extraída $f_{c,ext}$. Para obter f_{ck} a partir de $f_{c,ext}$, a ABNT NBR 7680:2015 prescreve uma série de procedimentos padronizados de correção, que levam em conta as diferenças entre a resistência medida no concreto retirado da boca da betoneira e submetido a condições ideais de norma (f_{ck}) e a resistência efetiva do concreto na obra ($f_{c,ext}$), com o objetivo de obter, com essas correções,

a sua máxima resistência potencial.

Primeiro passo

Portanto, o primeiro passo será esse, ou seja, o de vistoriar e analisar a estrutura obtendo um $f_{ck,equivalente}$ a partir de um $f_{c,ext}$, comparando-o com a resistência de projeto, f_{ck} . Uma vez que $f_{ck,equivalente} \geq f_{ck}$ de projeto, a análise ou verificação da segurança pode ser considerada atendida e aprovada.

Caso $f_{ck,equivalente} < f_{ck}$ de projeto, a verificação da segurança deve prosseguir com o segundo passo, que é verificar a segurança com esse novo f_{ck} .

Segundo passo

Para a reavaliação e verificação da segurança estrutural e da estabilidade global, considerando o Estado Limite Último (ELU), a ABNT NBR 6118:2014, no seu item 12.4.1, admite que, no caso de f_{ck} obtido a partir de testemunhos extraídos da estrutura, seja adotado:

$$\gamma_c = \frac{\gamma_{c,original}}{1,1}$$

[1]

Portanto, nos casos usuais, $\gamma_c = 1,4/1,1 = 1,27$, o que equivale matematicamente a multiplicar o resultado obtido de resistência do testemunho por 1,1, ou seja, aumentá-lo em 10%, uma vez que o testemunho representa melhor a resistência efetiva do concreto na obra, no entorno daquela região de extração. Para fins de verificação dos ELS, deve ser adotado $\gamma_c = 1,0$.

Caso a segurança verificada com esse novo γ_c de 1,27 ou 1,0 seja atendida, o processo pode encerrar-se neste momento.

Terceiro passo

Caso a conformidade ainda não seja atendida, a verificação da segurança pode prosseguir com o terceiro passo, que é a observação cuidadosa da estrutura acabada conferindo medidas geométricas, posição de armadura, taxa de armadura, tolerâncias de excentricidade, de nível e de prumo, espessura de lajes, ou seja, conferir o rigor de execução da estrutura.

Nesta última etapa, também é conveniente revisar por amostragem as massas específicas dos materiais, calcular a variabilidade da resistência do concreto, revisar cuidadosamente as cargas médias e sua variabilidade e também verificar a simultaneidade de cargas.

Caso o rigor da execução esteja dentro dos limites de tolerância conforme descritos na ABNT NBR 14931:2004 [18] (equivalente aos Capítulos 5 e 6 do *ACI 318-11* e ao Capítulo 8 do *fib Model Code 2010*), a verificação da segurança poderá adotar coeficientes de minoração da resistência do concreto γ_c menores que 1,27 e do aço, γ_s de 1,05 para ELU, além de realizar a verificação com os valores efetivos das cargas (massa específica efetiva), simultaneidade efetiva, etc.

Quarto passo

Permanecendo a não conformidade da segurança estrutural para aquelas condições de uso, escolher entre as seguintes alternativas:

- ▶ determinar as restrições de uso da estrutura;
- ▶ providenciar o projeto de reforço;
- ▶ decidir pela demolição parcial ou total.

4.2 Normalização internacional

Normas internacionais apresentam metodologias de análise de estruturas existentes similares e aderentes a esses conceitos, principalmente com os dois primeiros passos, sendo aplicáveis também os dois últimos passos.

4.2.1 ACI 318-II BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE AND COMMENTARY [19] e ACI 214.4R-10 GUIDE FOR OBTAINING CORES AND INTERPRETING COMPRESSIVE STRENGTH RESULTS [20]

Estruturas em construção: primeiro passo

Durante o controle do concreto numa obra em construção e frente a resultados baixos de resistências à compressão do concreto, o *ACI 318-11* (Capítulo 5, item 5.6.5) solicita a extração de três testemunhos da região afetada.

Caso a média dos três testemunhos seja superior a 85% da resistência do projeto (f'_c) e nenhum testemunho apresente resistência inferior a 75% de f'_c , a estrutura deve ser considerada adequada e o processo encerra-se aqui, e pode-se associar essa etapa a um primeiro passo.

Observa-se que esta prescrição equivale a multiplicar, respectivamente, a média e o menor valor do testemunho extraído por 1,18 e 1,33, ou seja, $f_{c, equivalente} = 1,18 \cdot f_{c, ext}$ ou $f_{c, equivalente} = 1,33 \cdot f_{c, mínimo, ext}$.

Estruturas existentes: primeiro passo

Quando o primeiro passo não alcança a conformidade ou sempre que se trate de estruturas existentes, o *ACI 318-11* (Capítulo 20) prescreve a estimativa de uma resistência equivalente f'_c de uma forma mais apurada, através do *ACI 214.4R-10*, onde devem ser considerados alguns coeficientes de correção, relativos a fatores de ensaio, geometria e sazonalidade do testemunho, sendo:

$$f_c = F_{ld} \cdot F_{dia} \cdot F_{mc} \cdot F_d \cdot f_{core} \quad [2]$$

Onde:

- f'_c = resistência do testemunho corrigida;
- f_{core} = resistência do testemunho, obtida diretamente no ensaio de compressão;
- F_{ld} = fator de correção devido à relação altura/diâmetro do testemunho;
- F_{dia} = fator de correção devido ao diâmetro do testemunho;
- F_{mc} = fator de correção devido à umidade/sazonamento;
- F_d = fator de correção devido ao efeito deletério do broqueamento.

Após a correção da resistência de cada testemunho, relativa às variáveis de ensaio e questões intrínsecas do concreto, o *ACI 214.4R-10* recomenda dois métodos para se obter a resistência equivalente final do concreto. São eles:

→ Tolerance factor method

$$f'_{c, eq} = \bar{f}_c - \sqrt{(K \cdot s_c)^2 + (Z \cdot s_a)^2} \quad [3]$$

► Tabela 4.1 – Fatores de redução das resistências (ϕ) segundo o ACI 318-11

Fator de redução das resistências	Capítulo 9 (projeto de novas estruturas)	Capítulo 20 (avaliação de estruturas existentes)	Diferença %
Tension-controlled sections	0,9	1,0	11,1
Compression controlled sections	Members with spiral reinforcement	0,9	20,0
	Other reinforced members	0,65	23,1
Shear and torsion	0,75	0,8	6,7
Bearing on concrete	0,65	0,8	23,1

Onde:

$f'_{c,eq}$ = resistência equivalente da amostra;
 f'_c = média das resistências equivalentes dos testemunhos ensaiados;

K = fator que leva em conta o limite de tolerância unilateral para um quantil de 10% (ACI 214.4R-10, Table 9.2), que depende do nível de confiança desejado no cálculo;

\bar{s}_c = desvio padrão da amostra;

Z = fator que leva em conta as incertezas do uso de fatores de correção da resistência (ACI 214.4R-10, Table 9.3) e também depende do nível de confiança desejado;

s_a = desvio padrão dos fatores de correção da resistência (ACI 214.4R-10, Table 9.1).

→ Alternative method

$$\begin{aligned} (\bar{f}_c)_{CL} &= \bar{f}_c - \sqrt{\frac{(T \cdot s_c)^2}{n} + (Z \cdot s_a)^2} \\ \bar{f}'_{c,eq} &= C \cdot (\bar{f}_c)_{CL} \end{aligned} \quad [4]$$

Onde:

$f'_{c,eq}$ = resistência equivalente da amostra;
 f'_c = média das resistências equivalentes dos testemunhos ensaiados;

T = fator obtido via distribuição t de Student com n-1 graus de liberdade,

depende do nível de confiança desejado (ACI 214.4R-10, Table 9.4);

s_c = desvio padrão da amostra;

Z = fator que leva em conta as incertezas do uso de fatores de correção da resistência (ACI 214.4R-10, Table 9.3) e também depende do nível de confiança desejado;

s_a = desvio padrão dos fatores de correção da resistência (ACI 214.4R-10, Table 9.1);

n = número de testemunhos ensaiados;
 C = coeficiente atrelado à variabilidade intrínseca das resistências na estrutura (ACI 214.4R-10, Table 9.5).

Segundo passo: estruturas novas em construção ou existentes

Caso a resistência equivalente, obtida pelo ACI 214.4R-10, não atenda à resistência de projeto, deve ser verificada a segurança adotando-se novos coeficientes de minoração das resistências do concreto, denominados de fatores de redução das resistências (ϕ), constantes no ACI 318-11, Capítulo 20, conforme se apresenta na Tabela 4.1.

Apesar de estarem contidos nos mesmos conceitos do caso geral adotado pela normalização brasileira, o

ACI 318-11 não prescreve um único coeficiente de minoração da resistência do concreto, γ_c , e na verificação da segurança em estruturas existentes varia a redução desse coeficiente de 6,7% a 23,1% segundo a natureza do esforço principal, enquanto no Brasil essa redução é fixa, conservadora e igual a apenas 10% (apesar da antiga ABNT NBR 6118, de 1978 a 2003, permitir reduzir de 15% em certos casos).

O terceiro e o quarto passos, citados anteriormente no caso geral, não são explícitos no ACI 318-11, mas, obviamente, são aplicáveis.

4.2.2 ACI 562-13 CODE REQUIREMENTS FOR EVALUATION, REPAIR, AND REHABILITATION OF CONCRETE BUILDING AND COMMENTARY [21]

Este novo documento propõe uma avaliação preliminar, que inclui a revisão de plantas, dados da construção, relatórios e outros documentos disponíveis (obtenção de informações sobre os materiais) e a comparação das informações obtidas com as prescrições da norma utilizada na época do projeto.

Caso não seja possível obter informações suficientes por meio de projetos, especificações e outros documentos, considerar valor de resistência à compressão do concreto estrutural conforme Table 6.3.1a, ou partir para ensaios in loco de extração de testemunhos e em laboratório, no intuito de conhecer as características do concreto.

Quando se decidir por ensaiar testemunhos extraídos, recomenda-se estimar a resistência equivalente ($f_{c,eq}$) através da equação:

$$f_{ceq} = 0,9 \cdot \bar{f}'_c \left[1 - 1,28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n} + 0,0015} \right] \quad [5]$$

Onde:

f_{ceq} = resistência à compressão equivalente do concreto;

f_c = média das resistências dos testemunhos, já modificadas para considerar os diâmetros e as condições de sazonalidade dos testemunhos;

V = coeficiente de variação das resistências efetivas dos testemunhos;

n = número de testemunhos ensaiados;

k_c = fator de modificação do coeficiente de variação (depende de n , conforme *ACI 562, Table 6.4.3*).

Após a determinação da resistência equivalente, deve-se, então, avaliar a estrutura e verificar a segurança conforme *capítulo 20* do *ACI 318-11*. Portanto, este documento do ACI não acrescenta muito ao *ACI 318-11* e ao *ACI 214.4R-10*, e apenas modifica um pouco a forma de obter a resistência equivalente (primeiro passo) do concreto em estruturas existentes, mantendo o segundo passo, e, ainda sendo aplicáveis, os terceiro e quarto passos do caso geral.

4.2.3 FIB MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES 2010

Na avaliação de estruturas existentes, o *fib Model Code 2010* recomenda que valores reduzidos de γ_m sejam adotados quando o intuito for avaliar uma estrutu-

ra existente, de modo a levar em conta as ações reais atuantes, as dimensões efetivas e as propriedades reais dos materiais empregados na estrutura. Para o fator γ_{Rd} , que representa o produto $\gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2}$, equivalente ao produto do $\gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}$, a norma recomenda adotar o valor de 1,0.

O fator γ_{Rd} expressa as incertezas no modelo de cálculo e geometria. Percebe-se claramente que, na análise de uma estrutura existente, estas incertezas são menores, permitindo reduzir este fator de 1,10 para 1,00.

Para uma análise probabilista pura, o *fib Model Code 2010* recomenda que se realize a análise baseada em índices de confiabilidade, a partir de onde se obterão novos coeficientes de segurança. A Tabela 4.2 apresenta as diferenças entre os índices de confiabilidade (b) a se considerar no projeto de novas estruturas e na análise de estruturas existentes.

4.2.4 EUROCODE 2. EN 1992.

DEC. 2004. DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES. GENERAL RULES AND RULES FOR BUILDINGS [22] € EN 13791. JAN. 2007. ASSESSMENT OF IN-SIT COMPRESSIVE STRENGTH IN STRUCTURES AND PRECAST CONCRETE COMPONENTS [23]

De modo similar, também o *EURO-*

CODE 2 recomenda que valores reduzidos de γ_c e γ_s sejam adotados, desde que sejam mitigadas as incertezas no cálculo da resistência.

No que tange à determinação da resistência equivalente (primeiro passo), aplica-se a *EN 13791*, que traz os modelos de cálculo expostos a seguir (adota-se, sempre, o menor dos dois valores).

→ 15 testemunhos ou mais

$$\begin{aligned} f_{ck, is} &= f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s \text{ ou} \\ f_{ck, is} &= f_{is, lowest} + 4 \end{aligned} \quad [6]$$

Onde:

$f_{ck, is}$ = resistência equivalente da amostra;

$f_{m(n), is}$ = média das resistências equivalentes dos testemunhos ensaiados;

s = desvio padrão da amostra;

$f_{is, lowest}$ = menor valor de resistência à compressão obtido no ensaio dos testemunhos.

→ 3 a 14 testemunhos

$$\begin{aligned} f_{ck, is} &= f_{m(n), is} - k \text{ ou} \\ f_{ck, is} &= f_{is, lowest} + 4 \end{aligned} \quad [7]$$

► Tabela 4.2 – Índices de confiabilidade (β) segundo o *fib Model Code 2010* (p. 31 e 32)

Estado limite	Modelo de verificação da segurança	Período de referência	Novas estruturas	Estruturas existentes	Comentário
Serviço (ELS)	0,75	0,75	1,50	1,20	Considera o mesmo critério de avaliação da segurança para estruturas novas e existentes
	0,75	0,75	1,50	1,20	
Último (ELU)	Método de Segurança Probabilista	50 anos	$3,1 \leq \beta \leq 4,3$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	Permite reduzir a confiabilidade para estruturas existentes
	Método dos Fatores de Segurança Parciais	50 anos	$\beta = 3,8$	$3,1 \leq \beta \leq 3,8$	

► Tabela 4.3 – Fatores γ_c utilizados na análise de estruturas existentes (EUROCODE 2)

γ_c original	γ_c reduzido	Diferença (%)
1,5	1,4	7,1
1,5	1,45	3,4
1,5	1,35	11,1
1,5	1,3	15,4

Onde:

$f_{ck, is}$ = resistência equivalente da amostra;

$f_{m(n), is}$ = média das resistências corrigidas dos testemunhos ensaiados;

k = fator que depende do número de testemunhos ensaiados (EN 13791 Table 2);

$f_{is, lowest}$ = menor valor de resistência à compressão obtido no ensaio dos testemunhos.

A EN 13791 também recomenda corrigir as resistências dos testemunhos extraídos precedentemente ao cálculo da resistência equivalente, de maneira análoga ao ACI 214.4R-10, levando em conta relação h/d, diâmetro, sazonalidade, broqueamento, entre outros.

Caso a execução da estrutura tenha sido submetida a um rigoroso controle da qualidade, garantindo que desvios desfavoráveis nas dimensões das seções transversais se encontrem dentro dos limites da EN 1992 Table A.1, e, desde que o coeficiente de variação da resistência do concreto não seja superior a 10%, γ_c pode ser reduzido de 1,5 para 1,4 (segundo passo).

Ainda, se o cálculo da resistência de projeto se baseia em dados geométricos críticos (reduzidos por desvios e medidos na estrutura acabada), a recomendação é reduzir γ_c para 1,45. Neste mesmo caso, desde que o coeficiente de variação da resistência do concreto não seja superior a 10%, pode-se adotar $\gamma_c = 1,35$.

Quando a avaliação da estrutura existente for baseada em ensaios e testes “in loco” na estrutura acabada (como, por exemplo, extração de testemunhos), γ_c deve ainda ser reduzido pelo fator de conversão $\eta = 0,85^1$.

A Tabela 4.3 indica os percentuais de redução sugeridos pelo EUROCODE

2 para o coeficiente de segurança γ_c .

Percebe-se que, no caso do EUROCODE, o novo coeficiente de minoração da resistência do concreto para verificação da segurança em estruturas existentes, desde que baseada na extração de testemunhos, é equivalente ao da norma brasileira e igual a 1,27.

Finalizado esse segundo passo, caso a segurança não venha a ser atendida, ainda restam os terceiro e quarto passos do caso geral.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

De modo a se realizar uma análise comparativa com os diferentes códigos, apresenta-se um exemplo de uma estrutura que foi projetada com um f_{ck} de 25MPa, onde se tomou um conjunto de dados provenientes de extração de testemunhos de concreto (Tabela 5.1) e, em seguida, aplicou-se os conceitos de análise apresentados para as diferentes normas.

Da região em análise, foram retirados 8 testemunhos, quantidade que

► Tabela 5.1 – Conjunto de dados de testemunhos extraídos

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{ci, ext}$	15,4	15,4	17,6	19,1	19,5	19,9	16,6	17,6

► Tabela 5.2 – Correção segundo o ACI 214.4R-10 (resultados em MPa)

n	$f_{ci, ext}$	Fatores de correção ACI-214.4R-10 Cap.9.1				f_c corrigida Cap. 9.1
		$F_{v/d}$	F_{dia}	F_{mc}	F_d	
1	15,4	15,4	17,6	19,1	19,5	17,8
2	15,4					17,8
3	17,6					20,3
4	19,1					22,1
5	19,5	1 (V=0%)	1 (V=0%)	1,09 (V=2,5%)	1,06 (V=2,5%)	22,5
6	19,9					23,0
7	16,6					19,2
8	17,6					20,3

¹ SEGUNDO O PRÓPRIO EUROCODE, O VALOR RESULTANTE DE γ_c NÃO DEVERIA SER INFERIOR A 1,3, PORÉM, APLICANDO ESTA REDUÇÃO AO γ_c DE 1,5, DARIA UM VALOR DE 1,27 PARA O NOVO γ_c .

► Tabela 5.3 – Valores de $f_{c,equivalente}$ propostos pelo ACI 214.4R-10, pelo ACI 562-13 e pela EN 13791

ACI 214.4R-10		ACI 562-13	EN 13791
$f_{c,eq}$ Cap. 9.4.1	$f_{c,eq}$ Cap. 9.4.2	f_{ceq} Cap.6.4.3	$f_{ck,ls}$
Tolerance factor method	Alternate method		
15,0	15,4	17,1	14,4

NOTA: A EN 13791:2007 prevê as mesmas correções para fatores que influenciam a resistência de testemunho, como: relação h/d, diâmetro, sazonalidade, broqueamento, e outros.

atende aos mínimos recomendados das normas citadas. Para essa análise, foram utilizados testemunhos padrão com 10cm de diâmetro e relação h/d = 2. Todos os valores de f_c são expressos em MegaPascal (MPa).

Primeiro passo: resistência equivalente

Caso se tratasse de uma estrutura em construção, para a análise segundo o ACI 318-11 (Capítulo 5), deve-se utilizar apenas 3 resultados da região com problemas. Por razões de conservadorismo, dos oito disponíveis utilizou-se apenas os 3 de menores valores.

A partir dos resultados 15,4; 15,4 e 16,6MPa, obtém-se $f_{c,equivalente} = 18,6$ MPa (multiplicando a média dos resultados por 1,18). Esta condição não atende os critérios da norma, portanto, há necessidade de se encontrar um novo $f_{c,equivalente}$ para continuar a análise.

Na Tabela 5.2, apresenta-se a correção de $f_{ci,ext}$ proposta pelo ACI 214.4R-10, Capítulo 9.1. Para este exemplo prático, adotou-se um nível de confiança de 95%.

A partir dos valores corrigidos de f_c , há necessidade de encontrar o valor de $f_{c,equivalente}$. Este parâmetro também pode ser obtido através do ACI 562-13 e EN 13791:2007, como se expõe na Tabela 5.3.

Segundo passo: análise da segurança

Em seguida às correções e obtenção do $f_{c,equivalente}$, deve-se proceder com a análise ou verificação da segurança, conforme o Capítulo 20 do ACI 318-11 (ou Cap. 5.4 do ACI 562-13²) ou o EUROCODE 2.

Segundo o ACI 318-11, admitindo que se trata de pilares sem armadura em espiral, caberia a modificação do fator de segurança ϕ de 0,65 para 0,80, ou seja, equivalente a majorar a resistência equivalente (f_{ceq}) obtida na Tabela 5.3 em 1,23 (e continuar utilizando $\phi = 0,65$ na verificação de projeto).

Dessa forma, os valores de resistência a serem adotados segundo esse conceito seriam os expressos na Tabela 5.4.

Do ponto de vista do EUROCODE 2, obtido o valor de $f_{ck,ls}$ através da EN

13791 (mesmo f_{ceq} do ACI), deve-se então aplicar os critérios de análise de segurança, conforme já descrito. De forma análoga ao executado nas análises anteriores, na Tabela 5.5 são expostas as correções de cada um dos itens contemplados em seu Anexo A.

Verifica-se, numa análise global e tomando como referência este exemplo, que a resistência final de cálculo variou de 16MPa a 21MPa, segundo o critério que se adote, como se apresenta na Tabela 5.6.

Essa variabilidade demonstra, uma vez mais, a necessidade de sempre utilizar o bom senso na tomada de decisões e de buscar considerar o problema com uma visão holística que vise abarcar todas as variáveis, sem se prender exageradamente a um número obtido matematicamente que, sabe-se e foi demonstrado, pode ter significado relativo e não absoluto.

Na análise de segurança, verifica-se que todas as normas consultadas, sem exceções, permitem grandes reduções em seus coeficientes parciais, uma vez que as variáveis após uma estrutura estar pronta são passíveis de serem medidas e consideradas no cálculo como valores efetivos. Dessa forma, como não há mais tantos desconhecimentos e incertezas, pode-se trabalhar com

► Tabela 5.4 – Valores da resistência equivalente do concreto para verificação da segurança, segundo o ACI 318-11

ACI 318-11 Cap.20		
ACI-214.4R-10		ACI-562-13
$f_{c,eq}$ Cap. 9.4.1	$f_{c,eq}$ Cap. 9.4.2	f_{ceq} Cap.6.4.3
Tolerance factor method	Alternate method	
18,4	19,0	21,0

► Tabela 5.5 – Valores de f_{ck} para verificação da segurança, segundo a EN 13791:2007 (partindo de $\gamma_c = 1,5$)

EN 1992-1-1 EUROCODE 2		
$f_{ck,ls}$ EN 13791	A.2.2 (2) $\gamma_{c,Red3} = 1,35$	A.2.3 (1) $\gamma_{c,Red4} = 1,19$
14,4	16,0 ^a	18,8 ^a

^a Os valores apresentados estão majorados, considerando que em A.2.2 (2) $f_{ck} = f_{ck,ls} \cdot (\gamma_c / \gamma_{c,Red3})$ e em A.2.3 (1) $f_{ck} = f_{ck,ls} \cdot (\gamma_c / \gamma_{c,Red4})$.

► Tabela 5.6 – Valores da resistência do concreto a serem adotados na verificação da segurança (MPa)

ACI 318-11	ACI 214.4R-10		ACI 562-13	EN 1992-1-1 EUROCODE 2	
	Tolerance factor method	Alternate method		A.2.2 (2) $\gamma_{c,Red3} = 1,35$	A.2.3 (1) $\gamma_{c,Red4} = 1,19$
18,6	18,4	19,0	21,0	16,0	18,8

uma margem de segurança menor e mais racional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No universo da normalização existente foi possível verificar diferentes critérios de análise, entretanto todas as normas analisadas têm em comum o fato de que a redução de algumas parcelas dos coeficientes parciais é plenamente viável, sem prejuízo da segurança estrutural.

Entretanto, para lançar mão de novos coeficientes, faz-se necessário ter um conhecimento maior da estrutura e, nesse aspecto, entra a importante atividade de inspeção, na qual o rigor da execução e os parâmetros geométricos e de qualidade dos materiais devem ser adequadamente verificados.

O *fib Model Code 2010*, na composição do coeficiente de minoração da resistência do material, considera, de forma explícita, além da parcela relativa ao desconhecimento da resistência do material, a parcela que leva em conta as incertezas geométricas que podem eventualmente ocorrer durante a execução. Nesse aspecto, ao se constatar que a estrutura foi executada com geometria dentro de padrões considerados aceitáveis e, tendo conhecimento da resistência do concreto na estrutura

(através de testemunhos), poder-se-ia efetuar a redução do γ_m .

Na norma norte-americana, no tocante à resistência do concreto, fica evidente a separação da análise do material e análise de segurança, sendo o primeiro item especificado pelo ACI 214.4R-10 ou pelo ACI 562-13, que tratam de corrigir variáveis inerentes a ensaio e a propriedades intrínsecas do concreto, enquanto a segurança é tratada de acordo com o Capítulo 20 do ACI 318-11.

O EUROCODE 2 atua de forma análoga ao *fib Model Code 2010*, permitindo a redução dos coeficientes γ_c , desde que a geometria da estrutura tenha sido executada de forma rigorosa e tais medidas sejam consideradas no cálculo (característica medida por um controle efetivo da qualidade na construção).

Sobre as considerações referentes à influência da idade e das cargas de longa duração na avaliação da resistência do concreto, estes pesquisadores não encontraram, na bibliografia disponível, nenhuma menção à necessidade de retroagir a resistência do concreto a 28 dias. Nenhum texto foi encontrado considerando o crescimento ou o decréscimo da resistência do concreto após 28 dias, quando analisado em estruturas existentes e com idades muito ou pouco superiores a 28 dias.

Uma recomendação de ordem prática dos autores seria considerar, na verificação do projeto, a resistência obtida na idade de ensaio, sem qualquer regressão, e proceder com os cálculos conforme a teoria normalizada.

De forma geral e com visão holística, constatou-se nesse artigo que a verificação da segurança de uma estrutura existente é uma análise complexa e diferenciada, que depende do conhecimento profundo da estrutura e da tecnologia do concreto, assim como dos conceitos de segurança.

Em suma, é necessário que o profissional de engenharia responsável pela análise da estrutura existente conheça as variáveis envolvidas no processo e saiba desprezar aquelas que já atuaram, garantindo uma avaliação confiável e que resulte em decisões seguras e econômicas.

Além disso, para garantir o desempenho estrutural, deve ser frequentemente realizado o monitoramento das edificações, bem como as inspeções e manutenções necessárias e periódicas.

Para obras novas, a racionalização da construção, o Controle de Qualidade de Projeto (CQP) e o Controle Tecnológico (CT) das obras devem ser incentivados e realizados, de modo a obter obras seguras, dentro das condições projetadas e das regras de bem construir. 

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [19] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills: ACI, 2011.
- [20] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 214.4R-10: Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. Farmington Hills: ACI, 2010.
- [21] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 562-13: Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Building and Commentary. Farmington Hills: ACI, 2013.
- [22] COMITE EUROPÉEN DE NORMALISATION. EUROCODE 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.
- [23] COMITE EUROPÉEN DE NORMALISATION. EN 13791: Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. Brussels: CEN, 2007.

Aparelhos de apoio estruturais

MILTON EMÍLIO VIVAN - DIRETOR

VIVAN ENGENHARIA

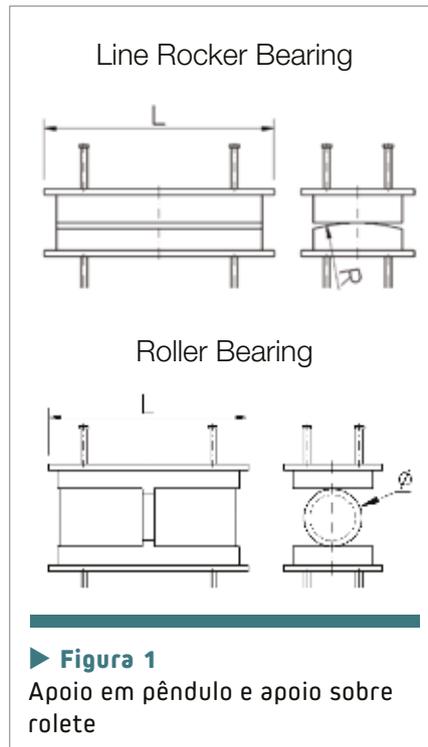
I. HISTÓRICO

No século XIX, época da revolução industrial, foram construídas pontes de ferro fundido e há registros de que inicialmente algumas sofreram problemas pela falta de consideração dos efeitos térmicos ou da rotação nos apoios. Com a descoberta do aço e a chegada das ferrovias e rodovias, as estruturas passaram a ter que resistir a cargas mais pesadas, bem como passaram a ter vãos maiores, o que impunha elevadas cargas concentradas nos pilares e a obrigatoriedade da consideração precisa dos deslocamentos e rotações da superestrutura em relação à infraestrutura. Durante algum tempo, a escolha de aparelhos de apoio de maior responsabilidade ficou centrada em aparelhos metálicos de múltiplos tipos, alguns até bastante elaborados. Dessa época, sobrevivem até hoje os “rocker bearings”, ou apoios em pêndulo, e os “roller bearings”, ou apoios sobre roletes (figuras 1 e 2).

Foram também utilizadas soluções como os pêndulos de concreto ou aço, apoios sobre placas de chumbo, apoios de chapa grafitada ou com papelão alcatroado, etc.

A grande revolução na tecnologia dos aparelhos de apoio ocorreu após a descoberta pela Dupont dos polímeros policloropreno (neoprene - 1936) e do politetrafluoretileno (PTFE - teflon - 1944).

Os aparelhos de elastômero simples, que levam em sua composição o policloropreno, permitem tensões relativamente baixas de compressão e são os mais utilizados em edificações e pré-fabricados



► **Figura 1**
Apoio em pêndulo e apoio sobre rolete

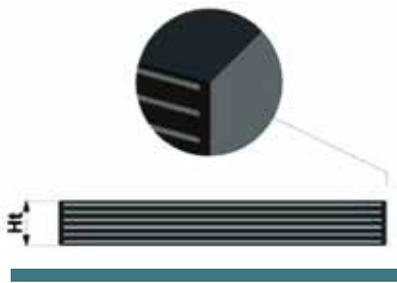
leves. Aumentando-se a tensão de compressão, a borracha escoar lateralmente, tão mais facilmente quanto maior for a espessura do elastômero, a relação perímetro/área em planta e o coeficiente de Poisson do elastômero. O passo seguinte foi o surgimento de aparelhos com uma camada de elastômero vulcanizada solidariamente entre duas chapas de aço. A tendência da borracha de escoar lateralmente sob compressão é impedida pelo aço, que resulta tracionado, comprimindo o elastômero. Daí o nome de “fretado”, “cintado”, “armado” ou “laminado”, este último preferido dos europeus. A efetividade da ligação elastômero-aço foi conseguida com o prévio preparo das chapas de aço com jatos de areia e com a aplicação de colantes químicos antes da

vulcanização. Alguns denominaram esses aparelhos de “tipo sanduíche”.

Para atender aos requisitos de rotação e acomodação de deslocamentos, os aparelhos eram empilhados uns sobre os outros. A geometria em planta era obtida a partir de uma placa mãe, serrando-a nas dimensões requeridas. Pinturas especiais foram desenvolvidas para proteção das chapas. Entretanto, concluiu-se que vulcanizando todo o conjunto das chapas intercaladas com a massa de elastômero, o aparelho resultava com uma aparência de monobloco, dispensando pinturas e resultando melhor protegido contra a agressividade ambiental. O conjunto de chapas e elastômero é posicionado alternadamente em formas com dimensões individualizadas conforme o projeto e prensadas a temperatura e pressão adequadas através de vulcanização (fig. 3).



► **Figura 2**
Apoio articulado móvel: apoio em pêndulo sobre apoio com dois roletes



► **Figura 3**

Aparelho de apoio de elastômero fretado

Já se passaram quase 40 anos, sendo esta a forma que os aparelhos de elastômero laminado são produzidos até hoje, ou seja, artesanalmente. Ainda hoje a dificuldade maior dos fabricantes é manter as chapas paralelas nesse processo e de garantir ligação adequada entre as chapas de aço e o elastômero quando solicitadas à distorção, apesar da existência atualmente de colantes mais eficientes desenvolvidos pela indústria química.

Aparelhos deslizantes são obtidos com superfície de aço inoxidável polida ao espelho ligada a uma chapa de aço fixa na superestrutura, deslizando contra superfície de teflon ligada ao aparelho (fig.4). Observe-se que a posição da carga vertical oriunda da superestrutura não se movimenta como nos rolos.

2. A ABNT NBR 9783 – ACEITAÇÃO DE APARELHOS DE APOIO DE ELASTÔMERO FRETADO

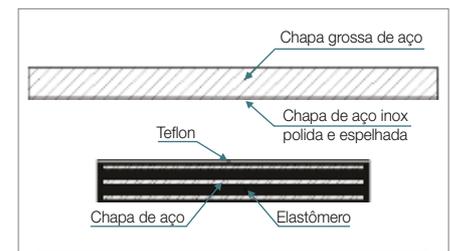
Antes da vigência da ABNT NBR 9783:1987, muitos engenheiros estruturais evitaram a concepção de aparelhos de elastômero pelo receio de que a fabricação não apresentasse qualidade adequada. Usou-se e abusou-se das articulações em concreto. Boa parte dessa preocupação ocorreu algum tempo após a entrada em serviço da pista ascendente da via Imigrantes. Uma grande quantidade de aparelhos de apoio teve que ser substituída pelos mais diversos motivos. Em 1975, os engenheiros Luiz Emilio Soares de Gouvêa Horta, James Campanhã Alvim e Alfredo Pinto da Conceição Neto

elaboraram a publicação 1062, pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo). O objetivo foi apresentar resultados de ensaios realizados em 59 apoios de diversas obras, entre elas a Rodovia dos Imigrantes e Ponte Rio-Niterói, e compará-los com valores previstos em projeto por várias normas estrangeiras, com a intenção de fornecer subsídios para elaboração de uma futura norma brasileira. Essa publicação e obras, como a Ferrovia do Aço, controlada pelo IPT dentro das instalações dos próprios fabricantes, permitiram significativas melhorias na fabricação e projeto de aparelhos de apoio de elastômero fretado.

Cada engenheiro envolvido com o projeto de aparelhos de apoio nessa época pode ter uma história semelhante a que compartilho. O fato ocorreu na Themag, em 1976. Nesse ano, a empresa recebeu a incumbência de ajustar o projeto da superestrutura em concreto protendido da Ponte sobre o Canal de Moxotó, obra contínua com 234 m de extensão, altura variável e vãos de 34 m, 52 m, 62 m, 52 m, 34 m, sucessivamente. Já estavam concretadas as fundações, apoiadas em rocha, e também os pilares altos e esbeltos com forma hidrodinâmica em falsa elipse para resistir à correnteza do canal. A protensão havia sido prevista com cabos de 12 fios de 8 mm, que deveriam ser reduzidos em quantidade para cabos de maior potência, com 12 cordoalhas de 12,7 mm. Os aparelhos de apoio calculados pela projetista original já estavam fabricados quando chegaram os resultados dos ensaios realizados no IPT. Nenhum dos 6 apoios foi aprovado. Foi obtido coeficiente de atrito dos apoios extremos deslizantes de 8%, quando deveria ser 4%. Os altos encontros não resistiriam. Os apoios de elastômero fretado não deslizantes dos demais pilares não satisfizeram a vários requisitos nos ensaios. Além disso, tiveram

que ser completamente redimensionados porque havia falta de armadura de ligação entre os aparelhos no topo dos pilares e, ao aumentar o número de aparelhos sob as transversinas, não havia armadura de fretagem localizada sob o novo aparelho. Então, os aparelhos foram dimensionados com a maior dimensão na direção do eixo da obra e foram limitadas as tensões de tração às admissíveis pelo concreto simples. O projeto desses aparelhos foi realizado com as recomendações do UIC-CODE 772R de 1969 (“Code for the use of rubber bearings for rail bridges da International Union of Railways”), sob a orientação do Eng. Lothar Korbmacher, então chefe do departamento de estruturas da Themag. Os aparelhos foram reprojatados e especificados detalhadamente para que a Stup, na época sob a direção do Eng. Eugenio Cauduro, os fabricasse. Para o aço inox, foi especificado grau de polimento que resultava superfície espelhada. Ao final, os aparelhos foram fabricados, testados no IPT pelo Eng. Ivanisio Lima de Oliveira sob nosso acompanhamento, e todos aprovados, sendo alcançado coeficiente de atrito de 2% nos aparelhos deslizantes.

Com esse pano de fundo sobre a qualidade executiva dos aparelhos de elastômero fretado, criou-se, em meados da década de 80, a Comissão de Estudo responsável pela elaboração da ABNT NBR 9783 - Aparelhos de apoio de



► **Figura 4**

Aparelho de apoio de elastômero fretado deslizante

elastômero fretado – Especificação. Inicialmente com sede na cidade do Rio de Janeiro, região onde se localizavam as maiores fábricas, com reuniões mensais. Posteriormente, a Comissão passou a realizar as reuniões em São Paulo, onde foi finalizado o trabalho de normalização, na época.

Como a fabricação dos aparelhos de apoio era (e ainda é) artesanal e havia um grande número de ensaios químicos, físicos e mecânicos com requisitos específicos a serem atingidos, a grande dificuldade foi como e quando considerar que um lote de aparelhos pudesse ser aprovado ou rejeitado. Após muitos debates, a solução foi adotar o sistema de amostragem por atributos e limitar o tamanho do lote a 20 aparelhos ou a uma quantidade maior acordada entre o consumidor e o fornecedor. Assim, foram classificados os defeitos em críticos, graves e toleráveis.

Defeitos críticos impedem o funcionamento do aparelho de apoio como projetado, podendo reduzir a segurança da estrutura. O não atendimento de requisitos para a espessura média da camada elementar, para o coeficiente de atrito aço inox-teflon e para o módulo de deformação transversal são exemplos de defeitos críticos.

Defeitos graves reduzem a vida útil do aparelho de apoio. O não atendimento de requisitos para o valor da deformação permanente à compressão, para a variação da tensão ou alongamento de ruptura ou da dureza após envelhecimento e para o cobrimento das chapas de aço são exemplos de defeitos graves.

Defeitos toleráveis são os que não reduzem a vida útil do aparelho nem afetam a segurança da estrutura. O único defeito considerado tolerável foi a dureza fora dos limites especificados.

Os defeitos críticos receberam valor 3, os graves 2 e o tolerável 1. Definiu-se o número de recebimento como a soma dos valores atribuídos aos defeitos.

Um lote é considerado aprovado

quando o número de recebimento for menor ou igual a 1. Se for 2, ou seja, se ocorrer apenas um defeito grave na série de ensaios, permite-se uma segunda amostragem. Nessa segunda amostragem, para o lote ser aprovado, não pode ocorrer qualquer defeito crítico ou grave.

A recepção definitiva do lote pode ficar a critério do engenheiro responsável pelo projeto. Essa abertura permite ao engenheiro que dimensionou o aparelho e que deve ter consciência onde estão as folgas ou não de dimensionamento, poder aprovar ou rejeitar definitivamente o lote, justificando sua decisão.

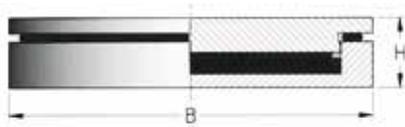
Na época em que a ABNT NBR 9783 foi elaborada, as normas mais importantes eram: o UIC CODE 772R 1969; a norma italiana CNR 10018 (*Apparecchi d'appoggio in gomma e PTFE nelle costruzioni*); a *British Standard BS 5400 section 9.1 (Code of practice for design of bridge bearings)*; a norma alemã DIN 4141 part 14 (*Laminated elastomeric bearings*) e a publicação francesa do SETRA de 1974 (*Appareils d'appui en élastomère fretté*).

Os requisitos exigidos nos ensaios por essas normas europeias eram bem mais severos e com tolerâncias menores em relação ao que era garantido pelos fabricantes nacionais. Estava criado o impasse. Os fabricantes não aceitavam o maior rigor das normas europeias. Os calculistas não aceitavam abrir mão dos requisitos de qualidade expressos nas normas internacionais. Nessa época, as reuniões da Comissão passaram a ser realizadas em São Paulo.

Para eliminar o impasse, foi solicitado à Mepel, maior fabricante nacional de aparelhos de apoio de elastômero fretado na ocasião, que fabricasse alguns aparelhos-protótipos com o máximo controle para obtenção dos limites de qualidade que poderiam ser alcançados. Com esses limites, foram verificadas as consequências no projeto e a previsão de desempenho dos aparelhos em serviço. Esse ciclo foi repetido algumas vezes até

que foram encontrados resultados passíveis de serem atendidos pelo fabricante e aceitos pelo projeto. Como exemplo, cito o paralelismo das chapas de aço. Segundo o UIC CODE e outras normas, a espessura da camada elementar de elastômero medida em qualquer ponto deveria ser a espessura média dessa camada com tolerância de apenas 0,5 mm para qualquer espessura e qualquer número de camadas. O valor consensual encontrado foi limitar a tolerância a 5% da espessura média multiplicada pela raiz cúbica do número de camadas do aparelho, mas não maior do que 1,0 mm.

A ABNT NBR 9783 vigorou de 1987 até 31 de outubro de 2014, quando surpreendentemente foi cancelada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), juntamente com outras normas de métodos de ensaios de elastômeros, quando ainda era muito utilizada pelo meio técnico. A principal justificativa dada foi que a intenção de cancelamento pela ABNT foi postada em Consulta Nacional por 30 dias e, como não houve manifestação contrária, foi cancelada (não houve manifestação porque ninguém foi procurar no site se essa norma estaria sendo cancelada). Nesses 28 anos, a ABNT NBR 9783 prestou excelentes serviços para a engenharia e o seu surgimento é reconhecido como um claro divisor de águas na qualidade dos aparelhos fabricados no Brasil. Passados 28 anos de progresso da tecnologia, alguns fabricantes ainda se queixam que as tolerâncias exigidas para alguns ensaios são muito apertadas. Alertada, a ABNT informou não ser viável a anulação do cancelamento. Como o Código de Defesa do Consumidor exige que os produtos sejam fabricados conforme as normas ABNT, trata-se de um problema a ser revolido. Para que o meio técnico não fique sem a norma de recepção, a solução



► **Figura 5**
Aparelho tipo “*pot bearing*”

está caminhando para que sejam reeditadas as mesmas normas, com o mesmo conteúdo e ajustes apenas de forma. Essa solução manteria em vigência o conteúdo da norma de recepção até que a nova Comissão de Estudo de Aparelhos de Apoio Estruturais estivesse formada e com tempo para analisar alterações necessárias, o que exigirá cálculos comparativos, ensaios e análises em modelos matemáticos.

3. A NOVA COMISSÃO DE ESTUDO DE APARELHOS DE APOIO ESTRUTURAIS DA ABNT E A EURONORMA 1337

Essa ocorrência de cancelamento da ABNT NBR 9783 pela ABNT motivou a formação da nova Comissão de Estudo de Aparelhos de Apoio Estruturais, que já estava sendo planejada há algum tempo. O objetivo da nova Comissão será bem mais amplo: normalizar projeto; fabricação; ensaios; proteção; armazenamento; transporte; instalação; inspeção e manutenção dos aparelhos de apoio elásticos e metálicos. São exemplos de aparelhos metálicos os aparelhos cilíndricos e esféricos com PTFE (fig. 6) e os “*pot bearings*”, que são aparelhos com um disco de elastômero, confinado por um pote metálico e por um pistão com liberdade de girar em todas as direções (fig. 5).

Os trabalhos serão desenvolvidos no âmbito do Comitê Brasileiro de Construção Civil – ABNT/CB 2, tendo como texto

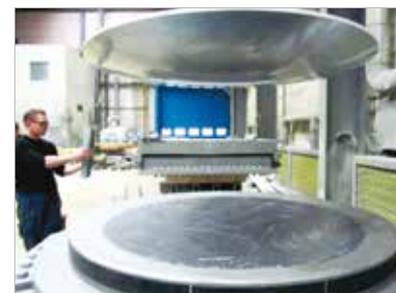
base a Euronorma EN 1337, por ser a norma mais completa e atual em todo mundo. É composta por 390 páginas divididas em 11 partes:

- Parte 1: Regras gerais de projeto
- Parte 2: Elementos deslizantes
- Parte 3: Apoios elásticos
- Parte 4: Apoios com roletes metálicos
- Parte 5: Aparelhos tipo “*pot bearings*”
- Parte 6: Aparelhos de apoio em pêndulo “*rocker bearings*”
- Parte 7: Aparelhos cilíndricos e esféricos com PTFE
- Parte 8: Aparelhos guiados e com bloqueio
- Parte 9: Proteção
- Parte 10: Inspeção e Manutenção
- Parte 11: Transporte, armazenamento e instalação

A comissão da Euronorma 1337 iniciou-se em 1989 e encerrou os trabalhos em 2004, após 15 anos. Segundo o chairman da EN 1337, o italiano Eng. Agostino Marioni, foram envolvidos mais de 60 experts na elaboração do texto, que incluíram harmonicamente a cultura técnica de alemães, franceses, ingleses, italianos, espanhóis, etc. Em 2004, quando da finalização dos trabalhos de normalização, o Projeto de Norma foi votado por 28 países, 25 membros da comunidade e Suíça, Noruega e Dinamarca e aprovado para ser publicado como Norma Europeia.

Os principais aspectos inovadores dessa Norma são:

- 1) O projeto dos aparelhos é feito de acordo com o conceito dos estados limites, com particular referência ao Estado Limite Último, de modo coerente com as normas utilizadas no projeto de estruturas;



► **Figura 6**
Aparelho esférico com MSM (material de aparência negra, com maior tensão admissível de compressão e menor coeficiente de atrito, está sendo utilizado como substituto do PTFE em aparelhos de apoio) para 22.000 tf sob 400 kgf/cm² de compressão

- 2) A avaliação da conformidade dos aparelhos é realizada através de testes em protótipos e testes de rotina: os testes de protótipo são realizados antes do início da produção ou em qualquer momento que haja modificação no projeto dos aparelhos; os testes de rotina são realizados durante a fabricação dos aparelhos, principalmente nas matérias primas e componentes.

A Comissão de Estudos Brasileira está em formação e planejamento. Como o trabalho é extenso, a Comissão será composta por um Coordenador, um Secretário e pelo menos dois Relatores para cada um dos Grupos de Trabalho das 11 partes que deve conter a nova Norma Brasileira (em correspondência com a Norma Europeia). Como em outras Comissões de Estudo da ABNT, a participação nas reuniões é livre a todos os interessados. As reuniões serão mensais e a reunião inicial será na sede do Sinduscon em São Paulo. Nessa reunião será definida a equipe responsável pela condução dos trabalhos e o cronograma das reuniões, o qual estará permanentemente à disposição na secretaria do ABNT/CB-02. ➤

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] The European Standard EN 1337 on Structural Bearings – Agostino Marioni – Chairman EN 1337;
- [02] UIC CODE 772R 1969;
- [03] Catálogos de fabricantes: Protende, Rudloff, Neoprex, Maurer, Mageba e Alga;
- [04] Publicação 1062 do IPT.

Competição Concreto Colorido de Alta Resistência

A Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB), no Maranhão, está organizando a Competição “Concreto Colorido de Alta Resistência”, com vistas a capacitar e motivar os estudantes de seus cursos de Engenharia e Arquitetura a participarem do Concurso Técnico do IBRACON “Concreto Colorido de Alta Resistência” (COCAR), a ser realizado no 57º Congresso Brasileiro do Concreto, de 27 a 30 de outubro, em Bonito, no Mato Grosso do Sul.

A Competição da UNDB está prevista para acontecer em 9 de maio, no Laboratório de Engenharia da instituição.

O COCAR tem o objetivo de testar a habilidade dos estudantes na preparação de concretos resistentes e colo-

ridos. O desafio proposto ao estudante é o de moldar um corpo de prova cúbico, com 10 cm de aresta, usando concreto colorido, capaz de atingir altas resistências à compressão.

“Queremos ofertar mais oportunidades de eventos aos estudantes de Engenharia do estado do Maranhão. Adicionalmente, pretendemos capacitá-los para a participação de uma competição técnica de nível nacional, onde podem ter contato

com outros grupos de pesquisa”, esclarece o diretor regional do IBRACON no Maranhão, Prof. Vito Alencar.

A competição é patrocinada pela empresa Bravo Engenharia.



Unidade de Ensino Superior Dom Bosco

Só quem tem mais de 100 anos de experiência pode oferecer tanta tecnologia!

Sika ViscoFlow®

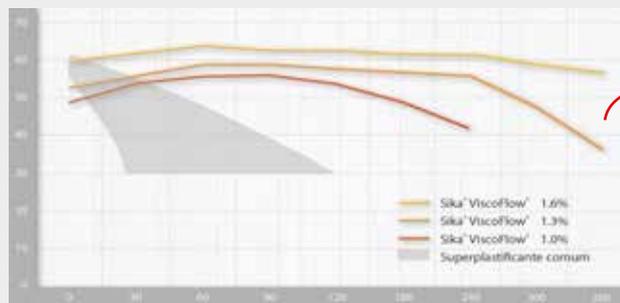
Aditivo superplastificante com manutenção extra prolongada da trabalhabilidade sem queda nas resistências iniciais

Isso que é tecnologia!

A indústria da construção civil com seus projetos desafiadores estão exigindo cada vez mais tempo de trabalhabilidade do concreto fresco.

A tecnologia do **Sika ViscoFlow®** garante atingir e manter a consistência desejada numa mistura de concreto mesmo em alta ou baixa temperatura do ambiente através de um novo polímero que permite:

- Manutenção do abatimento sem aumento no retardo da pega,
- Rápido desenvolvimento das resistências iniciais,
- Slup Test e Slump Flow do concreto constante por várias horas,
- Adequado para diversas aplicações com alta e baixa relação água/cimento.



Defina o tempo de trabalhabilidade baseado nas suas necessidades!



entre em contato
construcao.marketing@br.sika.com
facebook.com/sikabrasil

Cinpar 2015

Fórum de discussão de temas como manifestações patológicas na construção, ensaios destrutivos e não destrutivos para avaliação de estruturas, técnicas de reabilitação e reforços de estruturas e materiais de

reparação, o XI Congresso Internacional de Patologia e Recuperação de Estruturas (Cinpar 2015) acontece de 10 a 12 de junho, em São Leopoldo, Rio Grande do Sul.

Organizado pela Associação Bra-

sileira de Patologia das Construções (Alconpat Brasil), o evento está com as inscrições abertas, com valores promocionais até 20 de abril, que podem ser realizadas no site www.unisinis.br/eventos/cinpar.

Congresso Internacional em Reabilitação de Construções

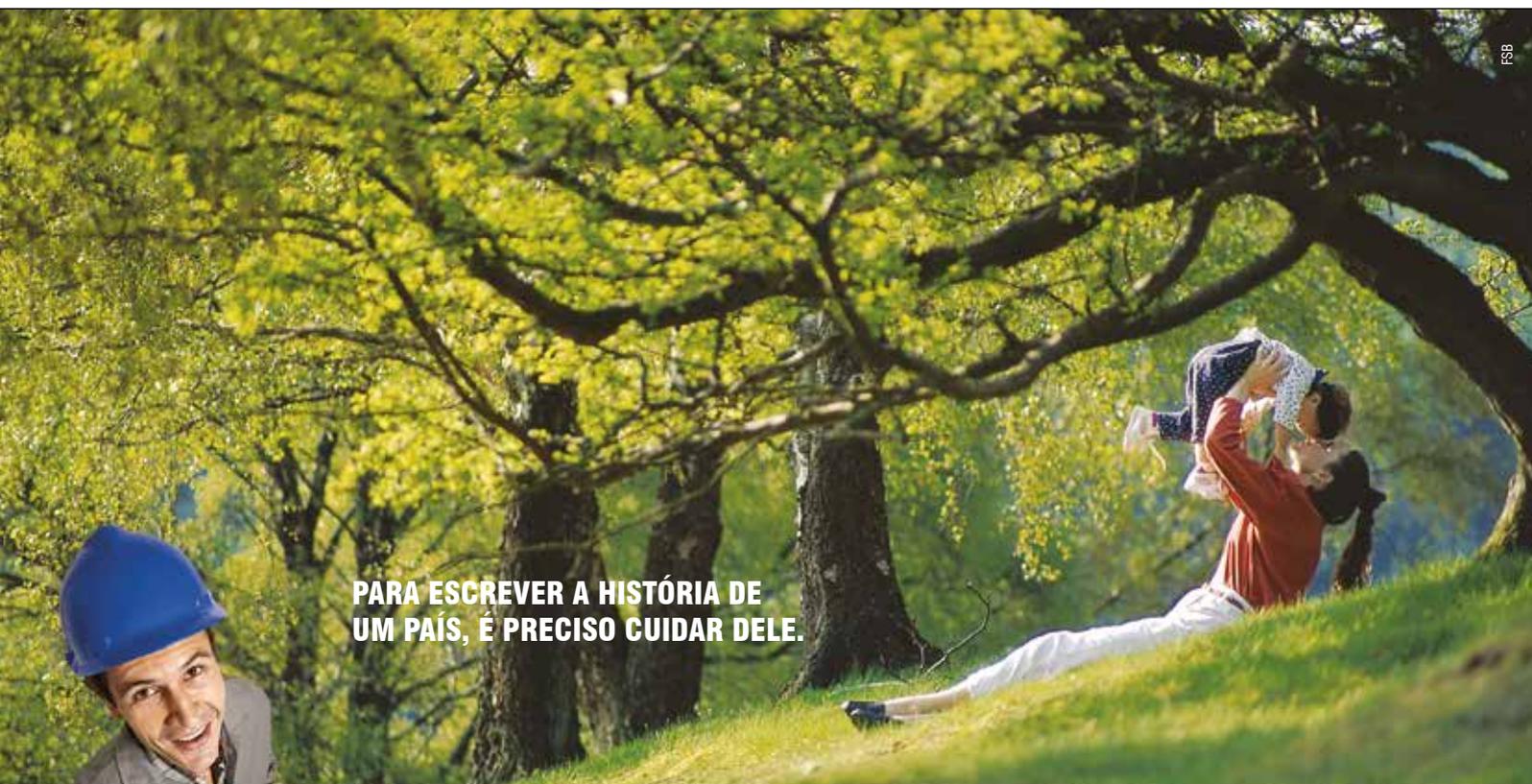
O Congresso Internacional em Reabilitação de Construções (Conpat 2015) vai ocorrer em Lisboa, Portugal, de 08 a 10 de setembro de 2015, com a finalidade de divulgar as melhores estratégias e tecnologias para o setor de reabilitação das construções, com a apresentação de casos práticos da Europa, América e África por especia-

listas reconhecidos internacionalmente.

Promovido pela Alconpat (Associação de Patologia das Construções), o evento oferecerá também os cursos: Patologia das Construções; Reabilitação das Construções; Manutenção das Construções; Concepção, Projeto e Construção de Estruturas FRP; Concretos Especiais; e Controle

Técnico da Qualidade da Construção.

As inscrições promocionais no Congresso vão até 15 de abril e devem ser realizadas no site www.conpat2015.com. A Regional do IBRACON no Rio Grande do Sul está organizando uma missão técnica para ir ao Conpat 2015. Informações: jefersonop@unisinis.br ou bftutikian@unisinis.br.



**PARA ESCREVER A HISTÓRIA DE
UM PAÍS, É PRECISO CUIDAR DELE.**

Para um país crescer, é preciso investimento. Mas é necessário também pensar no meio ambiente, na sociedade e nas futuras gerações.

A indústria do cimento investe em qualidade e utiliza as tecnologias mais avançadas para promover um desenvolvimento sustentável. Colabora ainda para tornar o meio ambiente mais limpo com o co-processamento: a destruição de resíduos industriais e pneus em seus fornos.

Onde tem gente tem cimento.

Concurso Universitário Canoas de Concreto

O Concurso Universitário Canoas de Concreto, na Universidade Positivo (UP) em Curitiba, aconteceu no dia 27 de fevereiro.

O campeonato faz parte do programa de atividades complementares do curso de Engenharia Civil, em que os estudantes realizam a escolha dos materiais, a dosagem do concreto, confeccionam a sua canoa e ao final competem em um percurso a remo no lago da Universidade.

O objetivo é fazer os



estudantes aplicar e aperfeiçoar os seus conhecimentos na área de tecnologia do concreto.

A atividade é coordenada pela Prof. Vinícius Bernardino Travagin e conta com o patrocínio da Cimento Itambé, que fornece o cimento para a produção dos concretos.

Foram 9 equipes totalizando 65 estudantes diretamente envolvidos e mais de 100 participantes.

**Orgulho em construir
o futuro do país,
na direção certa.**

Votorantim
Cimentos

Há mais de 70 anos no mercado, a Votorantim Cimentos é uma das principais produtoras de cimento do mundo e líder no setor no Brasil. Com um portfólio completo de soluções para a construção civil, traz inovação, qualidade e resultados para obras de diferentes portes. São projetos que auxiliam na construção de um caminho firme para o desenvolvimento do país.

5º Seminário de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da UCSAL

O Seminário de Materiais de Construção vai ser realizado de 04 a 08 de maio, no Auditório Inferior do Campus Pituáçu da Universidade Católica de Salvador (UCSAL). Seu objetivo é transmitir aos profissionais da área a im-

portância da correta e sustentável aplicação dos materiais de construção e disseminar o conhecimento das normas técnicas disponíveis sobre os diversos materiais utilizados na Construção Civil.

Realizado pelo Laboratório de

Materiais e Solos da UCSAL, o evento tem o patrocínio de Sinprocim, Viapol, Basf, Concremassa, Contimassa, Macafferri, SH Formas, L C Lacrosse, Axis Engenharia, Geotest, Sika, MC Bauchemie.

Conferência Internacional sobre a Reação Álcali-Agregado

Promovida pelo IBRACON e pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Ilha Solteira, a International Conference on alkali-aggregate reaction (ICAAR) está marcada para

acontecer em São Paulo, de 03 a 07 de julho de 2016.

A Conferência recebe até 15 de abril resumos de trabalhos que possam contribuir para maior entendi-

mento e a disseminação da reação álcali-agregado em estruturas de concreto.

Informações:

<http://ibracon.org.br/icaar/>



Revista CONCRETO & Construções

A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

PARA ANUNCIAR

Tel. 11- 3735-0202

arlene@ibracon.org.br

Periodicidade	Trimestral
Número de páginas	104 (mínimo)
Formato	21 x 28 cm
Papel	Couché 115 g
Capa plastificada	Couché 180 g
Acabamento	Lombada quadrada colada
Tiragem	5.500 exemplares
Distribuição	Circulação controlada, auditada pelo IVC

Consulte o perfil dos profissionais e o ramo de atuação das empresas do mailing:
www.ibracon.org.br (link "Publicações")



Formatos e investimentos

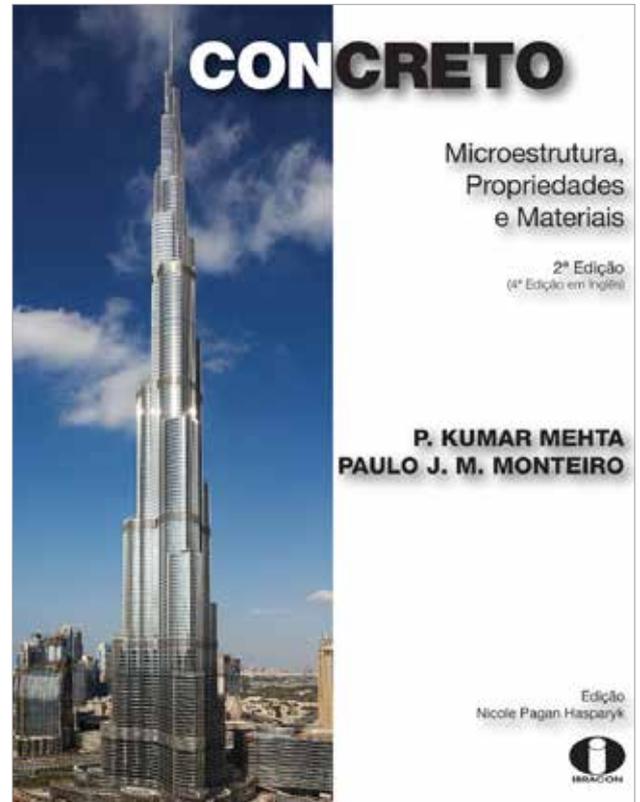
Formato	Dimensões	R\$
2ª Capa + Página 3	42,0 x 28,0 cm	9.650,00
Página Dupla	42,0 x 28,0 cm	8.550,00
4ª Capa	21,0 x 28,0 cm	6.530,00
2ª, 3ª Capa ou Página 3	21,0 x 28,0 cm	6.290,00
1 Página	21,0 x 28,0 cm	5.860,00
2/3 de Página Vertical	14,0 x 28,0 cm	4.390,00
1/2 Página Horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.190,00
1/2 Página Vertical	10,5 x 28,0 cm	3.190,00
1/3 Página Horizontal	21,0 x 9,0 cm	2.750,00
1/3 Página Vertical	7,0 x 28,0 cm	2.750,00
1/4 Página Vertical	10,5 x 14,0 cm	2.380,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta

Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais

- **Autores** P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro (Universidade da Califórnia em Berkeley)
- **Coordenador da edição em português** Nicole Pagan Hasparyk (Eletrobras Furnas)
- **Editora** IBRACON
4ª edição (inglês)
2ª edição (português)

Guia atualizado e didático sobre as propriedades, comportamento e tecnologia do concreto, a quarta edição do livro “Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais” foi amplamente revisada para trazer os últimos avanços sobre a tecnologia do concreto e para proporcionar em profundidade detalhes científicos sobre este material estrutural mais amplamente utilizado. Cada capítulo é iniciado com uma apresentação geral de seu tema e é finalizado com um teste de conhecimento e um guia para leituras suplementares.

→ **Informações:** www.ibracon.org.br



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





Anais do Congresso Brasileiro do Concreto

A cada ano o Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON realiza o Congresso Brasileiro do Concreto, maior fórum técnico nacional sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos.

Passados 22 anos, os anais das 55 edições do evento – no começo o Congresso Brasileiro do Concreto era realizado duas vezes ao ano – constituem um acervo técnico-científico rico e vasto à disposição de estudantes e professores dos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia, de profissionais do setor construtivo brasileiro e da comunidade técnica em geral.

Os anais reúnem os artigos técnico-científicos que foram apresentados e debatidos nas edições do Congresso Brasileiro do Concreto, desde a fundação do IBRACON. São mais de 4000 contribuições de especialistas nacionais e estrangeiros sobre os mais variados temas:

- ▶ Aditivos e adições;
- ▶ Agregados;
- ▶ Cimentos;
- ▶ Argamassas;
- ▶ Alvenarias;
- ▶ Cálculo e análise estrutural;
- ▶ Concretos e concretos especiais;

- ▶ Controle tecnológico;
- ▶ Durabilidade;
- ▶ Fôrmas;
- ▶ Impermeabilização;
- ▶ Monitoramento;
- ▶ Inspeção e manutenção;
- ▶ Normalização;
- ▶ Patologia e recuperação;
- ▶ Processos construtivos; entre outros.

Uma verdadeira enciclopédia brasileira sobre o concreto! Fonte de consulta obrigatória para explorar as potencialidades do material construtivo mais consumido no mundo.

Os artigos podem também ser adquiridos individualmente na Loja Virtual do site www.ibracon.org.br. Na Loja Virtual, é possível escolher os artigos fazendo uma busca por palavras-chave.

PROMOÇÃO

Aproveite para adquirir os anais do 51º ao 54º a preços promocionais.

Saiba mais:

Tel. (11) 3735-0202

E-mail: marilene@ibracon.org.br

Loja Virtual: www.ibracon.org.br

Segunda Conferência Internacional de Barragens (Dam World 2015)

- Data: 21 a 24 de abril
- Local: Lisboa, Portugal
- Realização: LNEC
- Informações: <http://dw2015.lnec.pt/>

XI Congresso Internacional de Patologia e Recuperação de Estruturas (Cinpar 2014)

- Data: 10 a 12 de junho
- Local: São Leopoldo, Rio Grande do Sul
- Realização: Alconpat Brasil
- Informações: www.unisinus.br/eventos/cinpar

Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia

- Data: 23 a 25 de junho
- Local: Expo Transamérica, em São Paulo
- Realização: Abef, ABMS, Sinabef e Abeg
- Informações: www.sefe8.com.br

Conferência Internacional "Multi-span large bridges"

- Data: 1 a 3 de julho
- Local: Porto, em Portugal
- Realização: FEUP
- Informações: <http://paginas.fe.up.pt/~mslb2015/authors.html>

Congresso Ibero-Americano de Betão Autocompactável

- Data: 6 e 7 de julho
- Local: Porto, em Portugal
- Realização: FEUP
- Informações: <http://paginas.fe.up.pt/~bac2015>

14º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização

- Data: 15 a 17 de julho
- Local: Espaço APAS, em São Paulo
- Realização: IBI
- Informações: www.ibibrasil.org.br/simposio2015

Congresso Internacional em Reabilitação de Construções (Conpat 2015)

- Data: 8 a 10 de setembro
- Local: Lisboa, Portugal
- Realização: Alconpat
- Informações: www.conpat2015.com

Conferência Internacional sobre Concreto Estrutural Sustentável

- Data: 15 a 18 de setembro
- Local: La Plata, na Argentina
- Realização: AATH, AAHES, LEMIT, RILEM
- Informações: www.sustainconcrete2015.com.ar

14º Congresso Internacional sobre Química do Cimento

- Data: 13 a 16 de outubro
- Local: Pequim, na China
- Realização: ICCC
- Informações: www.iccc2015beijing.org

ACREDITADO PELO INMETRO PARA CERTIFICAR
MÃO DE OBRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL



PROGRAMA IBRACON DE QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL



O IBRACON É ORGANISMO CERTIFICADOR DE PESSOAS, ACREDITADO PELO INMETRO (OPC-10).

ESTÃO SENDO CERTIFICADOS AUXILIARES, LABORATORISTAS, TECNOLOGISTAS E INSPECTORES DAS EMPRESAS CONTRATANTES, CONSTRUTORAS, GERENCIADORAS E LABORATÓRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO.

O CERTIFICADO ATESTA QUE O PROFISSIONAL DOMINA OS CONHECIMENTOS EXIGIDOS PARA A REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO, ENTRE OS QUAIS AS ESPECIFICAÇÕES E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS CONTIDOS NAS NORMASTÉCNICAS.

A CERTIFICAÇÃO É MAIS UM DIFERENCIAL COMPETITIVO PARA SUA EMPRESA: A GARANTIA DA QUALIFICAÇÃO DOS PROFISSIONAIS CONTRATADOS!



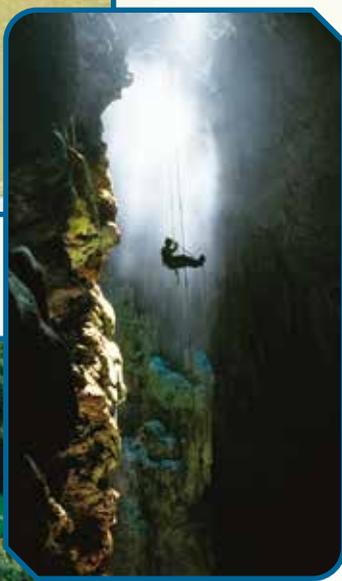
57º Congresso Brasileiro do CONCRETO

Bonito • MS • 2015

O futuro do concreto para a sustentabilidade nas construções

27 a 30 de outubro

Bonito, Mato Grosso do Sul



APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

Temas

- ▶ Gestão e Normalização
- ▶ Materiais e Propriedades
- ▶ Projeto de Estruturas
- ▶ Métodos Construtivos
- ▶ Análise Estrutural
- ▶ Materiais e Produtos Específicos
- ▶ Sistemas Construtivos Específicos
- ▶ Sustentabilidade

EVENTOS PARALELOS

- ▶ 3rd International Conference on Best Practices for Concrete Pavements
- ▶ Simpósio de Estruturas de Fundações
- ▶ Simpósio de Modelagem Numérica de Estruturas de Concreto
- ▶ Simpósio de Durabilidade

COTAS DE PATROCÍNIO

- ▶ Excelentes oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- ▶ Espaços comerciais na XI Feira Brasileira das Construções em Concreto (FEIBRACON)
- ▶ Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- ▶ Inscrições gratuitas no evento

Veja as cotas de patrocínio com Arlene Lima
Tel. (II) 3735-0202 | arlene@ibracon.org.br

R E A L I Z A Ç Ã O



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olímpia
CEP 05542-120 – São Paulo – SP – Brasil
Telefone (II) 3735-0202 | Fax (II) 3733-2190

 www.ibracon.org.br

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice