

CONCRETO

& Construções

PAVIMENTOS DE CONCRETO

RECOMENDAÇÕES DE PROJETO E EXECUÇÃO, NOVAS ALTERNATIVAS E PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO



IBRACON
Instituto Brasileiro de Concreto

Ano XLIII

81

JAN-MAR
2016

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

JOSÉ TADEU BALBO: BUSCA
POR NOVOS PARADIGMAS

MANTENEDOR

VENCEDORES DO PRÊMIO
SAINT GOBAIN DE ARQUITETURA

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

CAA EM REGIÕES
COSTEIRAS QUENTES

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 IBRACON

ADITIVOS



gcp applied technologies
SUA CONSTRUÇÃO É NOSSO NEGÓCIO



ADIÇÕES



JUNTAS

JEMNE

EQUIPAMENTOS



ARMADURA



GERDAU

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



Pires | Giovanetti | Guardia
Tratamentos de Infrações



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



CONSTRUINDO CONHECIMENTO



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

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

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



CONSTRUTORAS



FÓRMAS



CIMENTO



GOVERNO



PETROBRAS



CONCRETO



AGREGADOS





**CRÉDITOS
CAPA**

ACABAMENTO DE PAVIMENTO
DE CONCRETO EXECUTADO
COM PAVIMENTADORA,
ABCP

SEÇÕES

- 7 Editorial
- 8 Coluna Institucional
- 9 Converse com IBRACON
- 11 Encontros e Notícias
- 16 Personalidade Entrevistada:
José Tadeu Balbo
- 68 Prêmio ANAPRE de
Planicidade e Nivelamento
- 105 Mantenedor
- 112 Acontece nas Regionais
- 115 Agenda

ESTRUTURAS EM DETALHES

- 24 Sistema Pavimento Industrial
- 27 Evolução e alternativas em pisos industriais
- 33 Os dez mandamentos do pavimento de concreto
- 41 Perspectivas no uso do concreto com fibras em pavimentos
- 46 Projeto de pavimento de concreto protendido para terminal de contêineres
- 55 Low noise concrete pavements
- 62 Pervious concrete pavements



OBRAS EMBLEMÁTICAS

- 69 Desempenho de longo prazo de pavimento de concreto da Rodovia dos Imigrantes

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

- 79 Pavimento de concreto continuamente armado
- 90 Pista experimental da USP em pavimento de concreto com armadura contínua



- 95 Concreto autoadensável em regiões costeiras de clima quente

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

- 107 Avanço na normalização técnica brasileira de concreto e construções



REVISTA OFICIAL DO IBRACON

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

ISSN 1809-7197

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

JORNALISTA RESPONSÁVEL

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

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

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

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

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 2016 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

→ Guilherme Parsekian
(alvenaria estrutural)

COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Arnaldo Forti Battagin
(cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Tutikian
(tecnologia)
- Eduardo Millen
(pré-moldado)
- Enio Pazini de Figueiredo
(durabilidade)
- Ercio Thomas
(sistemas construtivos)
- Evandro Duarte
(protendido)
- Frederico Falconi
(projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian
(alvenaria estrutural)
- Helena Carasek
(argamassas)
- Hugo Rodrigues
(cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin
(normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak
(pré-fabricados)
- José Martins Laginha Neto
(projeto estrutural)
- José Tadeu Balbo
(pavimentação)
- Nelson Covas
(informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos
(arquitetura)
- Paulo Helene
(concreto, reabilitação)
- Selmo Chapira Kuperman
(barragens)
- Andréa Arantes Severi
(colaboradora da edição)

IBRACON

Rua Julieta Espírito Santo
Pinheiro, 68 – CEP 05542-120
Jardim Olímpia – 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

Julio Timerman

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

Luiz Prado Vieira Junior

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

Antonio D. de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

Carlos José Massucato

DIRETOR 1º TESOUREIRO

Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO

Nelson Covas

DIRETORA DE MARKETING

Íria Lícia Oliva Doniak

DIRETOR DE EVENTOS

Bernardo Tutikian

DIRETORA TÉCNICA

Inês Laranjeira da Silva Battagin

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Paulo Helene

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Eduardo Barros Millen

DIRETORA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Leandro Mouta Trautwein

DIRETOR DE CURSOS

Enio José Pazini Figueiredo

DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA

Gilberto Antônio Giuzio



Planos para gestão do IBRACON

Caro leitor,

Neste primeiro editorial como presidente do IBRACON, não poderia inicialmente deixar de agradecer ao Conselho Diretor pela confiança depositada. A responsabilidade é grande, mas, com o apoio da Diretoria e do Conselho Diretor do IBRACON, tenho a certeza que iremos levar a frente o Instituto, não obstante os tempos difíceis que estamos vivendo.

Com relação à nova Diretoria, ressalto que já está em plena atividade, com reuniões mensais na sede da ABCP. Objetivando-se atingir resultados mais eficazes, pretendemos implementar uma reestruturação no método de trabalho, com reuniões semanais setorizadas com Diretores, de acordo com o assunto que se pretenda discutir. Pretendemos, com isso, proporcionar maior flexibilidade na rotina dos Diretores, atingindo mais rapidamente os resultados esperados.

A boa receptividade da nova Diretoria demonstrou o quanto se quer fazer pelo desenvolvimento do Concreto no Brasil, dando ênfase a todas as ações que beneficiem os sócios.

Em relação ao plano de ações desta gestão, não obstante sermos sempre otimistas com o nosso maravilhoso país, os dias atuais recomendam cautela, pés no chão e sem “reinventar a roda”. Dizem que o mais difícil de ser executado são sempre as ações mais simples!! Por isso, transcrevo a seguir a missão do IBRACON que consta em nossos Estatutos, para tomarmos isto como o nosso plano de ações.

“O IBRACON tem por missão criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre materiais, projeto, construção, uso e manutenção de obras de concreto, desenvolvendo o seu mercado, articulando seus agentes e agindo em benefício dos consumidores e da sociedade em harmonia com o meio ambiente”

Para que fazer conjecturas e projetos irrealizáveis? Vamos implementar ações simples, que atendam à filosofia contida em nossa missão.

Inúmeras ações já estão em curso por todas as Diretorias, sem exceção, sempre com foco na missão do IBRACON, podendo-se destacar:

- Fortalecimento das Regionais, incentivando-as a promover eventos e workshops, dando o suporte técnico e material necessário;
- Reestruturação no relacionamento com as Regionais, motivando-as a atrair mais sócios locais;

- Manter, incentivar e promover uma nova estratégia de Marketing para nossa instituição, que reconhecidamente é a mais importante entidade técnica nacional voltada à cadeia produtiva do Concreto;
- Fortalecer e ampliar os Comitês Técnicos, inserindo-os nos eventos do IBRACON e de entidades parceiras, promovendo ainda workshops no sentido de apresentar os resultados obtidos;
- Estreitar e aumentar o relacionamento com entidades parceiras;
- Não obstante o Congresso Brasileiro do Concreto (CBC) já ter reconhecimento da Comunidade Técnica, pretende-se colocar na sua grade sessões técnicas com temas práticos e de interesse de Construtoras, atraindo novamente este importante participante da Cadeia Produtiva do Concreto;
- Fortalecer as atividades estudantis, com a criação da diretoria de Atividades Estudantis e sedimentando os Concursos promovidos durante os eventos do IBRACON e de outras entidades;
- Viabilizar, técnica e economicamente, o processo de Certificação, mediante sua reestruturação, iniciando, pela Diretoria de Cursos, o treinamento de potenciais candidatos ao processo de Certificação;
- Manter, promover e incentivar o lançamento de livros, publicações e periódicos, que tanto interesse atraem em nossos associados.

Finalizando, não poderia deixar de destacar o 57º CBC recentemente realizado em Bonito/MS. O retorno dos cerca de oitocentos presentes no evento, através da pesquisa respondida por eles, demonstra que o evento superou as expectativas, seja pelo tema principal escolhido, seja pelo alto nível técnico das palestras proferidas, destacando-se, ainda, sua perfeita organização.

Desejamos que o início desta nova gestão à frente do IBRACON coincida com o começo de um ciclo de crescimento para o setor, com resultados mais positivos para as empresas, criando meios para que essas possam reinvestir em tecnologia e treinamento.



JÚLIO TIMERMAN

PRESIDENTE DO IBRACON | INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

2016 será um ano difícil?

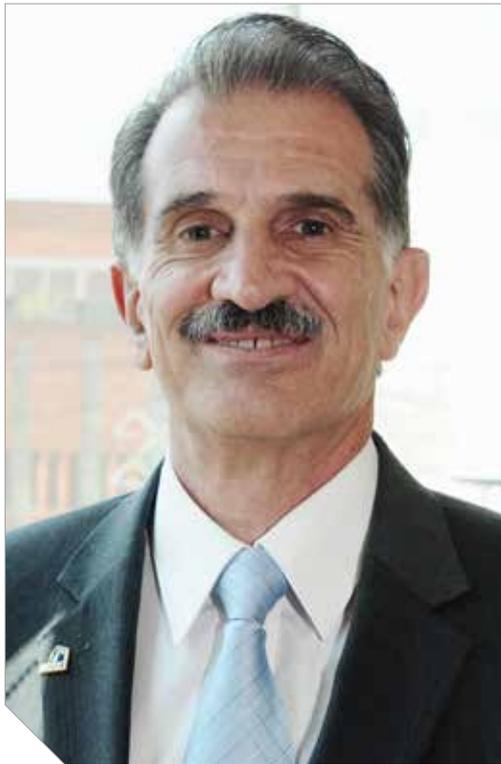
Assim prenunciam os arautos do apocalipse. Economistas de grandes corporações, diretores de empresas, agências de classificação de risco indicam um ano com sérias dificuldades econômicas para o Brasil em geral e também com sérias dificuldades políticas para os políticos em particular. Estamos vivendo tempos nunca antes acontecidos. Não podemos dizer que já vimos este filme, porque presidentes e altos executivos de grandes construtoras e políticos sendo presos é uma novidade. Juízes corajosos para fazer a justiça prevalecer, um ministério público atuante e a polícia federal cumprindo seu dever com a determinação de agora, é algo inusitado.

E isso não é para todos se animarem na suposição de que os ladrões, corruptos, desonestos, efetivamente pagarão pelos seus crimes? E daí o medo, que antes não existia, de ir parar atrás das grades não irá impedir novos delitos? Pois era essa a razão dos crimes: ninguém ia para a cadeia a não ser o ladrão de maçã da feira.

Sim, acredito que devemos mais nos animar com o que está acontecendo, vendo as coisas boas que estão por aí, do que ficarmos nos lamentando atrás das previsões de mau agouro.

Devemos nos engajar na luta pela decência, honestidade, eficiência, competência. Só assim haverá progresso.

Com essa visão e com o propósito de cumprir os objetivos pelos quais foi criado, quais sejam, atuar na defesa e valorização da engenharia civil, com objetivo de divulgar a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre materiais, projeto, construção, uso e manutenção de obras de concreto, desenvolvendo



seu mercado, articulando seus agentes e agindo em benefício dos consumidores e da sociedade em harmonia com o meio ambiente, assim o IBRACON continuará sua rota, agora sob a presidência do eng. Julio Timerman e sua nova diretoria, da qual orgulhosamente, por seu convite, passo a fazer parte. Como instituição e com o intuito de não nos abatermos por previsões ruins, vamos continuar a ter nas publicações um dos veículos principais de divulgação, educação, informação e boas notícias. Só assim e com cada um cumprindo com sua função, conseguiremos superar o ano com menos dificuldades, até voltarmos a

ter crescimento e desenvolvimento para todos.

Peço especial atenção aos leitores, para conferirem os participantes do Comitê Editorial desta revista, sob a presidência do prof. Dr. Guilherme Parsekian, com a equipe completada com mais profissionais, todos do mais alto nível técnico. Com essa equipe, sem dúvida, teremos ótimas edições pela frente!

O planejamento geral do ano já está feito, com os temas de capa definidos e com a disposição e comprometimento já declarados de todos os integrantes do Comitê em trabalhar em prol dos objetivos do Instituto.

Um agradecimento que não podemos deixar de fazer, ao nosso incansável e competente editor Fábio Luís Pedroso, pessoa sem a qual esta publicação não seria possível. Acreditemos no futuro, vamos pensar positivo e cumprir nossas obrigações. O IBRACON continua ao lado de nossa engenharia.

Feliz 2016 a todos.

ENG. EDUARDO BARROS MILLEN

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES TÉCNICAS DO IBRACON 

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

PERGUNTAS TÉCNICAS

QUAL A ESPECIFICAÇÃO E O CONTROLE APROPRIADOS PARA O CONCRETO APLICADO A FUNDAÇÕES, CONSIDERANDO LANÇAMENTO DE GRANDE ALTURA EM MEIO FLUIDO (POLÍMERO OU BENTONITA), OU AINDA A CONCRETAGEM CONTRA O SOLO, MAIS ESPECIFICAMENTE NO CASO DE ESTACAS ESCAVADAS DE GRANDE DIÂMETRO, COM FLUIDO ESTABILIZANTE, OU ESTACAS HÉLICE-CONTÍNUA MONITORADAS?

CLOVIS SALIONI JUNIOR

DIRETOR PRESIDENTE DA ABEF

Segundo a norma atual de fundações ABNT NBR 6122, o concreto deve ter consumo mínimo de 400kg por m³ e $f_{ck} \geq 20\text{MPa}$. Como essa especificação contém em si uma incoerência técnica grave é preciso atualizar.

Por um lado essa especificação é muito antiga, da época que não se falava de sustentabilidade do planeta, se empregava agregados naturais (areia grossa lavada de rio e seixo rolado) e não existia aditivos e adições. Por outro lado é muito ruim especificar o que não se pode medir, e até hoje não existe no Brasil nem no mundo, um método para medir consumo de cimento no recebimento do concreto fresco.

Portanto o ideal é especificar propriedades mensuráveis e deixar por conta do produtor do concreto quais os materiais e em que quantidade serão utilizados.

Considerações sobre tensões de compressão no concreto de estacas:

- me parece que as normas recomendam que 80% dos esforços verticais sejam resistidos pelo atrito lateral e apenas 20% pelo fuste comprimido. Muito difícil que o fuste suporte tensões atuantes superiores a 6MPa. Fiz um estudo de uma estaca tipo hélice de 22m de profundidade e as tensões no concreto, máximas, não chegaram nem a 3MPa;
- nas paredes diafragma o limitador em geral é o tamanho dos equipamentos que fazem que as espessuras mínimas sejam da ordem de 30cm (Clam Shell) e 60cm (Hidro-fresa) até 1,40m, creio eu. A resistência à compressão do concreto em peças fletidas (paredes diafragma), em geral, tem pequena importância frente à disposição e taxa de armadura;
- em sapatas e tubulões as tensões no concreto ficam limitadas pelas tensões resistentes do solo, ou seja, algo sempre inferior a 2MPa, em geral. Óbvio que no topo, no encontro sapata-pilar ou encontro sapata-bloco de fundação, onde pode haver momentos e até tração, pode ser necessário tensões mais elevadas no concreto(?);
- necessita-se de um concreto fluido, auto adensável, coeso, uniforme que se altere o mínimo possível durante o lançamento;
- para conseguir isso, simplisticamente falando, é preciso de uns 450kg de finos por m³, ou seja material de Dmax inferior a 0,150mm que pode ser cimento (mas seria contra a sustentabilidade do planeta) ou areia fina, argila, silte, pó calcário, escória moída, fly ash, metacaulim, sílica ativa, cal hidratada, certos aditivos espessadores, etc.;
- claro que se for realizado um estudo adequado de dosagem é possível melhorar ainda mais o concreto usando conceitos de granulometria contínua, densificação da massa, e outros que reduziram ainda mais a carência de finos.

Portanto porque usar cimento se é possível usar outros materiais que não poluem a atmosfera ou já a poluíram anteriormente durante a fabricação (resíduos industriais) e hoje seriam considerados entulhos poluidores também?

Concluindo a idéia é usar da ordem de 200kg de cimento e o restante outros materiais finos.

Hoje, com o advento da norma de concreto autoadensável ABNT NBR 15823, há total possibilidade de especificar as propriedades mensuráveis de um concreto fresco destinado a estacas e paredes diafragma (concretagem submersa em presença de lama).

Resumindo pode-se dizer, que nos casos gerais, $f_{ck} = 20\text{MPa}$ é mais que suficiente para a maioria dos casos de fundações (estacas) moldadas com concreto no local.

Considerações sobre procedimento executivo:

A proposta seria:

- ▶ $f_{ck} \geq 20\text{MPa}$ (ABNT NBR 5738, NBR 5739 e NBR 12655);
- ▶ concreto autoadensável, com classificação SF2 na ABNT NBR 15823 e $600\text{mm} \leq \text{Espalhamento (slump flow)} \leq 750\text{mm}$;
- ▶ segregação estática, classificação SR2 na ABNT NBR 15823 e coluna $\leq 15\%$;
- ▶ concreto autoadensável, classificação PL2 na ABNT NBR 15823 (Caixa L) ($\geq 0,80$)
- ▶ exsudação total de água $\leq 2\%$ (ABNT NM 102 - Concreto Fresco. Determinação da exsudação de água. Método de Ensaio).

PROF. PAULO HELENE, DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS DO IBRACON E MEMBRO DO COMITÊ EDITORIAL

VOCÊ SABERIA ME DIZER POR QUE A NORMA RECOMENDA QUE O GRAUTEAMENTO DO PRISMA CHEIO PARA O CONTROLE TECNOLÓGICO DA ALVENARIA OCORRA APENAS 16 HORAS APÓS O ASSENTAMENTO? NA REALIDADE, PARA A EXECUÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE PRISMA CHEIO NA OBRA, ESTA PRÁTICA É ÀS VEZES RELEVADA POR ENGENHEIROS DE OBRAS E MESMO RESPONSÁVEIS PELOS PROCEDIMENTOS DA QUALIDADE. PRECISAVA SABER SE ESTA PRÁTICA PODE TRAZER ALGUM PREJUÍZO NOS RESULTADOS FINAIS DOS ENSAIOS. PORQUE TEMOS VÁRIOS RESULTADOS DE ENSAIOS, EM ESPECIAL DE PRISMA CHEIO, QUE APARECEM COM VALORES BAIXOS E NA REALIDADE NÃO DEVERIAM SER TÃO BAIXOS.

ENG^a FABIANA CRISTINA MAMEDE

ESCRITÓRIO PEDREIRA DE FREITAS

Fabiana, antes do grauteamento é

necessária uma cura mínima da argamassa. Não tomar esse cuidado pode levar a deslocamento e desalinamento dos blocos, impedindo que o prisma tenha a precisão necessária para o ensaio.

Vale comentar que tanto na versão antiga da norma de ensaio de prisma (ABNT NBR 8215/1983 – Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão – Método de ensaio), quanto na atual norma ASTM C1314/2014 (Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms), o prazo mínimo de espera de cura do prisma antes do grauteamento é especificado em 24 horas. Na revisão da norma de execução de alvenaria, ABNT NBR 15961-2/2011 (Alvenaria Estrutural – Bloco de Concreto – Parte 2: Execução e Controle de Obra), que incorporou a NBR 8215, o comitê entendeu que seria benéfico reduzir esse prazo para 16 horas, permitindo assim a construção do prisma de tarde e grauteamento na manhã seguinte.

Comento ainda que todas normas com procedimentos para ensaios de elementos de alvenaria estão passando novamente por revisão e deverão ser agrupados em um único texto, contendo especificações para ensaio à compressão, à flexão, à flexo-compressão e ao cisalhamento em paredes e prismas de alvenaria. É provável que quando da publicação desta Revista, o Projeto ABNT NBR 018:600.04-001 (Alvenaria de blocos

de concreto – Métodos de ensaio) esteja em Consulta Nacional pela ABNT. O grauteamento imediato pode ser uma causa de resultado não esperado em ensaio de prisma. Outra causa pode ser a expectativa errada de valor de resistência. Espera-se que prismas grauteados de blocos de concreto de alta resistência não apresentem o mesmo ganho de resistência em relação ao prisma oco, do que o esperado para blocos de menor resistência. Recomendação para especificação em projeto do prisma grauteado pode ser encontrada na publicação “Parâmetros de Projeto de Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto” (EdUFSCar, 2012), disponível na Comunidade da Construção (<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/>) e na editora (www.editora.ufscar.br).

Resultados de resistência à compressão de prismas grauteados ou não grauteados, para várias resistências de blocos de concreto, de 5 a 34 MPa, podem ser encontrados na dissertação de mestrado “FORTES, E. S. Influência do capeamento e caracterização da resistência à compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto (Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, UFSCar, 2012)” disponível para download em www.ppgeciv.ufscar.br.

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

Alvenaria Estrutural: cálculo, detalhamento e comportamento

O livro objetiva esclarecer dois importantes efeitos relacionados às paredes de alvenaria estrutural e que devem ser considerados nos cálculos das edificações: o efeito de arco e os esforços resultantes da ação do vento.

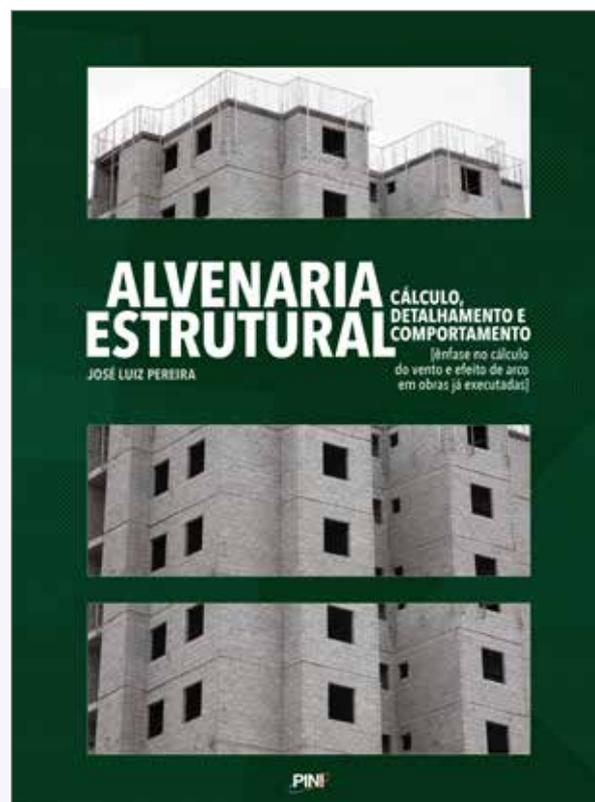
Seu autor, José Luiz Pereira, é engenheiro civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com larga experi-

ência profissional em projeto e execução de edificações em alvenaria estrutural.

Destina-se a engenheiros, arquitetos e projetistas de estrutura e de fundações, bem como aos estudantes que desejam conhecer mais sobre esse sistema construtivo.

→ **Informações:**

www.piniweb.com.br



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



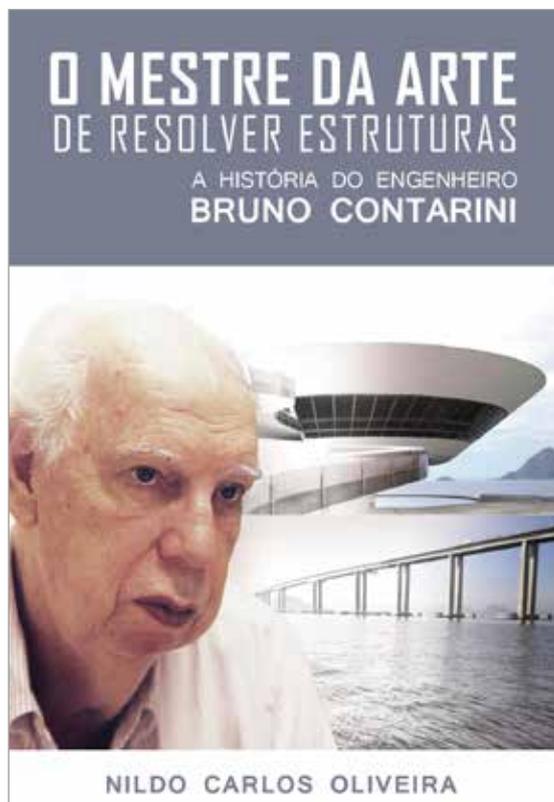
As vantagens deste sistema construtivo, presente no Brasil há mais de 50 anos:

- 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


Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto



O mestre da arte de resolver estruturas

O jornalista Nildo Carlos Oliveira lançou recentemente o livro “O mestre da arte de resolver estruturas: a história do engenheiro Bruno Contarini”, pela editora Joseph Young Editorial. O livro, patrocinado pela Arcelor Mittal, conta a vida deste engenheiro, que foi um dos responsáveis pela construção da ponte Rio-Niterói, do Museu

de Arte Contemporânea do Rio de Janeiro e de outros importantes marcos da arquitetura e engenharia brasileiras. Com 200 páginas, o livro traz ainda soluções estruturais adotadas por Bruno Contarini em suas obras, no Brasil e no exterior.

→ **Informações:**

www.revistaempreiteiro.com.br

Não fique de fora do maior evento técnico brasileiro sobre fabricação de cimento.



20 A 22 DE JUNHO 2016
HOTEL MAKSOUZ PLAZA
SÃO PAULO/SP • BRASIL



Conferência Inaugural
Compromissos do Brasil
na COP 21-Paris e a
Indústria de Cimento
Prof. José Goldemberg
Presidente da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo



Associação
Brasileira de
Cimento Portland



Outras Conferências

- ✓ Centro de estudo sobre sustentabilidade do concreto do Massachusetts Institute of Technology (MIT). Avaliação do ciclo de vida de edifícios e pavimentos e a construção sustentável *James Toscas, Presidente da PCA, Portland Cement Association, Estados Unidos*
- ✓ Resultados das negociações da COP 21 em Paris e seus efeitos sobre a indústria cimenteira mundial. *Philippe Fonta, Diretor de Aplicações em Negócios do Conselho Mundial Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, WBCSD, Bélgica*
- ✓ Coprocessamento em fornos de cimento na América Latina *Maria José Garcia, Diretora Executiva da Federación Interamericana de Cimento, FICEM*

Junho

2016

03

Data-limite para
inscrição com desconto.

Não perca!

Garanta sua presença entre os
nomes e autoridades do setor.

www.7cbci.com.br

2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

A Associação Brasileira de Patologia das Construções (ALCONPAT BRASIL), com apoio do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), promove, de 18 a 20 de abril de 2016, na cidade de Belém, no Pará, o 2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (2º CBPAT).

Fórum de debates sobre o controle da qualidade, a patologia e a recuperação

de estruturas, com intuito de divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas sobre estes importantes temas e áreas correlatas, as inscrições para o evento estão abertas.

Durante o Congresso serão realizados três minicursos – Aspectos gerais da vida útil das estruturas de concreto; Boas práticas de execução das paredes de concreto com autoadensável; e Diagnósticos e

cases sobre mecanismos de degradação. O evento é voltado aos profissionais do setor construtivo, engenheiros, técnicos, pesquisadores, empresários, fornecedores, investidores e estudantes. Nele estarão presentes os diretores do IBRACON, professores Bernardo Tutikian, Enio Pazini e Paulo Helene.

→ **Informações:**

<http://alconpat.org.br/cbpat2016/>

Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

O IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas – IX CBPE vai acontecer nos dias 18 e 20 de maio, no Rio de Janeiro. Sob o tema “Rio de Janeiro – Cidade Olímpica, o evento vai divulgar os trabalhos de pesquisa e de aplicação sobre projeto, construção, recuperação, reforço e manutenção de

pontes, estádios, edifícios, portos, indústrias, bem como a normalização, a análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado e protendido, entre outras.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, participará da Mesa-Redonda “O processo de desenvolvimento de pro-

jetos no Brasil e na Europa”, juntamente com outros especialistas no tema.

O evento é promovido pela Associação Brasileira de Pontes e Estruturas (ABPE) e pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece).

→ **Informações:**

www.cbpe2016.com.br



atex BRASIL
A FÔRMA DA LAJE NERVURADA

OBTENHA GRANDES VÃOS E REDUZA CERCA DE 30% NOS CONSUMOS DE CONCRETO E AÇO EM SUA OBRA



A ATEX®, pioneira no Brasil em fôrmas para lajes nervuradas, está sempre inovando e aprimorando sua qualidade para atender cada vez melhor o mercado.

A ATEX® disponibiliza a maior gama de fôrmas com mais de 92 opções para que seu projeto se adeque às mais diferentes exigências e normas do mercado.



ABNT 15200

As lajes ATEX® atendem as exigências da NBR 15200 da ABNT.



ABNT 15575-3

Atendem a Norma de Desempenho NBR 15575-3 Acústica.



ATENDEMOS TODO O BRASIL
0800 979 3611
www.atex.com.br

2ª Conferência Internacional sobre sustentabilidade do concreto

Organizada pela Universidade Politécnica de Madri (UPM) e co-organizada pela Ache, ACI, Alconpat, fib, Rilem e JCI, com a finalidade de discutir tecnologias redutoras de impactos ambientais, aspectos de durabilidade de projetos de obras e materiais e estruturas sustentáveis, a 2ª Conferência Internacional sobre sustentabilidade

do concreto (ICCS16) vai acontecer de 13 a 15 de junho de 2016, em Madri, na Espanha.

Participarão como palestrantes convidados o presidente do American Concrete Institute (ACI), Michael Schneider, o presidente da Federação Internacional do Betão (fib), Harald Müller, e o presidente da International Union of Laboratories

and Experts in Construction Materials, System and Structures (Rilem), Johan Vynckle, a presidente-executiva da Abcic, Íria Doniak, e o diretor de relações institucionais do IBRACON, Paulo Helene. O evento está com as inscrições abertas.

→ **Informações:**

www.iccs16.org

Conferência Internacional sobre a Reação Álcali-Agregado

Promovida pelo IBRACON e pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Ilha Solteira, a 15th International Conference on alkali-aggregate reaction (ICAAR) vai acontecer em São Paulo, de 3 a 7 de julho. A Conferência objetiva apresentar e discutir os estudos científicos sobre a reação álcali-agregado (RAA), que afeta as estru-

turas de concreto em todo o mundo, trazendo perdas na durabilidade e no ciclo de vida útil dessas estruturas. Com isso, espera contribuir com a disseminação de conhecimento sobre a RAA, seus mecanismos de deterioração e suas manifestações patológicas, bem com a difusão de técnicas para sua prevenção e mitigação.

Entre os palestrantes no evento, estarão os diretor e ex-presidente do IBRACON, Cláudio Sbrighi Neto e Selmo Kuperman, respectivamente.

As inscrições para a Conferência estão abertas e a preços promocionais.

→ **Informações:**

<http://ibracon.org.br/icaar/>

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



IABMAS 2016

A 8ª Conferência Internacional sobre Manutenção, Segurança e Gerenciamento de Pontes (IABMAS 2016) será realizada em Foz do Iguaçu, no Brasil, de 26 a 30 de junho de 2016, sendo organizada pela Associação Internacional para Manutenção e Segurança de Pontes (IABMAS, na sigla em inglês), tendo o apoio da Universidade de São Paulo (USP). O evento é coordenado pelo vice-presidente do IBRACON, Prof. Tulio Bittencourt.

A Conferência será composta por 18 simpósios, que discutirão temas, como avaliação do ciclo de vida de pontes em ambientes agressivos com base em seu desempenho, modelagem e monitoramento de



pontes, reabilitação e manutenção de pontes, aspectos geotécnicos e estruturais das fundações de pontes, entre outros. 17 Sessões especiais sobre desafios impostos aos proprietários e operadores pelo envelhecimento da infraestrutura, colapsos repentinos e não esperados, normalização da qualidade para pontes rodoviárias, uso de tecnologias da informação pela engenharia de

pontes, reforço de pontes com concreto ultra-alto desempenho, entre outros temas, também vão integrar a Conferência. Nela estarão presentes os diretores do IBRACON, professores Bernardo Tutikian, Enio Pazini, Luiz Carlos Pinto e Paulo Helene.

As inscrições para a Conferência estão abertas e a preços promocionais.

→ **Informações:**

www.iabmas2016.org

FOCUSED ON PARTNERSHIPS



A MARCA QUE VOCÊ CONHECE E CONFIA TEM UM NOVO NOME

GRACE


gcp applied technologies
GRACE CONSTRUCTION & PACKAGING



José Tadeu Balbo

José Tadeu Balbo é engenheiro civil formado em 1984, com mestrado e doutorado em Engenharia dos Transportes, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). É Livre Docente em Projeto e Construção de Pavimentos pela USP desde 1999.

Em sua carreira profissional, atuou nas empresas Sondotécnica, Setepla e Etep, como engenheiro e coordenador de projetos, e fundou com colegas a Tecnacon, empresa de consultoria em projetos, que possuía laboratório para ensaios de solos e asfaltos, que prestou serviços para diversas empresas de projeto em São Paulo, além de executar projetos viários, como a

restauração e drenagem da Avenida dos Bandeirantes, da Rodovia Régis Bittencourt, dos helipontos dos Palácios dos Bandeirantes e Boa Vista, dentre inúmeros outros.

Optou por seguir a carreira acadêmica, ambiente que lhe proporciona buscar, segundo ele, novos paradigmas para enfrentar os problemas da Engenharia de Transportes, sendo atualmente professor da USP e chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica. Como pesquisador, é coordenador de um projeto de uma pista experimental em concreto continuamente armado, recentemente inaugurada, cujos resultados devem servir para a normalização e o projeto estrutural desse tipo de pavimento em nosso país.

IBRACON – EM SUA CARREIRA
PROFISSIONAL, LOGO APÓS SE GRADUAR EM ENGENHARIA CIVIL (1984), VOCÊ OPTOU PELA ÁREA DA ENGENHARIA DOS TRANSPORTES NA PÓS-GRADUAÇÃO. CONTE-NOS AS RAZÕES QUE O MOTIVARAM A ESCOLHER A PROFISSÃO DE ENGENHEIRO CIVIL; EM SEGUIDA, A PREFERIR

A ÁREA DE TRANSPORTE; E, POR FIM, A OPTAR POR SEGUIR A CARREIRA ACADÊMICA, DEPOIS DE TER SIDO ENGENHEIRO DE PROJETOS EM EMPRESAS COMO A SONDOTÉCNICA, SETEPLA E ETEP, CONSIDERANDO AINDA SUA EXPERIÊNCIA EM TER SIDO SÓCIO-FUNDADOR E DIRETOR TÉCNICO DA TECNACON.

JOSÉ TADEU BALBO – A origem de meu interesse por engenharia civil e por infraestrutura de transportes remonta ao início da construção da rodovia Castelo Branco em meados dos anos 1960. Meu saudoso pai era grande entusiasta de rodovias e se maravilhava

com a obra; viajávamos para o interior paulista com frequência e pude ver as máquinas operando, os cortes em solos e rochas, as pontes, o asfalto completando o cenário. Isso tudo me encantava e gostava de brincar com carrinhos simulando esse tipo de obra. Foi aí que nasceu o gosto pela área. Já as experiências em empresas de projeto e obras rodoviárias me proporcionaram o entendimento prático do arranjo espacial das tarefas, a busca por jazidas de solos, pedras e areias, as usinas misturadoras, o transporte e aplicação dos materiais. Também me permitiram o entendimento de que esses projetos e obras eram multidisciplinares.

Por sua vez, a fundação de uma empresa com colegas foi uma busca por trabalhar em projetos e ensaios de laboratório de uma maneira mais integrada, com finalidades de proporcionar aos clientes estudos mais aprofundados e realizados com uma visão além da normalização requerida. Por fim, a escolha da carreira acadêmica se deu quando me ficou claro que somente em ambiente de pesquisa é que se poderia de fato, com o esforço reflexivo e intelectual, buscar a construção de novos paradigmas para os problemas de engenharia de Transportes que me ocupavam.

IBRACON – A PROPÓSITO: QUAIS FORAM AS PRINCIPAIS LIÇÕES APRENDIDAS PELO PESQUISADOR DAS EXPERIÊNCIAS ADQUIRIDAS NESSAS EMPRESAS? QUAIS PROJETOS

FORAM MAIS MARCANTES NESTA SUA FASE DE ENGENHEIRO DE PROJETOS PARA SUA CARREIRA PROFISSIONAL? EM SUA VISÃO COMO ACADEMIA E MERCADO PODEM E DEVEM ESTREITAR RELACIONAMENTOS PARA O ESTABELECIMENTO DO ESCOPO DOS PROJETOS DE PESQUISA?

José Tadeu Balbo – Essas experiências na iniciativa privada me ajudam até hoje como educador de jovens engenheirandos. Uma das principais lições aprendidas foi que a aplicação cega de normas copiadas ou traduzidas de especificações estrangeiras não era lícita: era preciso desenvolver mais conhecimento, coisa que naqueles ambientes não se tinha como atividades-fim. Por outro lado, projetos como a restauração de trechos da BR-153 (SP) e da BR-101 (MG) foram de fato “escolas de aprendizado”. O mais marcante foi coordenar o projeto de restauração e reconstrução da Avenida dos Bandeirantes, em São Paulo, bem como atuar como consultor da obra, devido às enormes complexidades de drenagem e de tráfego, em uma época que o rododanel metropolitano ainda era apenas discurso. Propusemos diversas soluções de reconstrução, como uso de pavimentos de concreto simples no trecho mais inclinado, onde as trilhas de rodas em revestimentos asfálticos eram recorrentes, bem como outras soluções em pavimentação semirrígida.

Quanto à atuação em parceria entre a indústria e a academia, sou plenamente favorável e entusiasta desse tipo de iniciativa, assunto sobre o qual

tive excelentes lições do engenheiro Francisco Sanz-Esteban, antigo presidente da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). O projeto experimental de uma pista de concreto continuamente armado, executado em janeiro desse ano no campus da USP, é fruto de dois anos de entendimento com vários entes da indústria e da construção civil (veja nesta edição artigo sobre o assunto). A pesquisa de infraestrutura de Transportes, como é típica em minha carreira conduzir, requer a experimentação em verdadeira grandeza. Para isso temos que pavimentar e instrumentar pista em aeroporto, porto, rodovia ou via urbana. Fiz isso inúmeras vezes, inclusive de início com financiamento de agência de fomento, coisa que hoje está muito difícil, por inúmeras razões, e não há como não convidar e trazer o setor produtivo para o nosso lado. Há na academia quem não considere isso lícito, mas garanto que sempre mantivemos em nosso grupo total independência científica e intelectual, o que, por vezes, não agrada também. Há que conciliar as partes para entendimentos das metas e tarefas de cada setor e estabelecimento das parcerias.

IBRACON – VOCÊ SE DEDICOU AOS TEMAS DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS E SEMIRRÍGIDOS DESDE O INÍCIO DE SUAS PESQUISAS CIENTÍFICAS. O QUE SÃO OS PAVIMENTOS RÍGIDOS E OS PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS? POR QUE O ESTUDO CIENTÍFICO DESSES



O PROJETO EXPERIMENTAL DE UMA PISTA DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO, EXECUTADO EM JANEIRO NO CAMPUS DA USP, É FRUTO DE DOIS ANOS DE ENTENDIMENTO COM VÁRIOS ENTES DA INDÚSTRIA E DA CONSTRUÇÃO CIVIL



“

O ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DESSAS SOLUÇÕES [PAVIMENTOS RÍGIDOS, HÍBRIDOS E SEMIRRÍGIDOS] PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS É FUNDAMENTAL PARA TERMOS RODOVIAS DE MELHOR DURABILIDADE

”

PAVIMENTOS É IMPORTANTE? QUAIS SÃO SUAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES?

JOSÉ TADEU BALBO – Tradicionalmente, os engenheiros rodoviários entendem por pavimentos rígidos aqueles que possuem revestimento em concreto; isso não é completamente justificável, pois os blocos de concreto intertravados sobre bases granulares são flexíveis, para exemplificar. Prefiro chamá-los de pavimentos de concreto quando esse material é seu revestimento. Quando a base é em concreto e o revestimento de algum tipo asfáltico, os pavimentos são denominados híbridos e são também rígidos. Os pavimentos

semirrígidos são aqueles que possuem revestimento asfáltico e base ou sub-base, ou ambas, com algum material estabilizado com ligante hidráulico, que não é concreto. O estudo e desenvolvimento dessas soluções para as condições brasileiras é fundamental para termos rodovias de melhor durabilidade. Para o tráfego pesado temos de pensar em pavimentos de concreto ou em pavimentos híbridos. Para situações de médio volume de tráfego, os pavimentos semirrígidos hoje necessitam de melhorias profundas concernentes às bases cimentadas, pois elas têm revelado baixa durabilidade; mas há muito o

que podemos fazer para melhorá-las e termos resultados mais positivos no futuro próximo. As aplicações desses tipos de pavimentos são amplas em rodovias, vias urbanas e BRT (Bus Rapid Transit) graças à evolução da tecnologia de misturas asfálticas de elevado desempenho para suportar tráfego pesado.

IBRACON – RECENTEMENTE TEM SE DEDICADO AO PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO, COM A RECÉM-INAUGURADA PISTA EXPERIMENTAL NA USP. O QUE É O PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO? QUAIS SUAS VANTAGENS EM RELAÇÃO AO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES E ARMADO? DE QUE FORMA O PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO PODE CONTRIBUIR COM O MERCADO DE PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL? QUAL É O PROPÓSITO DA PISTA EXPERIMENTAL COM CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO DA USP? QUAL É SUA EXPECTATIVA DE QUANDO E COMO OS RESULTADOS AFERIDOS COM A PISTA EXPERIMENTAL PODERÃO SERVIR DE BASE PARA AS DECISÕES DE MERCADO QUANTO AOS MELHORES TIPOS DE PAVIMENTOS A SER EMPREGADOS SEGUNDO AS DIFERENTES SITUAÇÕES DE IMPLANTAÇÃO?

JOSÉ TADEU BALBO – Gostaria nesse ponto que o leitor seja direcionado ao meu artigo nessa edição, que responde grande parte dessas importantes questões. Temos de considerar que a semente foi plantada no Brasil para que se comece a empregar tal tipo de solução. Contudo, não há

CRÉDITO: ARQUIVO PESSOAL DE J. T. BALBO



Degrau em junta transversal em rodovia



ainda especificação técnica para seu dimensionamento estrutural, o que nos obriga a reportar-nos ao *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* da *American Association of Highway and Transportation Officials*, como em geral os demais países sul-americanos o fazem. Para se chegar a um guia de projeto nacional para o pavimento de concreto continuamente armado, teremos um trabalho de pesquisa que toma ao menos de 5 a 10 anos, podendo ocorrer antes por força de condições favoráveis. Contudo, a literatura internacional descreve o desempenho desses pavimentos como o melhor comparado a todos os demais. É empregado em diversos anéis viários e rodovias interestaduais (em 40.000 km!) nos EUA e também na Europa. Há que se considerar que seu custo, segundo um estudo americano para exemplificar, resultou 46% maior que um pavimento de concreto simples. A espessura de concreto não muda basicamente (nos EUA são empregados preferencialmente de 280 a 320 mm com $f_{ct,f}$ de 4 MPa), sendo que o concreto trabalha à fadiga, pois a densa armadura colocada não resiste a esforços de tração pelo fato de estar posicionada no banzo comprimido do elemento estrutural (placa).

IBRACON – OUTRO PROJETO DE PESQUISA DESENVOLVIDO POR SEU DEPARTAMENTO DIZ RESPEITO AO USO DE MATERIAIS RECICLADOS E DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS PARA PAVIMENTOS. O QUE

OS RESULTADOS DESSES ESTUDOS TÊM APONTADO QUANTO À VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DESSES PAVIMENTOS? EM SUA OPINIÃO POR QUE O MERCADO TEM USADO COM PARCIMÔNIA OS AGREGADOS RECICLADOS E ALTERNATIVOS NA CONFEÇÃO DE PAVIMENTOS? O QUE PODE SER FEITO NO BRASIL PARA MUDAR ESTE CENÁRIO?

JOSÉ TADEU BALBO – Sempre que se recicla algum grau de liberdade se perde. No caso dos concretos, dependendo dos agregados alternativos, pode ocorrer redução da resistência ou mesmo do módulo de elasticidade (o que pode não ser indesejável em alguns casos). Os estudos, inclusive com a reciclagem do concreto do pavimento do rodoanel metropolitano Mário Covas em 2010, comprovam ser possível ajustar formulações que apresentam desempenho semelhante àquela de um concreto novo. Também já empregamos borracha triturada, escória granulada de alto forno, entulho de construção e de demolição, fresados asfálticos, e outros; em concretos alternativos para bases de pavimentos de concreto ou asfálticos essas soluções se mostraram tecnicamente justificáveis. Contudo, há restrições econômicas importantes. Por exemplo, os fornecedores de borracha triturada muitas vezes têm suas plantas a distâncias de transporte inviáveis para determinadas obras rodoviárias. Já os fresados asfálticos espacialmente são bem distribuídos, pois as

CRÉDITO: ARQUIVO PESSOAL DE J. T. BALBO



Fissura de retração longitudinal em terminal de ônibus

rodovias e vias urbanas no Brasil são predominantemente asfálticas. Para se ter uma ideia, rodovias em concreto construídas na década de 1930 na Alemanha começaram a ser recicladas para a reconstrução de pavimentos de concreto na década de 1990. Lá, porém, há muitas rodovias em concreto, o que abre um mercado. Em estudo que realizamos sobre o potencial de emprego de concretos reciclados de pavimentos para confecção de novos concretos, o que frustrou não foi concluir que o agregado

“

PARA SE CHEGAR A UM GUIA DE PROJETO NACIONAL PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO, TEREMOS UM TRABALHO DE PESQUISA QUE TOMA AO MENOS DE 5 A 10 ANOS, PODENDO OCORRER ANTES POR FORÇA DE CONDIÇÕES FAVORÁVEIS

”



Espalhamento e adensamento do concreto por pavimentadora pilotada pelo Prof. Balbo

reciclado custaria 20% a mais, mas sim, que o potencial econômico de reciclagem de pavimentos de concreto no Brasil praticamente não justifica a importação de recicladoras *in situ* de alta tecnologia e capacidade produtiva. Este é um mercado que dificilmente terá futuro. Apenas com rígidas políticas de emprego de agregados reciclados (como nos EUA, onde se exige emprego de frações mínimas de fresados asfálticos para os recapeamentos de rodovias), é que haverá impulso nesse mercado.

IBRACON – COMO CONSULTOR DE PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO PARA PORTOS, AEROPORTOS, RODOVIAS E PISOS INDUSTRIAIS, AS DECISÕES QUANTO AO TIPO DE PAVIMENTO EMPREGADO, AO PROJETO E À EXECUÇÃO DESSES PAVIMENTOS TÊM SIDO ACERTADAS? QUAL SUA AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE PAVIMENTAÇÃO ATUALMENTE OFERTADAS NO MERCADO NACIONAL, TANTO ÀS RELATIVAS AOS PRODUTOS/EQUIPAMENTOS QUANTO AOS SERVIÇOS? FIBRAS PLÁSTICAS SÃO UMA ALTERNATIVA PARA BARRAS DE AÇO EM PAVIMENTOS, PISOS INDUSTRIAIS,

ESTACIONAMENTOS, CAPEAMENTOS DE LAJES PRÉ-MOLDADAS, OU APENAS UMA COMPLEMENTAÇÃO VISANDO REDUÇÃO DE RETRAÇÃO?

José Tadeu Balbo – Temos deficiências gritantes no que tange à pavimentação em concreto no Brasil. Começa pelo fato de não termos consolidado, em nível federal e estadual, norma de projeto adequada às condições do Brasil. Concordo que na urgência de obras algo tem que ser usado; porém o “urgente é inimigo do importante”. O método empregado para projetos é uma “receita de bolo” facilmente utilizável por estudantes secundaristas. Na ausência de normalização para projeto estrutural, o que teria de ser empregado, sem espaço para sofismas, é o *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* da *American Association of Highway and Transportation Officials*. Aqui no Brasil um método parece ser consolidado se a espessura do material resulta menor, e isso não só para pavimentos de concreto. Não há certificação para a mão de obra na grande maioria dos casos e os problemas de execução são múltiplos. Dessas críticas pode-se excluir o setor de pisos industriais, que atua para a iniciativa privada e não para órgãos de governo; isso me faz pensar que “quem é dono cuida”. Atualmente se verifica um grande avanço nas tecnologias de pavimentação asfáltica, com emprego de novos materiais, como misturas

“

O POTENCIAL ECONÔMICO DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS DE CONCRETO NO BRASIL PRATICAMENTE NÃO JUSTIFICA A IMPORTAÇÃO DE RECICLADORAS IN SITU DE ALTA TECNOLOGIA E CAPACIDADE PRODUTIVA

”



TEMOS DEFICIÊNCIAS GRITANTES NO QUE TANGE À PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO NO BRASIL. COMEÇA PELO FATO DE NÃO TERMOS CONSOLIDADO, EM NÍVEL FEDERAL E ESTADUAL, NORMA DE PROJETO ADEQUADA ÀS CONDIÇÕES DO BRASIL



permeáveis e *stone matrix asphalt*.

É conveniente notar que essas tecnologias já saíram dos laboratórios e estão em uso em pista, agradando os motoristas por mais que eles sejam amantes do concreto. Os microrrevestimentos asfálticos têm sido muito empregados em serviços de manutenção. Há intensa normalização na área de pavimentação asfáltica, em especial do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes), abrangendo os mais amplos aspectos, como projeto, métodos de ensaio, especificações de serviços e de equipamentos, métodos de avaliação estrutural e funcional, critérios de decisão para manutenção. Ocorre que na área do pavimento de concreto a normalização é mínima, estranhamente, para um sistema construtivo que apresenta e requer inúmeros detalhes e cuidados construtivos, o que faz, em muitos momentos, o engenheiro de obras ou de projetos, órfão. Temos muita coisa *importante e urgente* para fazer, mas já estou convencido a esta altura que as mudanças trazem receios de várias naturezas. São razões para a paralisação que nós encontramos nesse aspecto.

As macrofibras entraram bastante forte no mercado de pisos industriais e outros nichos. Resultados apresentados no Reino Unido e nos EUA comprovam que, para certos consumos do material, podem ser espaçadas as juntas dos pavimentos

de concreto simples até 20 m ou mais. Contudo, se o controle de cura não for rígido o suficiente, pode se configurar a fissura de retração nessas placas longas, o que afetaria bastante o desempenho do sistema. Ademais, elas mesmas têm sua serventia na fase inicial para o controle de fissuras de retração.

IBRACON – SUA INTENSA PARTICIPAÇÃO EM PESQUISAS E PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CONFERE-LHE UMA POSIÇÃO PRIVILEGIADA PARA FAZER UM DIAGNÓSTICO SOBRE AS PRINCIPAIS CAUSAS DA DETERIORAÇÃO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO, BEM COMO UM PROGNÓSTICO DAS MEDIDAS TÉCNICAS MAIS PROMISSORAS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS. QUAL É SEU DIAGNÓSTICO E SEU PROGNÓSTICO EM RELAÇÃO AOS PAVIMENTOS DE CONCRETO NO PAÍS?

JOSÉ TADEU BALBO – Tenho atendido ao Exército Brasileiro (com CGU - Controladoria Geral da União, TCU – Tribunal de Contas da União e PF – Polícia Federal envolvidos) em alguns casos de rodovias federais em concreto no Nordeste Brasileiro. Também tenho atendido ao DNIT em outros trechos da BR-101. Há também nosso envolvimento com empresas em alguns trechos, mas em geral somos mobilizados após a “maionese desandar”, razão pela qual conheço profundamente os problemas. As razões para deterioração precoce são recorrentes. Placas de concreto simples de 210 a 230 mm de espessura podem viabilizar economicamente a solução,

mas não atendem tecnicamente nem ao tráfego circulante nem às condições extremas de temperatura na região Nordeste. Há trechos construídos nos quais, após três a quatro anos, há intensa fissuração por fadiga. Na fase de construção os maiores problemas se atêm à retração plástica e de secagem, como era de se imaginar ainda para as condições do litoral do Nordeste. Também ocorrem casos de juntas e seus componentes não atenderem às especificações de projeto. Muitos engenheiros do setor rodoviário me confidenciaram que o pós-venda do pavimento de concreto é um dos piores e que não há o que fazer. Eu, particularmente, acredito que há o que fazer e que podemos alterar esse estado de coisas: normalização, certificação da mão de obra, treinamento adequado de engenheiros de obra e de projetistas, mudança de enfoque para a durabilidade e a visão social do problema (rodovias são as artérias dos brasileiros), pesquisa, experimentação, busca de tecnologias alternativas.

IBRACON – RECENTEMENTE, VOCÊ COORDENOU UMA CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM MELHORES PRÁTICAS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO, QUE TROUXE AS PESQUISAS E AS TECNOLOGIAS EM PAVIMENTAÇÃO DE CENTROS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PONTA NO MUNDO. O QUE A CONFERÊNCIA APONTOU EM TERMOS DE NOVIDADES E DE MELHORES PRÁTICAS EM PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO? DE QUE FORMA



“

OCORRE QUE NA ÁREA DO PAVIMENTO DE CONCRETO A NORMALIZAÇÃO É MÍNIMA, PARA UM SISTEMA CONSTRUTIVO QUE REQUER INÚMEROS DETALHES E CUIDADOS CONSTRUTIVOS, O QUE FAZ O ENGENHEIRO DE OBRAS OU DE PROJETOS, ÓRFÃO

”

O BRASIL PODERÁ SE BENEFICIAR DO EMPREGO DESSAS NOVIDADES E PRÁTICAS?

JOSÉ TADEU BALBO – Para o meio viário urbano a conferência teve muita informação sobre os pavimentos de concreto permeáveis. Além disso, muito se discutiu sobre as ciclovias e os materiais atinentes a essa modalidade de transporte. Reciclagem também entrou na temática, bem como as melhorias que se tem buscado na Europa em termos do emprego dos pavimentos de concreto continuamente armados.

IBRACON – COMO MEMBRO DA COMISSÃO DE MODERNIZAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E DO CICLO BÁSICO DE ENGENHARIA, QUAIS TÊM SIDO SUAS PRINCIPAIS PROPOSTAS NA

COMISSÃO? EM SUA OPINIÃO, O QUE PODERIA SER MELHORADO NO CURRÍCULO DAS ESCOLAS DE ENGENHARIA EM RELAÇÃO A INFORMAÇÕES SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO?

JOSÉ TADEU BALBO – As alterações na grade de ensino de engenharia da Escola Politécnica da USP (EPUSP) foram uma grande paixão no meu trabalho acadêmico recentemente. Aprimoramos o Ciclo Básico dos engenheirandos, que possui sua última disciplina no terceiro ano do curso. Em contrapartida, os engenheiros, e não somente os civis, já têm contato com ao menos uma disciplina de habilitação a partir do primeiro ano. Há um bloco de disciplinas de Ciências de Engenharia (Mecânica, Fluidos, Geomecânica, Ambiente, etc.), que segue até o terceiro ano. As disciplinas de habilitação vão

até o quarto ano. Fizemos isso com uma redução média de 18% da carga horária anteriormente dada, para que o estudante de engenharia conseguisse a formação básica até o quarto ano. Durante os quatro anos iniciais os estudantes devem selecionar nove disciplinas optativas que podem ser cursadas a livre escolha, inclusive em qualquer outro curso de graduação da USP, permitindo uma mobilidade altamente salutar do estudante, que agora pode adquirir conhecimentos em Direito, em Marketing, em Biologia, em Climatologia, onde desejar. O quinto ano é um ano de especialização. Nesse último ano o estudante cumpre um bloco de disciplinas fechado que lhe permite especializar-se em Construção Civil, em Hidráulica, em Estruturas, em Transportes e, além disso, o estudante poderá escolher um quinto ano especializado, por exemplo, em Energia (oferecido pela Engenharia Elétrica) ou em Produção (oferecido pela Engenharia de Produção), para exemplificar. Isso nos dá uma perspectiva de termos egressos com visão mais ampla sobre sua profissão, sua área, sua cidade, seus problemas, seu país, seu mundo, e se quisermos, sobre o Universo para aqueles que optarem por fazer uma disciplina em Cosmologia ou Astrofísica. Essa nova estrutura de cursos, acreditamos, não apenas coloca um engenheiro mais aberto para o mercado, como também aumentará a busca por vagas na EPUSP. Acredito que essas mudanças serão baliza futura para

CRÉDITO: ARQUIVO PESSOAL DE J. T. BALBO



Prof. Balbo aponta junta em pavimento de concreto da BR IOI PE



revisões curriculares de muitas outras escolas de engenharia no país. No que tange ao ensino de pavimentos de concreto, acredito ser a EPUSP ímpar nesse aspecto. Desde os anos 1990, eu e a Profa. Liedi Bernucci dividimos o ensino de pavimentação. Nosso curso de graduação em pavimentação tem quase 50% dos conteúdos dedicados aos pavimentos de concreto. Com a nova estrutura curricular, a disciplina obrigatória de pavimentação terá menos espaço não apenas para pavimentação em concreto, mas para drenagem de vias, por exemplo. Todavia, a partir de 2017, uma disciplina optativa para os alunos de graduação que desejarem cursar estará ativa: Pavimentação em Concreto para Portos, Aeroportos e Indústrias, da qual serei o docente responsável. No tocante à drenagem, teremos um curso específico para os alunos de quinto ano que tenham optado pela formação em Engenharia de Transportes.

IBRACON – COMO MEMBRO DE DIVERSAS ENTIDADES TÉCNICAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS, TENDO EXERCIDO O CARGO DE VICE-PRESIDENTE DA INTERNATIONAL SOCIETY FOR CONCRETE PAVEMENTS (ISCP) E SENDO ATUALMENTE ASSESSOR DA PRESIDÊNCIA NO IBRACON, QUAL SUA VISÃO SOBRE AS CONTRIBUIÇÕES QUE PODEM SER FEITAS POR ESSAS ENTIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR?

JOSÉ TADEU BALBO – Essas entidades

são *entidades de profissionais que representam profissionais*. Elas não representam setores industriais ou comerciais, sindicatos ou associações. Elas têm a atuação individual de dedicados profissionais da área de engenharia que se empenham para o bom emprego e difusão tecnológica do material concreto em todas suas potencialidades, desenvolvendo tecnologicamente suas aplicações, sejam esses profissionais projetistas, fornecedores, construtores ou acadêmicos. As contribuições do IBRACON são inumeráveis em sua história e, por isso, prefiro sumarizar a resposta dizendo que não consigo enxergar a discussão dos conhecimentos, sua ampliação e sua distribuição no país sem o IBRACON. É um orgulho imenso em minha vida poder dedicar tempo, ainda que possivelmente insuficiente, à mais respeitada instituição técnico-profissional de engenheiros civis do Brasil.

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

JOSÉ TADEU BALBO – Infelizmente no tempo que fiz a graduação na EPUSP não existia a EC-3. Não pude frequentar cursos optativos na área de Física, o que foi uma pena. Tive que me virar sozinho, com os conhecimentos de posicionamento que tínhamos em uma época, sem o GPS. Li muitos livros para procurar conhecer o Cosmo. E aprendi observar o Cosmo, a princípio com

CRÉDITO: ARQUIVO PESSOAL DE J. T. BALBO



Fissura de retração transversal em rodovia

binoculares. A Astronomia amadora é uma paixão, concomitantemente com leitura de livros de cientistas contemporâneos sobre o Cosmo (sugiro para iniciantes “*Masks of the Universe*”, Edward Harrison, *Cambridge University Press*). Também aprecio muito música de qualidade, possuindo vários instrumentos musicais (uma verdadeira banda), sendo que gosto muito de tocar sintetizadores e pianos eletrônicos, em especial fazendo cover de músicas pop, românticas, bem como órgão, no caso dos clássicos do *Rock & Roll*. 🎸



**PLACAS DE CONCRETO SIMPLES DE 210 A 230MM DE ESPESSURA
PODEM VIABILIZAR ECONOMICAMENTE A SOLUÇÃO, MAS NÃO ATENDEM
TECNICAMENTE NEM AO TRÁFEGO CIRCULANTE NEM ÀS CONDIÇÕES
EXTREMAS DE TEMPERATURA NA REGIÃO NORDESTE**



O sistema Pavimento Industrial

LEVON HAGOP HOVAGHIMIAN

PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E
REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO (ANAPRE)

As pessoas têm enorme facilidade de julgar as coisas pelo seu exterior e quando se trata de pavimentos industriais essa avaliação subjetiva é ainda mais fácil, pois o que está à mostra é apenas a sua superfície: por exemplo, um piso com o RAD (Revestimentos de Alto Desempenho) solto quem é imediatamente rotulado é o aplicador, quando na realidade podem haver outros fatores importantes que conduzem a essa patologia, sem que seja necessariamente culpa da aplicação,

ou quando vemos uma fissura de ordem estrutural, como uma quebra de canto de placa, automaticamente o projetista é o alvo das críticas.

Mas a realidade é outra: o piso industrial é um elemento estrutural bastante complexo, composto por diversas camadas superpostas, compostas por materiais bastante distintos, como podemos ver na Figura 1 e que geralmente é composto de: subleito, sub-base (ou base), barreira de vapor, placa de concreto e revestimento. Muitas vezes, outras camadas são introduzidas para resolver

problemas específicos, como uma drenagem subsuperficial, camada de bloqueio, etc. e, outras vezes, algumas são suprimidas, como o subleito de um piso estaqueado. Finalmente, para completar, temos que olhar o piso sob o ponto de vista horizontal para então vermos outro componente muito importante: as juntas.

A falha de um desses componentes estruturais não é necessariamente compensada por outro; assim, se o subleito é mal compactado, uma placa de concreto bem dimensionada pode romper com carga muitas vezes bem abaixo da prevista em projeto e, embora o defeito se apresente de forma estrutural, na realidade foi causado por uma falha executiva.

Neste artigo, vamos fazer uma breve introdução dos principais componentes do sistema piso industrial.

SUBLEITO

O subleito é composto pelo terreno de fundação do piso, sendo, portanto, o solo local. Em países de clima quente e úmido como o Brasil e, portanto, de grande



► **Figura 1**
Sistema de um piso industrial



atividade de decomposição de rochas, solos de mesma origem podem ter comportamentos muito distintos quando são formados, por exemplo, na Serra do Mar ou no Planalto Central. Portanto, suas propriedades devem ser previamente conhecidas, lembrando-se que nem sempre o mesmo tipo de ensaio é adequado: solos de natureza laterítica, típicos de partes bem drenadas de regiões tropicais úmidas, são melhor caracterizados pelos ensaios MCT (de Miniatura, Compactado e Tropical) enquanto que os saprolíticos, oriundos da decomposição *in situ* de rocha, são caracterizados pela metodologia tradicional.

SUB-BASE (OU BASE)

A sub-base, que no passado foi muito controversa, hoje é um elemento fundamental para o piso, seja sob o ponto de vista estrutural, homogeneizando a condição de suporte e controlando o bombeamento, como funcional, agindo como uma camada de isolamento, restringindo a ascensão de umidade, facilitando as aplicações do RAD. Podem ser cimentadas, como brita graduada tratada com cimento, concreto compactado com rolo, solo-cimento, etc., mas mais comuns são as estabilizadas granulometricamente, como as britas graduadas.

BARREIRA DE VAPOR

As barreiras de vapor, formadas por camadas impermeáveis, como lonas plásticas ou imprimações impermeabilizantes, são geralmente



► **Figura 2**
Preparação da sub-base

empregadas quando o projeto prevê aplicação de RAD ou quando o local apresenta problemas crônicos oriundos de umidade ascendente. De fato, a única garantia de não ocorrência de patologias decorrentes de umidade, como bolhas, é a presença deste componente, mas a sua adoção deveria ser generalizada por proteger o próprio concreto.

PLACA DE CONCRETO

A placa de concreto é, sem dúvida, o elemento estrutural mais importante, pois é ela que vai absorver todos os carregamentos do piso, transferindo-os para a fundação, de modo que esta trabalhe sempre no regime elástico, isto é, sem deformações permanentes. Além disso, é a responsável pela ancoragem dos



► **Figura 3**
Lona plástica – barreira de vapor



► **Figura 4**
Construção do piso

revestimentos. Pode ser de concreto simples ou reforçada, sendo este tipo o preferido no nosso meio, já que nele a quantidade de juntas é bem menor.

Os reforçados podem ser com armaduras de aço, tipo as telas soldadas, fibras ou protendido. Como o concreto é um material que durante as primeiras idades apresenta variações causadas pela retração hidráulica e de outros tipos importantes, essas têm que serem consideradas no dimensionamento e comportamento da placa em serviço e a tecnologia do concreto é matéria obrigatória, tanto no projeto como na execução.

JUNTAS

As juntas são elementos introduzidos para o controle das variações higrotérmicas do concreto além de servirem como elementos auxiliares na execução. Devem apresentar a característica de permitir a continuidade estrutural do piso, mas, mesmo assim,

são sempre a parte mais fraca e quando há problemas estruturais, é nela que eles se manifestam inicialmente.

REVESTIMENTO

Os revestimentos de alto desempenho ou RADs têm como objetivo acrescentar características específicas ao sistema piso, conforme a necessidade do projeto em questão; entre outros, agregam melhoria das

condições de higienização, da resistência superficial e mecânica em geral, resistência química, facilitam as demarcações de áreas e a estética. De um modo geral, os RADs se dividem em três grandes grupos: os autonivelantes, os multicamadas e os argamassados ou espatulados. As bases químicas adotadas com maior frequência são a resina epóxi e o poliuretano. ↻



► **Figura 5**
Junta de piso



► **Figura 6**
RAD

Pisos industriais: evolução e novas alternativas

PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES – ENGENHEIRO, DSc

LPE ENGENHARIA E CONSULTORIA

I. INTRODUÇÃO

Os pisos industriais, também conhecidos como pavimentos industriais, apresentaram enorme progresso nas últimas décadas e essa evolução deve-se muito à mudança do ponto de vista do usuário sobre o que de fato é um piso industrial.

Pode-se defini-lo como sendo o componente da edificação que interfere diretamente no processo industrial, ou seja, é como fosse um equipamento, que se não atender às necessidades de uso, irá interferir na produtividade da indústria.

O mercado de pisos industriais no Brasil em 2011 era de 42 milhões de metros quadrados, sendo que 60 % foram executados sem formalização técnica, isto é, sem que houvesse projeto ou especificação técnica, enquanto 40% foi com formalização técnica.

Quando se considera apenas os pisos executados com formalização técnica, cerca de 68% foram com tela soldada, 19% com fibras de aço, 10% com macrofibras e 3% protendidos. Analisando o mercado de 2014 e 2015, observa-se uma tendência no aumento do uso de fibras e protendido em detrimento da tela soldada.

Em artigo na edição 45 desta Revista, foram apresentados os princi-

pais tópicos envolvidos na execução e controle do pavimento industrial, abordando o conceito do sistema piso, constituído pelo terreno de fundação, base ou sub-base, placa de concreto e, eventualmente, revestimento, e que, se um dos elementos desse sistema falhar, o todo ficará comprometido.

2. TIPOS DE PISOS

Pode-se qualificar os pisos quanto à fundação – direta ou estaqueado – e ao tipo de reforço estrutural. Neste texto, será tratado apenas o piso em fundação direta, abordando os tipos estruturais: concreto simples, armado, protendido, reforçado com fibras e concreto de retração compensada, apresentando as principais particularidades de cada tipo, pontos positivos e negativos.

2.1 Concreto simples

Largamente empregado no passado no Brasil e ainda muito popular nos países da América do Norte, é um sistema que emprega apenas o concreto como material estrutural e, como consequência, o piso é mais espesso em relação a outras soluções.

Seu dimensionamento é feito no modelo elástico, com o emprego das

equações de clássicas de Westergaard, limitando-se à máxima tensão de tração na flexão na placa de concreto. Westergaard foi o pioneiro no estudo das placas rígidas apoiadas em meio elástico e, embora para os outros tipos de reforços não se empregue mais seus modelos, toda a conceituação teórica continua calçada em seus estudos.

As principais vantagens do piso de concreto simples são:

- facilidade de execução;
- rigidez elevada;
- dosagem do concreto mais simples.

Como desvantagem, pode-se citar:

- placas de pequenas dimensões, variando de 4 x 4 m a 5 x 5 m; eventualmente, pode ser empregada armadura superior para controle de retração do concreto, sem função estrutural, permitindo placas de maiores dimensões;
- quantidade elevada de juntas, variando de 0,4 a 0,5 metros de junta por m² de piso;
- menor controle de fissuração.

2.2 Concreto armado

Os pisos de concreto armado foram desenvolvidos de maneira independente por dois engenheiros sue-

cos: A. Losberg e G.G. Meyerhof. O primeiro, engenheiro estrutural, desenvolveu seus estudos na Suécia, enquanto Meyerhof, da área de mecânica dos solos, desenvolveu seus estudos experimentais nos Estados Unidos.

Hoje, no Brasil, há dois tipos de pavimentos armados (Figura 1): com armadura dupla, que é mais tradicional e é empregado há vários anos, e com armadura simples – mas com função estrutural – posicionada a 1/3 da espessura da placa, a partir da superfície. O modelo estrutural para pavimentos com armadura simples é fruto de extenso trabalho de pesquisa desenvolvido pelo IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas.

O estudo do IBTS teve como objetivo elaborar modelo de cálculo similar ao empregado para fibras de aço, de modo a considerar a armadura superior como material resistente aos esforços gerados pelas cargas atuantes. Para isso foi medida a resistência residual ou fator de tenacidade em corpos de prova prismáticos, de acordo com as normas ASTM 1309 e JSCE – SF 4, variando-se a taxa mecânica da armadura; no Brasil, é mais empregado o $R_{e,3}$, que é a relação entre a resistência residual (ASTM 1609) ou o fator de tenacidade (JSCE – SF4) pela resistência à fissuração do concreto, expresso em % A Figura 2 apresenta a curva $R_{e,3}$ x Taxa mecânica da armadura em corpos de prova ensaiados de acordo com a norma JSCE – SF 4.

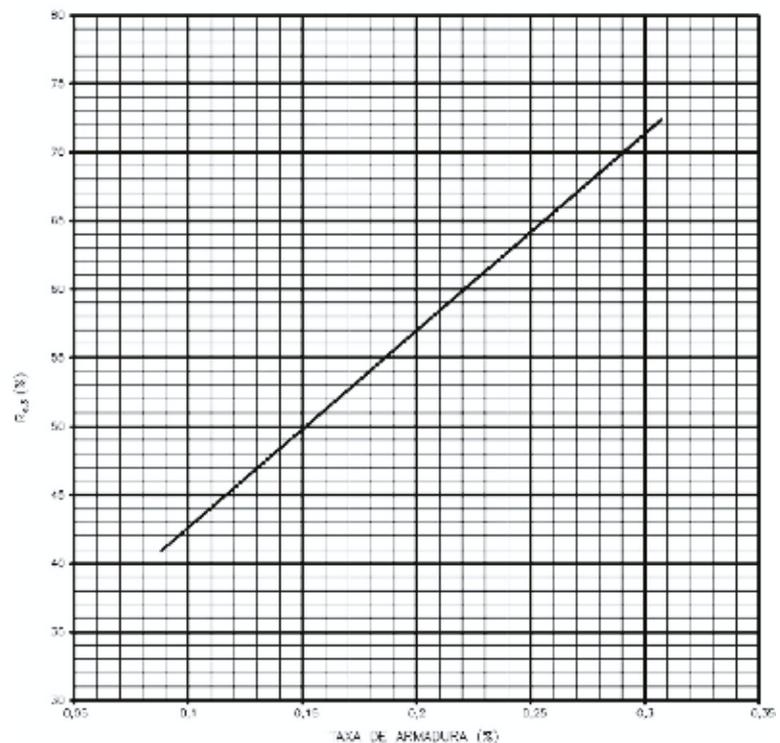
Para o pavimento com armadura dupla, o dimensionamento é conduzido de acordo com a norma NBR 6118. As principais vantagens dos pavimentos armados são:

▶ possibilidade de placas de grandes dimensões, como no siste-

ma *jointless*, nesse caso com dimensões da ordem de 30 m (as



▶ **Figura 1**
Piso armado com tela soldada



▶ **Figura 2**
Relação entre o $R_{e,3}$ e a taxa de armadura

dimensões das placas no sistema convencional são da ordem de 12 a 15 m);

- ▶ permitem grande capacidade de carga;
- ▶ as bordas livres do piso podem receber reforço complementar para o piso suportar o incremento de esforços que ocorrem nessa região;
- ▶ excelente controle de fissuração;
- ▶ dosagem do concreto mais simples.

Como pontos deficitários, podem ser citados:

- ▶ posicionamento correto da armadura;
- ▶ mão de obra adicional de armação.

2.3 Concreto reforçado com fibras

As fibras como reforço de concreto para pisos começaram a ser utilizadas em pisos industriais, inicialmente de forma tímida a partir da década de 1980, mas com mais vigor a partir da década de 1990, quando um fabricante europeu trouxe técnicas modernas de dimensionamento, empregando o conceito da tenacidade, sem o qual, não é possível tirar proveito estrutural das fibras, já que nos teores emprega-

dos no Brasil, de 20 a 35 kg/m³ (0,25 a 0,45 % em volume), não há praticamente alteração na resistência à flexão do concreto.

A tenacidade do concreto com fibras de aço é função principalmente do fator de forma – razão entre o diâmetro equivalente e o comprimento – tipo de ancoragem e comprimento da fibra (máximo 60 mm). As fibras de aço são regidas pela norma NBR 15530; o leitor pode obter no site da ANAPRE – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos uma especificação bastante prática e útil sobre esse material. Hoje o emprego das fibras de aço é predominante nos pisos industriais, notadamente aqueles voltados para a área de logística. Seus principais pontos positivos são:

- ▶ facilidade executiva;
- ▶ boa capacidade de absorção de esforços;
- ▶ bom controle de fissuração;
- ▶ permite placas de grandes dimensões – sistema *jointless* – mas seu maior uso está em placas variando de 10 a 15 m.

Como pontos desfavoráveis, pode-se destacar:

- ▶ possibilidade de aparecimento de fibras na superfície, limitando

a utilização em locais públicos, como estacionamentos, mercados ou outras áreas sujeitas ao tráfego de pessoas; o problema pode ser minimizado pela asperção de agregados de alta resistência, que, em taxas em torno de 5 kg/m², criam camada de 2 a 3 mm de espessura, afastando dessa forma as fibras da superfície;

- ▶ limitação da relação entre o comprimento e a largura da placa, devendo ser idealmente de 1:1 a 1:0,8;
- ▶ a dosagem do concreto é mais trabalhosa em função da influência da fibra na reologia do concreto no estado plástico e garantia de homogeneidade do concreto;
- ▶ dificuldade em bombear, devido ao desgaste produzido na bomba e tubulação;
- ▶ oxidação das fibras próximas à superfície.

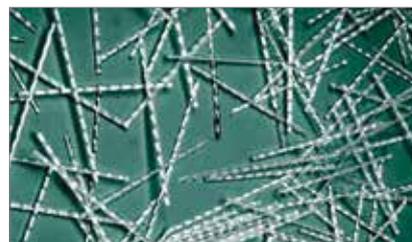
2.4 Macrofibras poliméricas (fibras plásticas estruturais)

No final da década de 2010, surgiram em maior profusão no Brasil as fibras plásticas estruturais, denominadas macrofibras poliméricas, dosadas em teores variando de 3 a 6 kg/m³ (0,3 a 0,6 % aproximadamente em volume para a fibra de polipropileno), e que, à semelhança das fibras de aço, aumentam a tenacidade do concreto. No Brasil, ainda não há norma ABNT para esse tipo de fibra, o que acaba sendo um limitador importante para a sua utilização.

As macrofibras podem ser fabricadas por uma gama de polímeros, com características distintas entre



a Trançada



b Entalhada

▶ **Figura 3**
Exemplos de macrofibras poliméricas

si, o que acaba impactando no seu desempenho, tornando difícil para o consumidor comparar tecnicamente fibras de diversos fornecedores; a Figura 3 apresenta dois exemplos de macrofibra. Infelizmente, ainda não existe no país laboratórios de ensaio capazes de realizar ensaios de tenacidade de maneira rotineira, fazendo com que, na maioria das vezes, o projetista tenha de se fundamentar em curvas de tenacidade fornecidas pelo fabricante ou mesmo importador, e o controle de produção acaba sendo feito apenas pela contagem das fibras.

Vários fatores podem afetar o desempenho da fibra, como o tipo de polímero, fator de forma, ancoragem física, emprego de aditivos promotores da adesão com a matriz e dispersão da fibra, módulo de elasticidade do polímero, a própria manufatura e os equipamentos empregados, e outros mais. Para tornar o cenário mais crítico para o consumidor, existem hoje no país importadores independentes que não declaram a marca do produto e adotam nome fantasia, não havendo garantia de homogeneidade no fornecimento.

O polímero empregado na fabricação das macrofibras precisa ser álcali resistente, como o polipropileno, a poliamida e o polietileno. Caso o polímero seja desconhecido, é necessário realizar teste de resistência a álcalis. Recomenda-se que o recebimento das fibras seja conduzido de acordo com a Recomendação ANA-PRE CF 001-2011.

Da mesma forma que as fibras de aço, o dimensionamento é feito tendo como base a tenacidade do concreto. As principais vantagens no emprego da macrofibra são:

- ▶ facilidade no transporte das fibras, influenciando no custo final de obras afastadas dos grandes centros;
- ▶ facilidade de lançamento por bombeamento;
- ▶ controle razoável de fissuração;
- ▶ bom desempenho estrutural;
- ▶ é possível emprega-las em sistemas *jointless*, mas com uso de aditivos redutores ou compensadores de retração;
- ▶ não estão sujeitas à oxidação. Como destaques negativos, tem-se:
- ▶ seu emprego impõe placas de menores dimensões, da ordem de 8 a 10 m;
- ▶ as macrofibras têm como característica apresentarem – sob tensão – fluência elevada, sendo que este fator depende do tipo de polímero e do tratamento termo-mecânico efetuado durante o processo de fabricação;
- ▶ a dosagem do concreto é mais trabalhosa em função da influência da fibra na reologia do concreto no estado plástico;
- ▶ maior dificuldade de homogeneização da macrofibra no concreto;
- ▶ dependendo das dimensões e maleabilidade da fibra, existe a tendência de ficarem retidas na grade da bomba.

2.5 Concreto protendido

Os pisos protendidos têm ocupado uma pequena parcela do mercado nacional, mas sempre com bastante destaque devido à sua principal característica, que é a possibilidade de execução de placas de grandes dimensões, havendo no país obras com placas da ordem de 10 mil metros quadrados, sem juntas ativas.

Na edição 78 desta Revista, foi apresentado artigo específico para esse tipo de solução, que pode ser consultado pelos leitores mais interessados em pisos protendidos. No Brasil emprega-se quase exclusivamente o sistema de cordoalhas não aderidas, que apresentam maior facilidade e praticidade de execução do que o sistema com bainhas com aderência posterior.

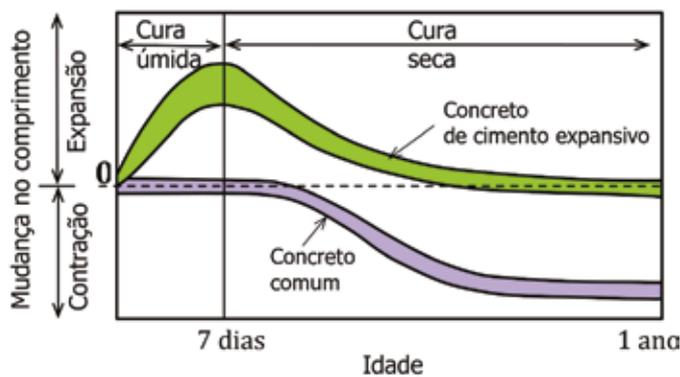
As principais vantagens dos pisos protendidos são:

- ▶ placas de grandes dimensões;
- ▶ excelente controle de fissuração do concreto;
- ▶ alta capacidade de carga;
- ▶ facilidade de dosagem e lançamento do concreto.

Como pontos negativos, podem ser elencados:

- ▶ não permitem aberturas no piso após sua execução, limitando seu emprego em áreas industriais ou onde possa haver possibilidade de intervenções no piso;
- ▶ em áreas de estanterias, é necessário levar em consideração no projeto a profundidade dos chumbadores e após a execução, deve ser imposto ao usuário a limitação máxima dos fixadores;
- ▶ embora o piso tenha poucas juntas, elas tendem a apresentar grandes aberturas, dificultando o seu tratamento. atualmente existe a possibilidade do emprego de adições compensadoras de retração do concreto, minimizando esse problema;
- ▶ em função de grandes áreas concretadas, exigem acurado planejamento da obra;
- ▶ dificuldade de reconstrução parcial da placa em função de problemas durante a execução.





► **Figura 4**
Curvas conceituais de expansão (restringida) e retração do concreto

2.6 Concreto de retração compensada

O piso de concreto com retração compensada teve seu início na década de 1960, com o desenvolvimento por A. Klein de um clínquer expansivo, que, na fase de hidratação, gerava quantidade expressiva de etringita. O cimento obtido a partir desse clínquer recebeu o nome de cimento tipo K e o concreto ficou conhecido como concreto de retração compensada, mais conhecido por SCC (sigla em inglês, *shrinkage-compensating concrete*), tendo tido larga aplicação nos EUA.

Hoje, como produção do cimento tipo K está bastante restrita, tendo sido substituído por adições expansivas, notadamente à base de sulfoaluminatos ou óxido de cálcio (supercalcina-do), este produzido em temperaturas ao redor de 1500 °C, dosadas no concreto em teores de 10 a 20 kg/m³.

Empregada na Argentina há mais de uma década, só agora a solução chega ao Brasil. O conceito do sistema é que o concreto expanda de modo a compensar parcial ou totalmente a retração; entretanto, a expansão ocorre muito rapidamente, em dias, enquanto

que a retração se desenvolve ao longo vários de meses (Figura 4).

Portanto, é necessário “armazenar” a energia de expansão, para que ela possa ser liberada à medida que a retração ocorra. Esse efeito é conseguido com a colocação de barras de aço, que irão alongar-se pela força de expansão, induzindo nas barras tensão de tração, que é denominada protensão química.

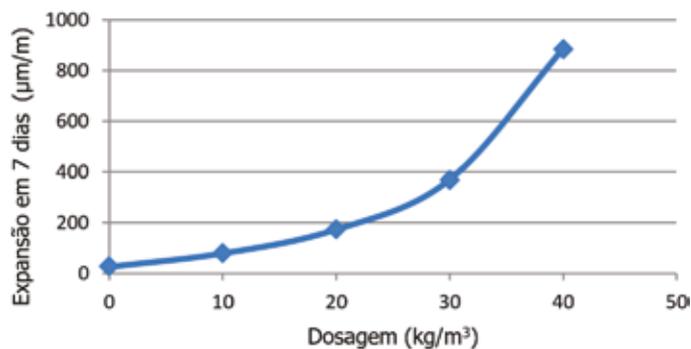
À medida que o concreto retrai, gerando tensão de tração no concreto, que é compensada pela protensão química que é aplicada nas barras, inibindo a fissuração. Dependendo do poder de expansão da adição e do teor empregado (Figura 5), ocorrerá uma tensão

residual nas barras, após a retração, que pode ser utilizada estruturalmente.

O ensaio de expansão, que serve como balizamento para dimensionamento do piso, é feito com restrição ao deslocamento, promovida por barra de aço posicionada no eixo do corpo de prova prismático. Portanto, quando compara-se o ensaio de retração (que é livre) com o de expansão, que é restringido, tem-se que ter em mente que os corpos de prova estão submetidos a condições de ensaio diferentes.

Embora tradicionalmente o sistema SCC tenha sido desenvolvido com o emprego de barras de aço (Figura 6), posicionadas a meia altura ou a 1/3 da superfície, existem experiências bem sucedidas com fibras de aço e até mesmo com macrofibras poliméricas. Nestes casos, o expansor é empregado apenas para reduzir ou eliminar a retração do concreto.

Embora novo no Brasil, o sistema já apresenta alguns bons exemplos que atestam a sua viabilidade. Alguns desses projetos foram feitos para desenvolvimento do sistema e vêm sendo monitorados; a Argentina é rica em exemplos de sucesso empregando sistema com barras de aço.



► **Figura 5**
Exemplo de variação da expansão restringida com a dosagem



► **Figure 6**
Barras de aço sendo posicionadas com o avanço da concretagem

- facilidade de lançamento do concreto.

Como pontos que merecem maior atenção, têm-se:

- dosagem do concreto mais complexa;
- necessidade de cura úmida nas idades iniciais;
- exigem acurado planejamento da obra.

3. CONCLUSÃO

Embora seja possível considerar os diversos tipos de pisos industriais como equivalentes, existem aplicações que podem ser mais adequadas para uma solução e não tão boa para outras.

O Quadro 1 procura orientar, sem a intenção de ser assertivo e de limitar a discussão do tema, os usos mais adequados para cada uma delas. ➤

As vantagens do piso com concreto de retração compensada são:

- execução de placas de grandes dimensões;
- excelente controle de fissuração do concreto;
- juntas com pequena abertura;
- bom desempenho estrutural;

► **Quadro 1 – Sugestão de uso dos diversos tipos de pisos**

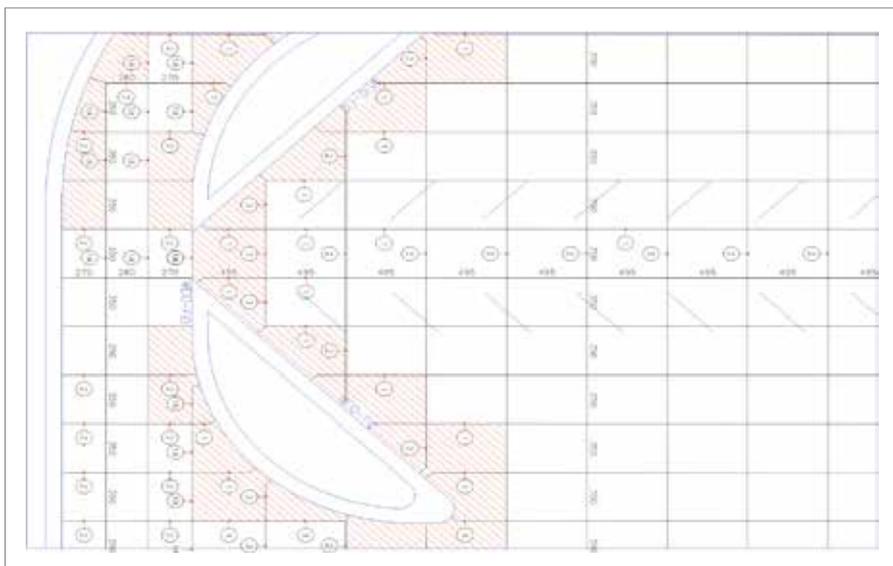
	Tela	Fibra metálica	Macrofibra polimérica	Protendido	Retração compensada
Garagem corporativa	++	++	+++	X	X
Garagem residencial	++	X	+++	X	X
Cargas elevadas	+++	++	+	+++	++
Industrial	+++	++	++	X	++
Logística	++	+++	+++	+++	+++
Supermercados	+++	+	+++	++	+++

+++ Excelente; ++ Bom; + Razoável; X Baixa viabilidade.

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ANAPRE: O Mercado de Pisos Industriais no Brasil. Associação Nacional de Pisos e Revestimentos. São Paulo, 2012.
- [02] Rodrigues, P. P. F.: Pisos industriais: conceitos e execução. CONCRETO & Construções, Ano XXXIX, nº 45. IBRACON, São Paulo, 2007
- [03] Rodrigues, P. P. F.: Pisos industriais protendidos com cordoalha engraxada. CONCRETO & Construções, Ano XLIII, nº 78. IBRACON, São Paulo, 2015
- [04] Rodrigues, P. P. F.: Manual de Pisos Industriais: fibras de aço e protendido. Ed. PINI, São Paulo, 2010.
- [05] ACI 360R-06: Design of Slabs on Grade. American Concrete Institute Committee 360, EUA 2006.
- [06] ACI 223R-10: Guide for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete. American Concrete Institute Committee 223, USA 2010.





► **Figura 2**
 Detalhe do projeto geométrico, mostrando os distintos tipos de juntas

1:500, com todos os dados de topografia necessários à perfeita locação das juntas no campo;

- desenhos específicos com detalhes dos tipos de juntas;
- seções transversais típicas do pavimento com indicações de drenagem superficial, subsuperficial e profunda;

h) recomendações de execução e de controle de obra, com as especificações dos materiais utilizáveis - com relação ao concreto simples, são fundamentais os seguintes itens:

- espessura das placas, definida em projeto;
- resistência característica à tração na flexão ($f_{ctM,k}$), medida aos 28 dias, definida como sendo a resistência de projeto (eventualmente essa idade poderá ser estendida para 60 ou 90 dias, dependendo da obra);
- parâmetros de dosagem do concreto, como relação água/cimento, abatimento, consumo mínimo de cimento, teor máximo de ar incorporado, dimensão

máxima do agregado graúdo e teor de argamassa;

- plano de controle tecnológico do concreto no estado fresco e endurecido, ressaltando se aí o controle do abatimento e do teor de ar (estado fresco) e o controle das resistências mecânicas e da espessura das placas;

i) notas de serviço e quantitativos de pavimentação.

As Figuras 1 e 2 ilustram um projeto geométrico de distribuição de placas, mostrando os distintos tipos de juntas.

2º MANDAMENTO

“Dosar adequadamente o concreto simples e o concreto compactado com rolo (se houver), a partir do estudo minucioso dos seus materiais constituintes”.

Os principais objetivos dessa fase dos estudos técnicos são:

- a) garantir a qualidade desejada do concreto;
- b) avaliar dentre as alternativas de materiais a que apresenta as melhores

condições de:

- qualidade do produto final;
- facilidades operacionais;
- menor custo por metro cúbico de concreto.

O cálculo do traço do concreto levará em consideração os seguintes aspectos:

- especificações do concreto;
- resistência à tração na flexão;
- relação água/cimento;
- abatimento do tronco de cone;
- diâmetro máximo do agregado;
- teor de ar incorporado;
- teor de argamassa;
- tempo de pega do cimento;
- caracterização dos materiais;
- compatibilidade entre aditivo e cimento;
- equipamentos de dosagem e mistura;
- tempo de mistura;
- equipamentos de transporte e lançamento do concreto;
- distância e tempo de transporte;
- equipamento a ser utilizado na execução do pavimento;
- espessura do pavimento;
- sistema de cura;
- condições climáticas regionais.

No caso do concreto simples, citam-se ainda:

- a) o concreto deverá ser dosado por método racional, de modo a obter-se, com os materiais disponíveis, uma mistura fresca, de trabalhabilidade adequada ao processo construtivo empregado, e um produto endurecido compacto, de baixa permeabilidade e que satisfaça às condições de resistência mecânica estabelecidas no projeto do pavimento;
- b) a consistência é determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, segundo a norma ABNT NBR NM 67:2011 – Concreto - Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone, com





► **Figura 3**

Ensaio de resistência à tração na flexão do concreto

valores situados geralmente entre 20 mm e 70 mm, dependendo do equipamento a ser utilizado na obra;

- c) teor de ar incorporado ao concreto é determinado pelo método pressométrico, conforme a norma ABNT NBR NM 47:2002 Concreto fresco - Determinação do teor de ar pelo Método Pressométrico, com valores geralmente situados entre 2% e 4%.

No caso do concreto compactado com rolo, como camada de sub-base, citam-se:

- a) o concreto a ser compactado por meio de rolos compressores (CCR) se destina à execução de sub-base e deverá ser dosado por método racional, de modo a obter-se, com os materiais disponíveis, uma mistura fresca, de trabalhabilidade adequada para ser compactada com rolo, resultando num produto endurecido com grau de compactação e resistência mecânica estabelecidas no projeto do pavimento;
- b) deverá ser determinada, em laboratório, a umidade ótima que permita obter a massa específica aparente máxima seca, considerada a energia normal de compactação;
- c) o consumo de cimento geralmente está compreendido entre 80 kg/m³ e

130 kg/m³, dependendo dos materiais utilizados e da resistência mecânica especificada em projeto, e deverá ser definido quando da dosagem do concreto compactado com rolo;

- d) o concreto compactado com rolo, depois de compactado e nivelado na cota de projeto, deverá atingir um grau de compactação mínimo de 100%, considerada a energia normal de compactação.

Os concretos deverão ser dosados em laboratórios especializados e posteriormente ter seus traços ajustados no campo, se necessário.

3º MANDAMENTO

“Especificar os materiais a serem utilizados na obra”

Depois de realizados os estudos tecnológicos, os materiais a serem utilizados na obra deverão ser claramente especificados, quais sejam:

- cimento (tipo e classe);
- agregado miúdo (areia);
- agregado graúdo (brita);
- aditivos;

- produtos de cura;
- material selante e corpo de apoio;
- películas isolantes e impermeabilizantes aplicadas sobre a sub-base;
- aço.

É importante ressaltar que qualquer mudança dos materiais no decorrer da obra deverá ser notificada à empresa gerenciadora, de modo que providências possam ser tomadas no sentido de garantir a qualidade do produto final acabado.

Caso seja necessário, tanto o concreto simples quanto o concreto compactado com rolo (se houver) deverão ter seus traços ajustados, tendo em vista eventuais mudanças no fornecimento dos materiais, levando-se em conta que a produção do concreto é feita em usinas dosadoras e misturadoras, e o transporte em caminhões basculantes, conforme ilustrado na Figura 4.

4º MANDAMENTO

“Definir os equipamentos a serem utilizados na obra”

Os equipamentos a serem utilizados



► **Figura 4**

Produção do concreto em usina dosadora e misturadora

na execução do pavimento de concreto simples deverão ser capazes de produzir um produto final acabado de alta qualidade, com a produtividade esperada.

Os equipamentos podem ser classificados em equipamentos de grande, médio e de pequeno porte, em função da sua produtividade.

Os equipamentos de grande porte são as vibroacabadoras de **fôrmas** deslizantes, com produtividade maior ou igual a 400 m²/hora, acompanhadas de usinas dosadoras e misturadoras de concreto, necessárias para garantir o fornecimento de material à frente da vibroacabadora; também, é comum o emprego de texturizadoras e aplicadoras automáticas de produtos de cura.

As vibroacabadoras podem executar pavimentos com larguras de 2,0 m até 16,0 m, em uma única passada, dependendo do modelo.

Os equipamentos de médio porte operam sobre fôrmas fixas, com dispositivos de adensamento e acabamento superficial constituídos de cilindros giratórios; necessitam de adensamento manual complementar do concreto, com vibradores de imersão, à frente do equipamento.

O emprego de desempenadeiras manuais metálicas (*floats*) e vassouras de piaçava para a texturização superficial é clássico. Têm produtividade típica variando entre 100 m²/hora e 150 m²/hora.

Os equipamentos de pequeno porte são constituídos de réguas vibratórias, treliçadas ou não, operando sobre fôrmas fixas, sendo necessário também o emprego de vibradores de imersão para o adequado adensamento do concreto. Também é clássico o emprego de desempenadeiras manuais metálicas (*floats*) para o acaba-

mento superficial e de vassouras de piaçava para a texturização do concreto. A produtividade típica desse de equipamento varia entre 40 m²/hora e 50 m²/hora.

5º MANDAMENTO

“Definir a logística da obra”

A definição da logística da obra é fundamental para o sucesso da empreitada, compreendendo desde a instalação do canteiro de obras e da usina de concreto até o transporte e a descarga do concreto à frente do equipamento.

O planejamento da instalação do canteiro de obras deve ser realizado com base em informações específicas fornecidas pelo cliente e pelo projetista. A título de exemplo, citam-se as informações básicas para a implantação do canteiro de uma usina dosadora e misturadora de concreto, quais sejam:

- a) extensão do trecho;
- b) locais possíveis de instalação do equipamento:
 - plantas do trecho, com acessos;
 - inspeção prévia dos locais.
- c) facilidades possíveis de fornecimento dos seguintes itens:
 - energia elétrica;
 - água;
 - alojamento;
 - refeições;
 - óleo diesel;
 - equipamentos para preparo do local;
 - materiais de suporte, para instalação: cimento, areia, brita, concreto etc.;
- d) volume mínimo a ser executado diariamente;
- e) datas limites do cronograma para instalação e início das atividades.

Escolha do terreno para o canteiro

A escolha do terreno para a instalação do conjunto para produção e controle tecnológico de concreto deve observar as seguintes prioridades:

- a) fluxo de recebimento dos materiais a serem utilizados;
- b) fluxo de saída dos caminhões para a frente de serviço;
- c) planta planialtimétrica do terreno.

Sempre que possível, a opção deve ser por terrenos planos, preferencialmente com geometria retangular, de forma a permitir no mínimo dois acessos distintos.

Na impossibilidade de locação em área plana, a melhor opção é a de área constituída por até três platôs, de forma a possibilitar a instalação por conjuntos ou blocos operacionais.

Locação dos equipamentos no canteiro

Recomenda-se considerar a locação dos blocos operacionais em áreas que permitam livre circulação de veículos, tendo em vista a necessidade de operação independente e constante das linhas de transporte de agregados, cimento, água, aditivos e concreto, incluindo a passagem deste pelo laboratório de controle tecnológico.

A casa de comando da central deve ser locada de forma a permitir:

- fácil acesso;
- ampla visão do carregamento de concreto;
- visão do pátio de agregados.

Finalmente, é importante cuidar da logística do transporte do concreto da usina até a frente de serviço, de modo a minimizar percursos e tempo de viagem, bem como aquele de manobra e descarga do concreto à frente do equipamento vibroacabador.



Estaca	Placa - Espessura Estimada (m)					Correção	Placa - Espessura Corrigida (m)					
	LE + 4,10	LE + 2,05	Centro	LD + 2,05	LD + 4,10		LE + 4,10	LE + 2,05	Centro	LD + 2,05	LD + 4,10	
721	4	0,221	0,218	0,219	0,217	0,236	0,020	0,241	0,238	0,239	0,237	0,256
721	10	0,226	0,223	0,211	0,219	0,237	0,020	0,246	0,243	0,231	0,239	0,257
721	16	0,226	0,227	0,219	0,220	0,228	0,020	0,246	0,247	0,239	0,240	0,248
722	2	0,218	0,215	0,206	0,215	0,232	0,020	0,238	0,235	0,226	0,235	0,252
722	8	0,207	0,211	0,205	0,213	0,232	0,020	0,227	0,231	0,225	0,233	0,252
722	14	0,203	0,206	0,205	0,215	0,232	0,020	0,223	0,226	0,225	0,235	0,252
723	0	0,199	0,198	0,203	0,207	0,226	0,020	0,219	0,218	0,223	0,227	0,246
723	6	0,203	0,205	0,196	0,203	0,215	0,020	0,223	0,225	0,216	0,223	0,235
723	12	0,201	0,201	0,200	0,207	0,216	0,020	0,221	0,221	0,220	0,227	0,236
723	18	0,208	0,208	0,205	0,207	0,212	0,020	0,228	0,228	0,225	0,227	0,232
724	4	0,208	0,218	0,213	0,214	0,214	0,020	0,228	0,238	0,233	0,234	0,234
724	10	0,208	0,211	0,211	0,215	0,222	0,020	0,228	0,231	0,231	0,235	0,242
724	16	0,205	0,208	0,210	0,216	0,223	0,020	0,225	0,228	0,230	0,236	0,243
725	2	0,199	0,216	0,217	0,228	0,235	0,020	0,219	0,236	0,237	0,248	0,255
725	8	0,220	0,224	0,231	0,227	0,232	0,020	0,240	0,244	0,251	0,247	0,252
725	14	0,206	0,217	0,217	0,215	0,229	0,020	0,226	0,237	0,237	0,235	0,249

► **Figura 5**

Plano Cotado da sub-base de concreto compactado com rolo – Exemplo de quadro de espessuras corrigidas das placas de concreto simples, necessário ao ajuste das cotas de projeto no campo

6º MANDAMENTO

“Detalhar os procedimentos de execução e de controle da fundação (subleito e sub-base)”

Deve-se cuidar para que a fundação do pavimento seja bem executada e controlada, conforme as especificações de projeto.

Nessa fase, deve-se cuidar para que o sistema de drenagem subsuperficial e profunda (se houver) seja executado adequadamente, de acordo com o projeto executivo de engenharia e

atendendo às normas e especificações dos organismos oficiais, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por exemplo.

São consideradas operações de preparo da fundação as correções da camada superficial do subleito e os acertos do leito resultantes das operações de terraplenagem. Consistirão na substituição de solos inadequados e na remoção de blocos de pedra ou raízes, pedaços de madeira ou quaisquer outros materiais putrescíveis, bem como raspagens e aterros que visem colocar o leito de acordo com o greide

e o perfil longitudinal projetado.

A camada de sub-base, definida no projeto, será executada de acordo com prescrições especiais nele fornecidas. Em qualquer caso, deverá ser infensa aos fenômenos de expansibilidade e de bombeamento, entendido este como a expulsão, sob a forma de lama fluida, e de baixo para cima, de solos finos plásticos porventura existentes no subleito do pavimento de concreto.

As sub-bases podem ser granulares ou tratadas com ligantes hidráulicos ou betuminosos. São os seguintes os tipos mais usuais de sub-bases utilizadas na pavimentação rígida:

- sub-base de concreto compactado com rolo (CCR);
- sub-base de brita graduada tratada com cimento (BGTC);
- sub-base de solo-cimento (SC);
- sub-base de solo melhorado com cimento (SMC);
- sub-base de brita graduada simples (BGS).

De qualquer forma, tanto os procedimentos de regularização e conformação do subleito quanto aqueles de execução e controle da sub-base deverão estar de acordo com as normas brasileiras vigentes, atendendo sempre às especificações de projeto.

É de fundamental importância o rigoroso controle topográfico da camada de sub-base, elaborando-se o chamado Plano Cotado da sub-base, de forma a permitir a correção no campo das cotas de execução da camada final, garantindo-se, assim, a espessura de projeto do pavimento de concreto, conforme ilustrado na Figura 5.

É recomendável que o rigoroso controle topográfico da obra, com a elaboração do Plano Cotado, como mencionado, seja aplicado a todas as camadas constituintes do pavimento, desde o subleito.



► **Figura 6**

Distribuição (a) e espalhamento do concreto compactado com rolo com vibroacabadoras de asfalto (b)



► **Figura 7**
Compactação do concreto compactado com rolo liso vibratório

7º MANDAMENTO

“Detalhar os procedimentos de execução e de controle do concreto simples, com foco na durabilidade (condição estrutural) e no conforto de rolamento (condição funcional) do pavimento”

Deverão ser detalhados os procedimentos de execução e de controle de obra, de acordo com o tipo de equipamento a ser utilizado. No caso geral das obras de grande porte, como as pavimentações rodoviárias, por exemplo, os equipamentos recomendados são as vibroacabadoras de fôrmas deslizantes, abastecidas por usinas dosadoras e misturadoras de concreto, transportáveis, com capacidade nominal mínima compatível com a produtividade desejada (no mínimo 120 m³ por hora). O emprego de distribuidoras de concreto à frente da vibroacabadora pode ser considerado como um recurso para agilizar a execução, aumentando a produtividade do conjunto.

O objetivo do detalhamento minucioso dos procedimentos de execução e de controle de obra é garantir a excelência da condição estrutural e funcional do pavimento.

Com relação à condição estrutural, ou seja, à capacidade do pavimento suportar as cargas solicitantes ao longo do período de projeto, é primordial o

controle da resistência à tração na flexão do concreto no estado endurecido, bem como da consistência e do teor de ar incorporado do concreto no estado plástico. Também, o controle da espessura do concreto simples, definida no projeto, é crucial para a manutenção da desejada condição estrutural do pavimento ao longo do período de utilização. Finalmente, deve-se garantir que o equipamento vibroacabador promova o completo adensamento do concreto, sem a ocorrência de “ninhos” ou “brocas” no pavimento.

Com relação à condição funcional, que traduz o conforto de rolamento proporcionado pela superfície do pavimento acabado, esta é diretamente afetada, de forma negativa, pelos fatores descritos a seguir, no caso da execução com vibroacabadoras de fôrmas deslizantes:

- paradas do equipamento vibroacabador;
- irregularidade da sub-base;
- desalinhamento ou catenárias nas linhas-guia;
- excesso de concreto à frente da vibroacabadora;
- grandes variações na consistência do concreto (abatimento);
- variações nas características tecnológicas do concreto;
- desuniformidade nos procedimentos de mistura, transporte e lançamento, adensamento e acabamento do concreto;
- desuniformidade no avanço do equipamento;
- equipamento sujo e sem manutenção;
- equipe não treinada, desmotivada e sem compromisso com a qualidade do pavimento acabado.

Em resumo, pode-se dizer que a palavra chave para a obtenção de um pavimento de concreto confortável é a UNIFORMIDADE em todas as eta-



► **Figura 8**
Cura do concreto compactado com rolo com pintura betuminosa (emulsão asfáltica)

pas da execução (Figura 9).

8º MANDAMENTO

“Executar a obra dentro dos padrões de qualidade exigidos”

Mostram-se, a título de exemplo, os passos necessários à boa execução de um pavimento de concreto com vibroacabadoras de fôrmas deslizantes:

- a) para garantia da produtividade é necessário que haja frente de serviço, com camada de sub-base acabada, curada (quando cimentada) e nivelada na cota de projeto; não deve haver obstáculos laterais e limitadores de altura no curso da vibroacabadora;
- b) o concreto deverá ser produzido em



► **Figura 9**
Execução de pavimento de concreto com vibroacabadora de fôrmas deslizantes

- usinas dosadoras e misturadoras, de grande capacidade, transportáveis e instaladas estrategicamente no canteiro de obras; essas usinas deverão dispor de dispositivos eletrônicos para controle da dosagem e pesagem dos materiais, incluindo os aditivos, capazes de produzir concretos homogêneos e com as características especificadas em projeto;
- c) é recomendável que a vibroacabadora opere a uma velocidade mínima de 0,7 m/min, evitando-se ao máximo que o processo seja interrompido, sob pena de afetar o conforto de rolamento do pavimento:
- deve-se dispor de uma quantidade de caminhões basculantes suficiente para a alimentação da vibroacabadora sem que haja interrupção na execução do pavimento;
 - os dispositivos de transferência de carga devem ser colocados com agilidade, atendendo ao posicionamento definido em projeto;
- d) para a garantia da qualidade da superfície acabada e do conforto de rolamento, as linhas-guia, responsáveis pelo controle planialtimétrico da vibroacabadora, devem estar perfeitamente alinhadas através de controle topográfico, evitando-se a ocorrência de catenárias: A vibroacabadora deverá estar perfeitamente ajustada e calibrada e os operários orientados para evitar o deslocamento das linhas-guia pré-posicionadas;
- e) é importante que se tenha um controle rígido das cotas de projeto (sub-base e placas de concreto do pavimento), de modo a evitar que a camada final do pavimento tenha espessura menor ou maior que a projetada:
- se a espessura de concreto aplicada for menor que a especificada em projeto, a estrutura fica comprometida, gerando custos elevados de reparação desses trechos;
 - por outro lado, se a espessura de concreto aplicada for maior que a especificada em projeto, ocorrerá desperdício de concreto, com consequente elevação dos custos de execução do pavimento;
- f) o concreto deve ser lançado de maneira uniforme pelo caminhão basculante, evitando-se a formação de pilhas de concreto muito altas;
- nessa fase deve-se evitar que o próprio concreto ou o caminhão basculante desloquem as barras de transferência pré-colocadas;
 - é importante que se garanta a constância do abastecimento de concreto à frente a vibroacabadora;
- g) o adensamento do concreto é feito pela bateria de vibradores de imersão, com o auxílio de régua “tamper”, frontal, ou régua oscilante transversal, traseira, dependendo do tipo de equipamento:
- é necessário que os vibradores de imersão estejam corretamente posicionados e com a vibração adequada ao tipo de concreto utilizado;
 - cuidados especiais devem ser tomados com os vibradores junto às formas laterais, evitando-se, ali, o excesso ou a falta de vibração;
- h) o acabamento do concreto é dado pela desempenadeira mecânica (*auto float*) ou pela mesa acabadora (*float pan*), dependendo do tipo de equipamento:
- a desempenadeira mecânica deverá estar bem regulada com relação à pressão que ela exerce sobre o concreto fresco e à distância mínima a ser mantida das bordas do pavimento, de modo a evitar a ocorrência de depressões ou abatimentos junto a essas bordas;
 - desempenadeiras metálicas de cabo longo (rodos de corte) e de cabo curto, menores, são empregadas para o acabamento junto às bordas ou locais que necessitem de alguma correção;
 - para o acabamento das bordas propriamente ditas, as chamadas desempenadeiras de borda curva são muito úteis;
- i) após o adensamento do concreto deve-se proceder rapidamente à texturização e à aplicação do produto de cura química, na taxa especificada em projeto:
- é desejável a utilização de texturizadora e sistema de aspersão de produto de cura química mecanizado para que se evite, especialmente em dias quentes, o aparecimento de fissuras causadas pelo fenômeno da retração plástica;
 - é importante que o processo de texturização e cura seja executado adequadamente. O produto de cura deverá atender à norma *ASTM C 309-11 Standard specification for liquid membrane – forming compounds for curing concrete*;
- j) terminada a aplicação do produto de cura química, o pavimento deve ser protegido para que a superfície do concreto fresco não seja danificada pela ação de transeuntes, veículos ou animais;
- l) a abertura de juntas deve ser executada tão logo a resistência do



► **Figura 10**

Adensamento do concreto é feito com o auxílio de vibradores de imersão

concreto permita o tráfego do equipamento de corte e a serragem sem desprendimento de material:

- deve-se ter um controle rígido do tempo e profundidade de corte, a fim de evitar o aparecimento de trincas estruturais;
- é necessário ainda que haja equipamentos em quantidade suficiente para a execução dos serviços, além de equipamentos para substituição em caso de pane, bem como os insumos necessários ao processo de corte de juntas, como discos de serra e fornecimento de água e energia elétrica;
- não pode haver falha logística nesse processo;
- as juntas deverão ser seladas conforme os fatores de forma definidos em projeto e as



► **Figura 11**

Acabamento do concreto

recomendações do fabricante com relação ao material selante.

Nessa fase é importante ressaltar a importância de uma equipe bem treinada e imbuída do espírito da busca da excelência.

9º MANDAMENTO

“Gerenciar a obra “

É de fundamental importância o adequado gerenciamento da obra, feito por empresa competente e especialmente contratada para esse fim.

Caberá à empresa gerenciadora analisar todos os dados e relatórios gerados pelo controle tecnológico da obra, bem como gerar toda a documentação técnica de acompanhamento da obra, necessária à comprovação da adequação do produto final acabado às exigências de projeto. Em resumo, caberá à gerenciadora aprovar ou rejeitar a obra, por partes e, no final, como um todo.

É de fundamental importância o controle da espessura do pavimento de concreto acabado, o que deve ser feito por medidas topográficas, a partir do Plano Cotado, como já mencionado, e medidas diretas de espessura nas bordas do pavimento.

10º MANDAMENTO

“Cuidar para que as empresas envolvidas na obra comprometam-se com a excelência da qualidade do produto final acabado”

Esse último mandamento ou dogma é na verdade um resumo dos anteriores, associado aos termos vontade e compromisso.

Sem dúvida, a excelência da qualidade de um pavimento rígido é função



► **Figura 12**

Cura química mecanizada

da vontade e do comprometimento de todos os envolvidos na obra (cliente, projetista, construtor e gerenciador) na busca dessa excelência, associados ao emprego dos recursos tecnológicos adequados e disponíveis.

Portanto, cuidar para que as empresas envolvidas comprometam-se com a qualidade é, além de despertar a vontade, criar ferramentas que estabeleçam o compromisso entre elas, o que pode ser feito através de contratos de prestação de serviços bem elaborados.

Finalmente, cabe ressaltar a importância das PESSOAS envolvidas no processo:

- são pessoas que projetam;
- são pessoas que executam;
- são pessoas que controlam;
- nada acontece se as pessoas não fizerem as coisas acontecerem;
- as pessoas são as principais commodities desse negócio*.



► **Figura 13**

Serragem das juntas

Perspectivas para o uso do concreto com fibras para pavimentos

ANTONIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO

RENATA MONTE

DEPTO. DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

I. INTRODUÇÃO

A evolução do concreto reforçado com fibras (CRF) no Brasil ainda está aquém do nível técnico das aplicações observadas em outros países. Na Europa, o CRF já é utilizado há algum tempo para lajes ou pavimentos elevados tendo as fibras como único material de reforço. No Brasil, a principal aplicação ainda são os pavimentos industriais apoiados em solo. Esta solução é sempre vinculada de alguma forma às facilidades executivas que o uso do CRF possibilita, como o fato de dispensar o processo de instalação da armadura convencional. Além disso, o uso do CRF permite a entrada de caminhões betoneira para o lançamento direto do concreto no local de aplicação.

Um problema frequente relacionado ao uso do CRF para pavimentos está no controle reduzido ou nulo das características estruturais do material. Apesar do reduzido nível de demanda estrutural dos pavimentos, a ausência de estudos de dosagem e do controle regular das características do CRF gera um caráter empírico à aplicação. Parte

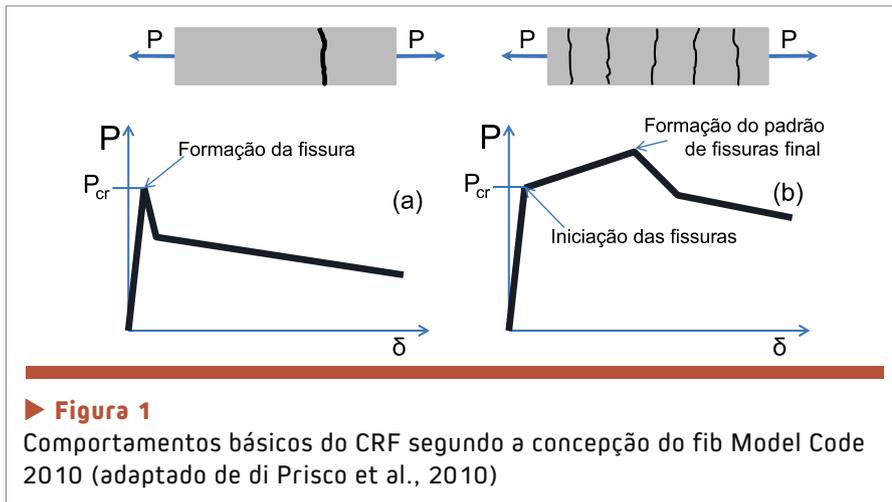
desse problema está vinculada ao restrito número de laboratórios capacitados para a realização de ensaios específicos de caracterização do CRF. Outro problema é a carência de normas nacionais focando o CRF. Nesta situação, as inovações obtidas recentemente se restringem à disponibilização de novas fibras no mercado. Mesmo assim, devido à insuficiência de controle tecnológico, as novidades que surgem vêm acompanhadas de dúvidas quanto ao seu real desempenho estrutural.

No sentido de mitigar este problema, ocorreu recentemente a instalação de um Comitê Técnico CT303 IBRACON/ABECE: *Uso de Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras*. Este comitê foi iniciado pela ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) que publicou uma recomendação de projeto para aplicações estruturais. Esta recomendação foi baseada nas novas propostas do Código Modelo fib 2010 (FIB, 2013), que traz uma concepção que possibilita maior flexibilidade aos projetistas no dimen-

sionamento de qualquer elemento estrutural com o uso do CRF. No entanto, isto vem atrelado, necessariamente, a um maior rigor no nível de controle de qualidade do material estrutural.

2. NOVO CÓDIGO MODELO fib

Na concepção do Código Modelo fib 2010 (FIB, 2013) o foco de análise do comportamento básico do CRF está na capacidade de absorção de esforços pós-fissuração. São previstos dois tipos de comportamento básico. No primeiro, chamado de amolecimento ou *softening*, associado a um volume de fibras abaixo do volume crítico, a resistência pós-fissuração do material é inferior à resistência da matriz. Por consequência, a capacidade de absorção de esforços diminui com a fissuração da matriz e o aumento da abertura da fissura (Figura 1a). Nesta condição ocorre apenas uma fissura no compósito uma vez que a tensão no material diminui com o seu surgimento e ampliação. O outro comportamento previsto é aquele em que o material apresenta uma resistência pós-fissuração superior à da matriz, (Figura 1b). Esta



condição, denominada endurecimento ou *hardening*, está vinculada à múltipla fissuração do material. O dimensionamento para um ou outro comportamento irá depender do tipo de elemento estrutural. Assim, no caso de pavimentos, em que há uma redundância estrutural relacionada à possibilidade de redistribuição de esforços no elemento, é adequado pensar num comportamento de *softening*.

O novo Código Modelo *fib* adotou o ensaio tradicional de flexão em prismas definido pela norma europeia EN14651:2007. Esse método é baseado na flexão de prismas com entalhe inferior e carregados com apenas um cutelo superior conforme o apresentado na Figura 2. A partir desse ensaio é possível obter uma curva de carga versus abertura de fissura obtida com um transdutor CMOD (*Crack mouth opening displacement*) (Figura 3). Nessa análise se pode avaliar a resistência residual, tanto para baixos como para altos níveis de abertura de fissura.

As resistências residuais, obtidas pelo método EN14651:2007, correspondentes aos valores f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} , f_{R4} , são definidas para quatro níveis de

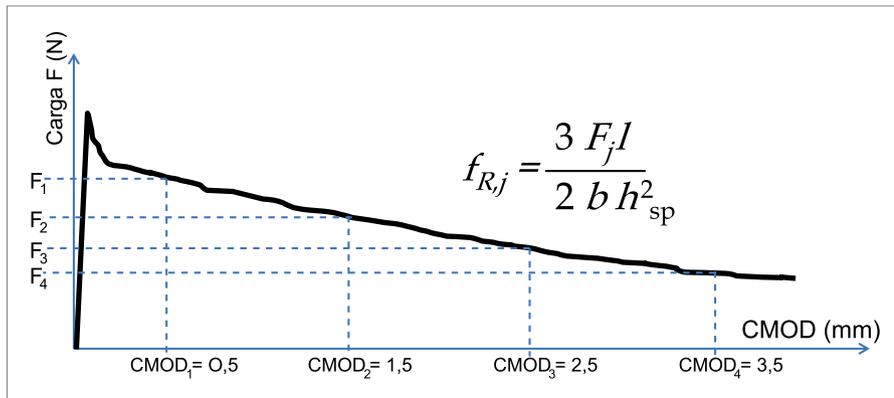
abertura de fissura ou CMOD, quais sejam $CMOD_1 = 0,5mm$, $CMOD_2 = 1,5mm$, $CMOD_3 = 2,5mm$ e $CMOD_4 = 3,5mm$, respectivamente. Estes valores de resistência residual são então associados ao Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU) em função do nível de abertura de fissura. A partir do valor da resistência à tração da matriz e das resistências residuais estabelecidas

como valores correspondentes ao ELS (f_{R1}) e ao ELU (f_{R3}), pode-se obter a equação constitutiva base para o dimensionamento de estruturas com CRF. Os gráficos que definem essas equações estão representados na Figura 4 para os comportamentos de *softening* e *hardening*.

Para o caso de *softening*, a definição da lei constitutiva $\sigma-\epsilon$ é baseada na identificação da abertura de fissura w e no correspondente comprimento característico estrutural do elemento em análise l_{cs} . A idéia é conectar as relações constitutivas ($\sigma-\epsilon$) com a mecânica da fratura ($\sigma-w$). Assim, toma-se l_{cs} como o espaçamento das fissuras (multifissuração para o caso de o volume de fibras ser superior ao crítico) que pode também ser considerado como o vão do prisma quando usada análise plana (di PRISCO et al., 2010). Assim tem-se a relação $\epsilon = w/l_{cs}$ para



► Figura 2
Esquema de ensaio de flexão em prismas com entalhe adotado pela norma EN14651:2007



► **Figura 3**
Curva padrão para medida de resistência residual pós-fissuração no ensaio de flexão em prismas com entalhe adotado pela norma EN14651:2007

a obtenção das equações constitutivas do material, sendo que $\epsilon_{ELS} = CMOD_1/l_{cs}$ e $\epsilon_{ELU} = Wu/l_{cs}$, sendo que Wu seja considerado de modo a $1\% \leq \epsilon_{ELU} \leq 2\%$.

Há também uma classificação do comportamento do CRF quanto à tenacidade prevista pelo Código Modelo. Nele o ELU, correspondente ao f_{R3k} , pode ser relacionado com o ELS, correspondente ao f_{R1k} , através da relação f_{R3k}/f_{R1k} . Ou seja, são estabelecidas categorias de comportamento residual (a, b, c, d, e) em

função da relação f_{R3k}/f_{R1k} . O valor de f_{R1k} pode variar de 1 MPa a 8 MPa e a relação f_{R3k}/f_{R1k} pode se circunscrever nos seguintes intervalos de classificação:

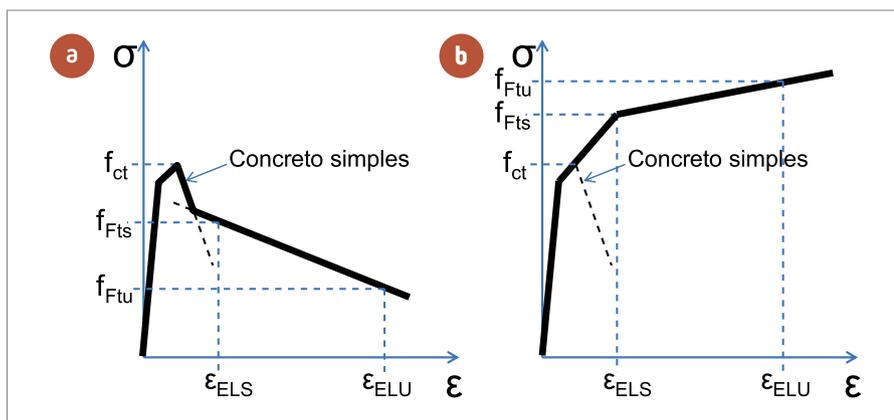
- a, se $0.5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0.7$;
- b, se $0.7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0.9$;
- c, se $0.9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1.1$;
- d, se $1.1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1.3$;
- e, se $1.3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$.

Além disso, é estabelecida a relação mínima $f_{R3k}/f_{R1k} \geq 0,5$ o que configura uma resistência residual mínima no ELU que é a metade da resistência residual no ELS. Dessa

forma fica clara a necessidade de controle e parametrização do CRF de modo a verificar as premissas de projeto.

3. O CONTROLE DO CRF PARA PAVIMENTOS

Os programas de controle de qualidade do concreto deveriam ser algo básico e de total domínio da comunidade técnica de uma região onde se executem obras de responsabilidade. Nas últimas edições do Congresso Brasileiros do Concreto, do IBRACON, foram relatados trabalhos que demonstraram claramente o risco de baixa qualidade de ensaios sendo realizados por laboratórios nacionais. Há um número muito reduzido de laboratórios acreditados pelo INMETRO para a realização do ensaio de compressão axial. Isto é prejudicial para a fundamentação da tecnologia do concreto estrutural no país. Se esta condição difícil ocorre para um ensaio simples como o de determinação da resistência à compressão, para o controle da tenacidade é ainda mais crítica. Estudos anteriores demonstraram que o ensaio de determinação da tenacidade através do tradicional método JSCE SF4:1984, realizado com o mesmo concreto em quatro laboratórios distintos, foi problemático em termos de reprodutibilidade. Ressalte-se que esse ensaio tem uma concepção menos sofisticada do que o ensaio EN14651:2007 e, principalmente, é muito limitado para análise das capacidades resistentes no ELS e ELU. A isso se soma o fato de que esse ensaio exige um sistema fechado de controle de deformação, ou seja, a deformação imposta no ensaio deve ser controlada pelo



► **Figura 4**
Gráficos representativos das equações constitutivas para o dimensionamento de elementos com CRF apresentando comportamento de softening (a) e hardening (b) segundo o fib Model Code (di Prisco et al., 2010)

deslocamento medido no corpo de prova. Isto implica na capacitação dos laboratórios com equipamentos mais sofisticados do que aqueles atualmente disponíveis nessas empresas. Desta forma, o ensaio de EN14651:2007 necessita de maiores investimentos e cuidados, além de pessoas qualificadas para conduzi-lo. Conseqüentemente, haverá maiores dificuldades para se encontrar laboratórios qualificados para a sua adequada execução.

O desafio futuro para a tecnologia do CRF no Brasil será então desenvolver modelos de dimensionamento e controle compatíveis e, principalmente, aplicáveis de maneira confiável. Neste sentido, alguns estudos já estão sendo feitos tentando-se relacionar o comportamento mecânico do CRF, avaliado em prismas, com os obtidos com outros ensaios mais simples, como é o caso do ensaio Barcelona (PUJADAS et. al., 2013). Este ensaio consiste no puncionamento de um cilindro e o controle do deslocamento do pistão, conforme o ilustrado na Figura 5.

Os resultados do ensaio Barcelona podem ser correlacionados aos obtidos no ensaio de tração na flexão. Um exemplo deste tipo de correlação é apresentado na Figura 6 onde se pode observar uma ótima correlação. Com isso, é possível realizar ensaios corriqueiros para controle de qualidade utilizando o ensaio Barcelona, deixando ensaios mais complexos, como o preconizado pela EN14951:2007, para as atividades de dosagem e qualificação do CRF.

4. O CONTROLE DA FIBRA E DO SEU CONSUMO

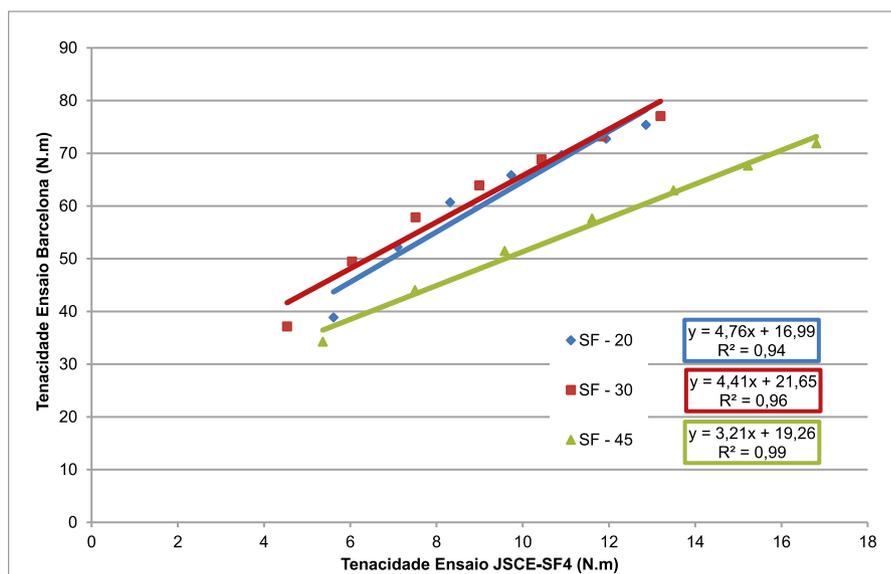
Além dos ensaios de controle



► **Figura 5**
Ensaio Barcelona em execução (a) e o corpo de prova após o ensaio (b)

do comportamento pós-fissuração, outros terão que ser desenvolvidos para o estabelecimento de um programa adequado de controle de qualidade. Entre eles está o controle da fibra que, para o caso da fibra de aço, a norma NBR 15530:2007 estabelece alguns requisitos e proce-

dimentos de ensaio. Para as fibras sintéticas, a pesquisa realizada por Estrada et al. (2015) apresenta procedimentos para a caracterização geométrica deste material. Estudos abordando a caracterização mecânica das fibras estão sendo finalizados e deverão compor parte das



► **Figura 6**
Regressões lineares entre as tenacidades médias dos ensaios JSCE-SF4 ($0 \leq \delta \leq 2$) e Barcelona ($0 \leq TCO \leq 4$) para a fibra de aço (Adaptado de Monte; Toaldo; Figueiredo, 2014)

recomendações a serem publicadas pelo CT303.

Além da caracterização do material, a determinação do teor de fibra incorporado ao concreto é fundamental. Isto já foi analisado para o caso do estado endurecido (KALIL et al., 2010), mas precisa receber atenção para o caso do estado fresco.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Há uma tendência internacional de busca de consenso e de embasamento técnico científico que potencializem o uso do CRF como material estrutural. Esta tendência está muito direcionada ao novo *fib Model Code 2010* (FIB, 2013) e irá permear as mais distintas aplicações do CRF seja qual for o tipo de fibra utilizado. Assim, será possível minimizar o grau de desconfiança que o meio técnico tem para esta aplicação e possibilitar um incremento nas possibilidades de aplicação em pavimentos e outros tipos de estruturas.

Vale ressaltar que qualquer aplicação estrutural do CRF exige um nível de controle de qualidade mínimo. O nível do rigor irá depender

do maior ou menor nível de responsabilidade estrutural, sem dúvida. Mas não é aceitável a aplicação do CRF sem qualquer controle. Para o pavimento, é fundamental que haja um estudo prévio de dosagem que garanta que o reforço de fibras seja suficiente para atender às exigências de resistência pós-fissuração. Neste caso, ensaios mais sofisticados podem ser de grande valia para otimização do dimensionamento do reforço e, assim, minimização de custos associados à produção do material. No entanto, parece razoável conceber um sistema de controle simples no qual se verificaria a qualidade da matriz a partir de um ensaio de caracterização mecânica (como é o caso da determinação da resistência à tração na flexão) em conjunto com a execução de um ensaio de controle do teor de fibras efetivamente incorporadas na matriz. Esse poderia ser considerado um nível mínimo de controle para pavimentos de menor responsabilidade estrutural. Por outro lado, o aumento do nível de rigor nesse processo de controle poderia

ser obtido através da realização do ensaio Barcelona, sem tantas dificuldades como as existentes nos ensaios de tenacidade à flexão.

Dessa maneira, nos trabalhos do comitê CT303 deverão ser abordados temas muito importantes para especificação do CRF. Nessa especificação, se houver a adoção da filosofia empregada pelo *fib Model Code 2010* (FIB, 2013), o que é já uma tendência demonstrada pela ABECE, haverá uma maior probabilidade de êxito. Essa especificação irá depender também da definição de métodos de ensaio confiáveis, que possam avaliar as resistências residuais no ELS e ELU, o que implica dizer que não deve haver instabilidade na fase pós-pico prejudicando a medida da resistência residual para baixos níveis de abertura de fissura, o que é um problema preocupante há bom tempo. Finalmente, deverá se procurar qualificar o meio técnico nacional, especialmente os laboratórios de controle, de modo a garantir suporte adequado para o uso do CRF como material estrutural confiável. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15530: fibras de aço para concreto. Rio de Janeiro, 2007. 7p.
- [02] DI PRISCO, M.; PLIZZARI, G.; VANDEWALLE, L. Fiber reinforced concrete in the new FIB model code. Proceedings of the Third International Congress and Exhibition Fib “Think Globally, Build locally”. In: 3° FIB INTERNATIONAL CONGRESS, 2010, Washington, p. 1-12.
- [03] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 14651. Test method for metallic fibre concrete - Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality residual). European Standard. 2007. 20p.
- [04] ESTRADA, A. R. C.; GALOBARDES, I.; REBMANN, M. S.; MONTE, R.; FIGUEIREDO, A. D. Geometric characterization of polymeric macrofibers. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 8, p. 644-668, 2015.
- [05] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland, 2013. 402p.
- [06] JSCE - JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete. JSCE-SF4. Concrete Library of JSCE. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. 1984. p.58-61.
- [07] KALIL, R. Z., ESCARIZ, R. C., FIGUEIREDO, A. D. Elaboração de método de ensaio para determinação do teor de fibras em concreto endurecido. In: 52º. Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza. Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010.
- [08] MONTE, R.; TOALDO, G. S.; FIGUEIREDO, A. D. Avaliação da tenacidade de concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto. Matéria (UFRJ), v. 19, p. 132-149, 2014.
- [09] PUJADAS P., BLANCO A., CAVALARO S.H.P., de la FUENTE A., AGUADO A. New Analytical Model to Generalize the Barcelona Test Using Axial Displacement. Journal of Civil Engineering and Management. Vol. 19, n. 2, 2013

Projeto de pavimento em concreto protendido para um terminal de contêineres

MATEUS BERWALDT SANTOS – PROFESSOR MESTRE

INSTITUTO FEDERAL SUL-RIOGRANDENSE (IFSUL)

MAURO DE VASCONCELLOS REAL – PROFESSOR DOUTOR

ANTÔNIO MARCOS DE LIMA ALVES – PROFESSOR DOUTOR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE (FURG)

I. INTRODUÇÃO

Os pavimentos portuários geralmente estão sujeitos a cargas elevadas e o dinamismo das movimentações nos portos cria dificuldades para obras de manutenção. Por isso, as soluções de pavimentação devem ter resistência e durabilidade.

As cargas variam em geometria e intensidade, conforme a finalidade do terminal portuário. No caso de um terminal de contêineres como de Rio Grande, destacam-se as seguintes

cargas: contêineres, *stackers* e guindastes de pórtico sobre pneus (RTGs).

Os tipos de pavimentos tradicionalmente utilizados em portos são: pedra natural, concreto compactado a rolo, placas de concreto, concreto armado e blocos intertravados de concreto.

Os pavimentos de concreto podem fornecer excelente desempenho, sob grande variedade de condições operacionais. No entanto, as juntas de dilatação relativamente próximas constituem pontos por onde pode ocorrer infiltra-

ção de água, o que provoca a perda de partículas finas, tornando a sub-base mais recalçável. Desse modo, a ação das rodas dos veículos poderá causar tensões maiores no pavimento na proximidade das juntas. Além disso, a grande intensidade das cargas em um terminal portuário exige placas de maior espessura e, muitas vezes, requer o uso de elevada taxa de armadura.

No pavimento rígido em concreto protendido, os esforços de tração são controlados pela protensão, a qual comprime o concreto, criando nele uma reserva de tensão que permite uma redução sensível na espessura da placa. A placa assim comprimida se constitui num pavimento praticamente impermeável e sem trincas. As juntas de dilatação, maior fonte de quebras na placa convencional, podem ser distanciadas até 150 m uma da outra (SCHMID, 2005).

A protensão constitui um método eficiente para diminuir o número de juntas e reduzir o risco de fissuração na placa. Assim, a protensão prolonga a vida útil do pavimento, além de permitir a redução da espessura da placa.

Este trabalho tem como objetivo



► **Figura 1**

Pátio do Tecon de Rio Grande – RS

estudar a alternativa da laje de concreto protendido para pavimentos portuários. Para isso apresenta um exemplo de dimensionamento, para o terminal de contêineres de Rio Grande (Tecon). Também foram desenvolvidas planilhas eletrônicas para o projeto, as quais permitem variar espessura da laje de concreto, f_{ck} , armadura ativa e propriedades da sub-base, permitindo encontrar a solução mais vantajosa. Os modelos de cálculo e as planilhas foram verificados por meio da comparação dos seus resultados com resultados de um projeto apresentado por VASCONCELOS (1979).

2. METODOLOGIA DE PROJETO DE PAVIMENTO EM CONCRETO PROTENDIDO

O dimensionamento do pavimento deve ser realizado para dois casos-limite, ou seja, para o ponto onde a compressão no concreto será mínima devido às perdas de protensão, o meio da placa ($L/2$), e para o ponto onde a compressão no concreto será máxima, ponto de repouso (x_r).

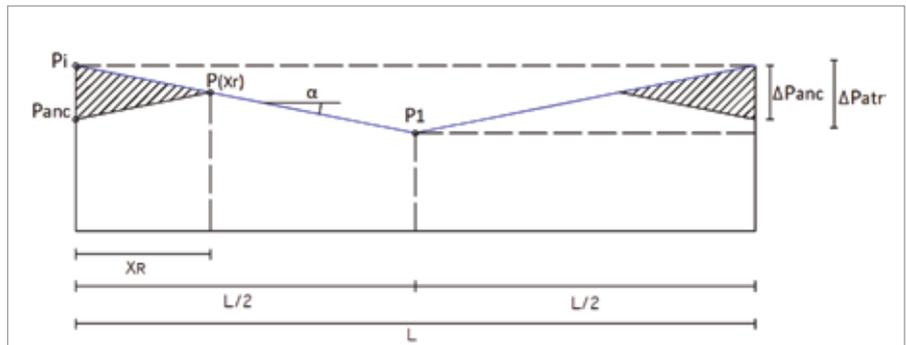
2.1 Cálculo da força de protensão inicial

Trata-se da força máxima de tração nos cabos de protensão, antes da liberação dos macacos hidráulicos e que aconteça qualquer perda de protensão. Deve ser calculada com base nos limites previstos na NBR 6118 (2014) em relação às tensões de escoamento e ruptura do aço utilizado.

2.2 Situação no meio da placa

2.2.1 PERDAS IMEDIATAS DA FORÇA DE PROTENSÃO

São aquelas que acontecem no



► **Figura 2**

Perdas de protensão no cabo devido ao atrito (linha azul) e a acomodação das ancoragens (triângulos)

instante t_0 , logo após a liberação dos macacos hidráulicos e a transferência da força de protensão para o concreto.

2.2.1.1 Perdas por atrito entre o cabo de protensão e a bainha

As perdas por atrito entre o cabo de protensão e a bainha podem ser calculadas pela equação fornecida pela NBR 6118 (2014):

$$\Delta P_{atr} = P_i [1 - e^{-(\mu \Sigma \alpha + Kx)}] \quad [1]$$

2.2.1.2 Perdas por acomodação das ancoragens

Quando os macacos de protensão são retirados ocorre a acomodação das ancoragens. Com isso, o cabo tem um movimento no sentido contrário ao da protensão, então acontece uma diminuição na força de protensão até o ponto de repouso (x_r). Para determinar a posição deste ponto, podemos usar a seguinte relação, conforme a figura 2:

$$E_p \cdot A_p \cdot \delta = \text{Área do triângulo} \quad [2]$$

Na equação 2, o valor de δ corres-

ponde ao retorno dos cabos devido à acomodação das ancoragens. Deve ser retirado do catálogo do fabricante dos equipamentos. Através da análise da figura 2, é possível trabalhar a equação 2 deixando explícito o valor de x_r .

$$x_r = \sqrt{\frac{E_p \cdot A_p \cdot \delta \cdot l}{2 \cdot \Delta P_{atr}}} \quad [3]$$

Como um pavimento em concreto protendido geralmente possui um comprimento grande, a acomodação das ancoragens não provoca perda de protensão no meio da placa, pois o atrito entre cabo e bainha impede que isso ocorra. A perda máxima de protensão por acomodação das ancoragens ocorre nas extremidades da placa e pode ser calculada pela equação 4.

$$\Delta P_{anc,max} = 2 \cdot [P_i - P(x_r)] \quad [4]$$

2.2.1.3 Perdas por encurtamento elástico do concreto

Na protensão com aderência posterior, quando um cabo do pavimento é tracionado, ocorre uma deformação no concreto, ou seja, um

encurtamento, o que alivia a tensão nos cabos anteriormente tracionados. Desse modo, apenas o último cabo não tem perda de protensão por encurtamento elástico. O valor médio é dado por:

$$\Delta\sigma_p = \frac{\alpha_p \cdot (\sigma_{c,p0g}) \cdot (n-1)}{2 \cdot n} \quad [5]$$

Onde: $\sigma_{c,p0g}$ é a tensão inicial no concreto ao nível do baricentro da armadura ativa, devido à protensão simultânea de n cabos e a carga permanente (peso próprio).

$$\sigma_{c,p0g} = P_a \left(\frac{1}{A_c} + \frac{e_p^2}{I_c} \right) - \frac{M_g \cdot e_p}{I_c} \quad [6]$$

2.2.2 PERDAS PROGRESSIVAS DA FORÇA DE PROTENSÃO

Além das perdas imediatas, também ocorrem perdas de protensão ao longo do tempo. As causas são: retração e fluência do concreto e relaxação do aço de protensão. Conforme a NBR 6118 (2014), as perdas progressivas de protensão devem ser calculadas de acordo com equação 7. Sendo que as equações de 8 a 11 fornecem parâmetros.

$$\Delta\sigma_p(t, t_0) = \frac{-\varepsilon_{cs}(t, t_0) \cdot E_p - \alpha_p \cdot \sigma_{c,p0g} \cdot \varphi(t, t_0) - \sigma_{p0} \cdot \chi(t, t_0)}{\chi_p + \chi_c \cdot \alpha_p \cdot \eta \cdot \rho_p} \quad [7]$$

$$\chi(t, t_0) = -\ln[1 - \Psi(t, t_0)] \quad [8]$$

$$\chi_c = 1 + 0,5\varphi(t, t_0) \quad [9]$$

$$\chi_p = 1 + \chi(t, t_0) \quad [10]$$

$$\eta = 1 + e_p^2 \frac{A_c}{I_c} \quad [11]$$

2.3 Situação no ponto de repouso

A sequência de cálculo é a mesma utilizada no meio da placa. Porém no cálculo das perdas por atrito, é preciso usar o valor de x_r .

2.4 Cálculo do alongamento dos cabos

Durante a operação de protensão, os cabos sofrem um alongamento, o qual é função da força de tração e do módulo de elasticidade. O valor desse alongamento é uma medida importante na execução da protensão, pois determina quando a força de tração de projeto foi atingida. Para calcular o alongamento, podemos utilizar a seguinte relação:

$$E_p \cdot A_p \cdot \Delta L = \text{Área do trapézio até } L/2 \quad [12]$$

A área em questão pode ser obtida na figura 2. Trabalhando a equação 12 pode-se deixar explícito o valor de ΔL .

$$\Delta L = \frac{(2 \cdot P_i - \Delta P_{atr}) \cdot L}{4 \cdot E_p \cdot A_p} \quad [13]$$

2.5 Atrito com a sub-base

Se o atrito com a sub-base atingir valores elevados, pode consumir até toda a força de protensão no meio da placa. Para que isto não ocorra é preciso limitar o comprimento do pavimento. SCHMID (2005) afirma que o comprimento ideal está entre 100 e 150 metros. O valor do coeficiente de atrito também precisa ser reduzido, o que geralmente é feito com o uso de um filme plástico entre o pavimento e a sub-base. A força do atrito é calculada através da equação 14.

$$F_a = \frac{L}{2} \cdot (\gamma \cdot h) \cdot \mu \quad [14]$$

Onde: F_a é a força de atrito; μ é o coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base; γ é o peso específico do concreto protendido; e h é a espessura do pavimento.

2.6 Combinações para o cálculo do momento de fissuração

O momento de fissuração deve ser calculado para duas situações-limite. Em ambas são consideradas a protensão inicial e as perdas imediatas e progressivas. A diferença é que na Situação A, é levado em conta o gradiente de temperatura e, na Situação B, o atrito com o solo. Esses dois fatores não devem ser considerados juntos, porque quando o gradiente provoca tração nas fibras inferiores da placa, o atrito com a sub-base irá se opor a isto, provocando compressão que está a favor da segurança.

2.7 Cálculo do momento de fissuração do pavimento

Quando o momento de serviço atinge o valor do momento de fissuração, a tração máxima no concreto terá atingido o valor da resistência à tração do concreto na flexão. Portanto o pavimento estará sujeito à abertura de fissuras. O dimensionamento deve ser feito para evitar isso. As equações 15 a 19 são usadas para obter o momento de fissuração. O cálculo deve ser feito para o meio da placa e ponto de repouso, considerando as Situações A e B (SANTOS, 2015).

$$\xi_r = \frac{1 + 2 \left[\frac{\sigma_{px}}{f_{ct,f}} + \alpha_p \cdot \frac{\sigma_{c,p0g}}{f_{ct,f}} \right] \cdot \rho_p + 2\alpha_p \cdot \delta \cdot \rho_p}{2 + 2 \left[\frac{\sigma_{px}}{f_{ct,f}} + \alpha_p \cdot \frac{\sigma_{c,p0g}}{f_{ct,f}} \right] \cdot \rho_p + 2\alpha_p \cdot \rho_p} \quad [15]$$



$$x_r = \xi_r \cdot h \quad [16]$$

$$\chi_r = \frac{f_{ct,f}}{E_{cs}} \cdot (h - x_r) \quad [17]$$

$$k_I = \xi^2 (3 - 2\xi) + (1 - \xi)^2 \cdot (1 + 2\xi) + 12 \left[\frac{\sigma_{p\infty}}{f_{ct,f}} + \alpha_p \cdot \frac{\sigma_{c,p0g}}{f_{ct,f}} \right] \cdot \rho_p \cdot \left(\delta - \frac{1}{2} \right) \cdot (1 - \xi) + 12 \cdot \alpha_p \cdot \rho_p \cdot \left(\delta - \xi \right) \cdot \left(\delta - \frac{1}{2} \right) \quad [18]$$

$$M_r = k_I \cdot I_c \cdot E_{cs} \cdot \chi_r \quad [19]$$

Com a equação 15, é obtida a posição da linha neutra, em relação ao limite superior da seção do pavimento. A equação 17 determina a curvatura da seção que corresponde ao momento de fissuração. A rigidez adimensional é calculada com a equação 18. O momento de fissuração é obtido com a equação 19. O detalhamento e as deduções destas equações encontram-se em SANTOS (2015).

2.8 Cálculo do raio de rigidez relativa do pavimento

O raio de rigidez relativa é relação entre a rigidez da placa e a rigidez do subleito. Indica a distância em relação a carga para que aconteça a inversão do momento fletor. Deve ser calculado para as quatro situações descritas em 2.7.

$$l = 4 \sqrt{\frac{E_I \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k}} \quad [20]$$

$$E_I = k_I \cdot E_{cs} \quad [21]$$

2.9 Cálculo do efeito da carga dos veículos

A tensão devido à carga dos veículos é calculada através das equações de Westergaard, as quais permitem determinar os esforços em três regiões do pavimento: interior (σ_{pi}), borda (σ_{pb}) e canto (σ_{pc}). A tensão que o veículo-tipo provoca no interior do pavimento é utilizada no dimensionamento, as demais servem para fazer reforços localizados nas bordas e cantos do pavimento (SANTOS, 2015).

2.9.1 RAI DO CÍRCULO EQUIVALENTE (a)

Nos cálculos, a área de contato do pneu com o pavimento é representada por um círculo, cujo raio é função da carga na roda e da pressão de enchimento do pneu. O que determina a existência de um ou dois pneus relevantes é a distância entre os pneus mais próximos. Se a distância for menor que o raio de rigidez médio multiplicado por 1,5, então o veículo possui dois pneus relevantes; caso contrário, terá apenas um. Isto se deve a sobreposição dos esforços de flexão provocados por cargas próximas (RODRIGUES, 2006).

2.9.1.1 Situações com um pneu relevante

$$a = \sqrt{\frac{Pd}{\pi p}} \quad [22]$$

2.9.1.2 Situações com dois pneus relevantes

$$a = \sqrt{\frac{0,8521 \cdot Pd}{\pi p} + \frac{Sd}{\pi} \left(\frac{Pd}{0,5227 p} \right)^{1/2}} \quad [23]$$

2.9.2 CORREÇÃO NO VALOR DE a

$$b = a \quad \text{para } a \geq 1,724h \quad [24]$$

$$b = \sqrt{1,6a^2 + h^2} - 0,675h \quad \text{para } a < 1,724h \quad [25]$$

2.9.3 CÁLCULO DAS TENSÕES

$$\sigma_{pi} = \frac{0,275P}{h^2} \cdot (1 + \nu) \cdot \left[\log \left(\frac{E_{cs} \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) - 0,436 \right] \quad [26]$$

$$\sigma_{pb} = \frac{0,529 \cdot P \cdot (1 + 0,54\nu)}{h^2} \cdot \left[\log \left(\frac{E_{cs} \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) - 0,71 \right] \quad [27]$$

$$\sigma_{pc} = -\frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{b}{l} \right)^{0,6} \right] \quad [28]$$

2.9.4 MOMENTOS DEVIDO À CARGA DOS VEÍCULOS

$$M_p = \sigma_p \cdot W \quad [29]$$

$$W = \frac{L \cdot h^2}{6} \quad [30]$$

2.10 Efeito do gradiente térmico na placa

A diferença de temperatura entre a face superior e a inferior da placa provoca o surgimento de um gradiente térmico, que tende a causar curvaturas na placa. Porém, o peso próprio

provoca o surgimento de momentos que reestabelecem a forma plana e o aparecimento de tensões de flexão. A equação 31 foi desenvolvida por Westergaard e permite calcular o momento devido ao gradiente térmico.

$$M_{\Delta T} = \frac{E_{cs} \cdot h^2 \cdot \alpha \cdot \Delta T}{12(1-\nu)} \quad [31]$$

2.11 Determinação da segurança à fissuração

A segurança contra fissuração é indicada pelo coeficiente γ_{fis} , o qual é uma relação entre o momento de fissuração e o momento de serviço. O coeficiente deve ser verificado para as situações A e B. Segundo a NBR 6118 (2014), o coeficiente de ponderação das ações para o estado limite de serviço (γ_f) é 1,0, salvo exigência em contrário, expressa em norma específica; portanto, não é necessário ponderar o valor do momento de serviço.

$$\gamma_{fis} = \frac{M_{fis}}{M_{ser}} \quad [32]$$

2.11.1 SITUAÇÃO A

O momento de serviço é a soma do momento devido à carga dos veículos e do momento devido ao gradiente térmico. Já, o momento de fissuração é o menor entre os calculados em 2.7 para a Situação A.

2.11.2 SITUAÇÃO B

O momento de serviço é devido somente à carga dos veículos. Já o momento de fissuração é o menor entre os calculados em 2.7 para a Situação B.

2.11.3 COEFICIENTE MÍNIMO DE SEGURANÇA À FISSURAÇÃO

Conforme a NBR 6118 (2014), as resistências no estado-limite de serviço (ELS) não necessitam de minoração; portanto, o coeficiente de ponderação das resistências (γ_m) é igual a 1,0. Neste trabalho o γ_m equivale ao γ_{fis} .

2.12 Verificação da carga uniformemente distribuída

Segundo RODRIGUES (2006), o momento negativo que as cargas distribuídas produzem nos corredores supera o momento positivo que ocorre sob as cargas. De acordo com a largura do corredor, pode ocorrer a superposição dos momentos negativos e esta será máxima para a largura de $2,2l$. A carga máxima admissível no pavimento rígido pode ser calculada, por meio da equação 33.

$$q_{adm} = 1,03 \cdot \frac{f_{ct,f}}{\gamma_c} \cdot \sqrt{h \cdot K} \quad [33]$$

A norma americana UFC 4-152-01 (2012) prevê uma carga distribuída de 47,9 kN/m² devido a contêineres.

3. VERIFICAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO

O modelo de cálculo proposto foi verificado por meio do exemplo de dimensionamento de pavimento para aeroporto apresentado por VASCONCELOS (1979). As tabelas 3.1 a 3.6 exibem os dados iniciais do referido autor e as tabelas 3.7 a 3.13 mostram os resultados encontrados por ele. Nas tabelas 3.14 a 3.20 estão os resultados obtidos mediante o modelo de cálculo proposto.

De acordo com o método de cálculo usado por VASCONCELOS

(1979), o coeficiente de segurança mínimo contra fissuração precisa ser 1,25. Este valor foi alcançado nas Situações A e B, do exemplo realizado pelo autor, como podemos ver na Tabela 3.13.

No modelo de cálculo proposto neste trabalho, o referido coeficiente mínimo é 1,0, o que está de acordo com a NBR 6118 (2014), como foi explicado no item 2.11.3. Porém, o exemplo de dimensionamento da bibliografia, quando solucionado através do modelo, ficou com os coeficientes abaixo no mínimo, conforme a tabela 3.20. No entanto, isso se deve a dois fatores justificáveis.

O primeiro é que VASCONCELOS (1979) utilizou o método de Pickett e Ray para determinar o momento devido aos veículos, este método é baseado nas Cartas de Influência e não pode ser programado em uma planilha eletrônica. Neste trabalho, foram utilizadas as equações de Westergaard, determinando o momento devido aos veículos. Com o uso das equações foram encontrados momentos maiores.

O segundo é que neste trabalho foram utilizadas as fórmulas da NBR 6118 (2014) para calcular a resistência à tração na flexão (f_{ctf}). Com essas fórmulas, foi encontrado um valor menor para esta resistência do que o valor apresentado por VASCONCELOS (1979).

Contudo, se no modelo de cálculo forem empregados os momentos solicitantes de VASCONCELOS (1979), os coeficientes de segurança à fissuração passam a valer 1,11 para a Situação A e 1,01 para a Situação B; portanto, os dois estão acima de 1,00 e o pavimento atende às exigências da NBR 6118 (2014), quanto ao estado limite de formação de fissuras.

3.1 - DADOS GEOMÉTRICOS

Espessura do pavimento (h) [m]	0,18
Largura da faixa de concretagem [m]	7,50
Comprimento entre juntas [m]	115,00

3.3 - DADOS RELATIVOS AO CONCRETO

Peso específico (γ) [kN/m ³]	24
Resistência à tração na flexão (módulo de ruptura) [MPa]	5,5
Módulo de elasticidade à compressão (E_{cc}) [GPa]	35
Módulo de elasticidade à tração (E_{ct}) [GPa]	11,7
Coeficiente de Poisson (ν) [adm.]	0,15
Coeficiente de retração final ($\epsilon_{cs,g}$) [adm.]	0,00015
Coeficiente de fluência (ϕ) [adm.]	2,5

3.5 - DADOS RELATIVOS À SUB-BASE

Coeficiente de atrito entre a sub-base e o pavimento (μ) [adm.]	0,6
Coeficiente de recalque da sub-base (K) [MPa/m]	200

3.2 - DADOS DA CARGA

Carga no pneu mais carregado [kN]	450
Pressão de enchimento dos pneus [MPa]	1,3
Peso máximo da aeronave [kN]	3000

3.4 - DADOS DO AÇO DE PROTENSÃO

Diâmetro [mm]	14
Limite de escoamento (f_{pyk}) [MPa]	800
Resistência à tração (f_{ptk}) [MPa]	1050
Módulo de elasticidade (E_p) [GPa]	205
Limite técnico de fluência [MPa]	700
Ondulação inevitável dos cabos [rad/m]	0,00873
Coef. de atrito entre cabo e bainha (f) [adm.]	0,22
Número de cabos na faixa de concretagem	25
Retorno cabo acomodação da anc. (d) [m]	0,002

3.6 - DADOS FÍSICOS DE NATUREZA TÉRMICA

Variação de temperatura ao longo da espessura [°C/cm]	0,5
Coeficiente de dilatação térmica do concreto (α) [°C ⁻¹]	0,00001

► Tabelas de 3.1 a 3.6

Dados iniciais de VASCONCELOS (1979)

3.1 Dados iniciais de VASCONCELOS (1979)

Tabelas de 3.1 a 3.6 – Dados iniciais de VASCONCELOS (1979)

3.2 Resultados de VASCONCELOS (1979)

Tabelas de 3.7 a 3.13 – Resultados de VASCONCELOS (1979)

3.3 Resultados do modelo de cálculo

Tabelas de 3.14 a 3.20 – Resultados do modelo de cálculo

4. PROJETO DE PAVIMENTO PORTUÁRIO

As tabelas 4.1 a 4.13 apresentam a aplicação do modelo de cálculo ao pátio do Tecon de Rio Grande. Após uma visita ao Tecon e consultas em manuais de fabricantes, foi constatado que o veículo com a maior carga por roda é o Stacker SWV 4531 TB6, uma empilhadeira produzida pela empresa Konecranes.

4.1 Dados iniciais

Tabelas de 4.1 a 4.6 – Dados iniciais

4.2 Resultados

Tabelas de 4.7 a 4.13 – Resultados para pavimento portuário

4.3 Estudos paramétricos

Na figura 3 são testadas variáveis de projeto para avaliar a influência de cada uma sobre os momentos de fissuração e de serviço, ou seja, sobre o desempenho do pavimento. Como referência foi escolhida a Situação A, no meio da placa, do projeto de pavimento para o Tecon. Cada gráfico estuda a influência de apenas uma variável, de forma que todas as demais estão de acordo com o dimensionamento apresentado nas tabelas 4.1 a 4.13.

Os métodos mais eficientes para ampliar a capacidade de carga do pavimento são: aumentar a espessura da placa e a taxa de armadura, os quais trazem grandes ganhos. Já aumentar o f_{ck} ou o coeficiente de re-

calque do solo apresenta resultados menos expressivos.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um modelo para dimensionar pavimentos em concreto protendido, sendo que as equações estão de acordo com a última versão da NBR 6118. As planilhas de cálculo apresentadas permitem analisar os resultados de cada etapa com agilidade, servindo como ferramenta de auxílio para o dimensionamento. Além disso, foi realizado um exemplo completo de dimensionamento de pavimento para o Tecon de Rio Grande, demonstrando que o uso da protensão em pavimentos portuários é viável.

O modelo de cálculo e suas planilhas foram verificados por meio do projeto de pavimento para aeroporto apresentado na bibliografia. A verificação demonstrou que o modelo é eficiente, pois apresenta resultados próximos nas diferentes etapas de cálculo.

A perda de protensão devido ao atrito com a sub-base é

3.7 - CÁLCULOS INICIAIS	
Tensão inicial de protensão (σ_{pi}) [MPa]	700
Área de aço de protensão (A_p) [cm ² /m]	5,13
Força inicial de prot. na extremidade [kN/m]	359,30
$n_c = E_{cc}/E_{ct}$	3,0
Ponto de repouso [m]	18,00
Alongamento dos cabos para cada lado (Δl) [m]	0,186

3.8 - PERDAS NO MEIO DA PLACA	
Total de perdas imediatas [kN/m]	37,40
Total de perdas progressivas [kN/m]	28,20
Força de atrito com a sub-base (F_a) [kN/m]	149,00

3.9 - PERDAS NO PONTO DE REPOUSO	
Total de perdas imediatas [kN/m]	11,70
Total de perdas progressivas [kN/m]	29,20
Força de atrito com a sub-base (F_a) [kN/m]	46,70

3.13 - SEGURANÇA À FISSURAÇÃO	
Coefficiente mínimo de seg. contra fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,25
SITUAÇÃO A	
Momento solicitante total [kNm/m]	34,60
Momento de fissuração (M_{fis}) [kNm/m]	42,80
Coefficiente de seg. fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,24

3.10 - MOMENTO DE FISSURAÇÃO				
Seção	Situação	P_{∞} [kN/m]	E_{ia} [kN/m ²]	M_r [kN.m]
Meio da placa	A	293,70	22,4	42,80
	B	144,70	20,6	36,30
Ponto de repouso	A	317,90	22,7	43,90
	B	271,20	22,0	41,90
Raio de rigidez médio (l) [m]				0,48

3.11 - EFEITO DOS VEÍCULOS	
Tensão no interior da placa (σ_{pi}) [MPa]	5,30
Momento no int. da placa (M_{pi}) [kNm/m]	28,60

3.12 - MOMENTO DEVIDO AO GRADIENTE TÉRMICO	
$M_{\Delta T}$ [kNm/m]	6,00

SITUAÇÃO B	
Momento solicitante total [kNm/m]	28,60
Momento de fissuração (M_{fis}) [kNm/m]	36,30
Coefficiente de seg. fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,27

► Tabelas de 3.7 a 3.13
Resultados de VASCONCELOS (1979)

3.14 - CÁLCULOS INICIAIS	
Tensão inicial de protensão (σ_{pi}) [MPa]	703,5
Área de aço de protensão (A_p) [cm ² /m]	5,13
Força inicial de prot. na extremidade [kN/m]	360,99
$n_c = E_{cc}/E_{ct}$	1,0
Ponto de repouso [m]	16,79
Alongamento dos cabos para cada lado (Δl) [m]	0,186

3.15 - PERDAS NO MEIO DA PLACA	
Total de perdas imediatas [kN/m]	45,78
Total de perdas progressivas [kN/m]	34,23
Força de atrito com a sub-base (F_a) [kN/m]	149,04

3.16 - PERDAS NO PONTO DE REPOUSO	
Total de perdas imediatas [kN/m]	16,25
Total de perdas progressivas [kN/m]	36,04
Força de atrito com a sub-base (F_a) [kN/m]	43,53

3.20 - SEGURANÇA À FISSURAÇÃO	
Coefficiente mínimo de seg. contra fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,00
SITUAÇÃO A	
Momento solicitante total [kNm/m]	43,46
Momento de fissuração (M_{fis}) [kNm/m]	38,33
Coefficiente de seg. fissuração (γ_{fis}) [adm]	0,88

3.17 - MOMENTO DE FISSURAÇÃO				
Seção	Situação	P_{∞} [kN/m]	E_{ia} [kN/m ²]	M_r [kN.m]
Meio da placa	A	280,97	42,71	38,33
	B	131,93	38,19	28,98
Ponto de repouso	A	308,69	43,42	40,12
	B	265,17	42,32	37,39
Raio de rigidez médio (l) [m]				0,567

3.18 - EFEITO DOS VEÍCULOS	
Tensão no interior da placa (σ_{pi}) [MPa]	6,36
Momento no int. da placa (M_{pi}) [kNm/m]	34,35

3.19 - MOMENTO DEVIDO AO GRADIENTE TÉRMICO	
$M_{\Delta T}$ [kNm/m]	9,11

SITUAÇÃO B	
Momento solicitante total [kNm/m]	34,35
Momento de fissuração (M_{fis}) [kNm/m]	28,98
Coefficiente de seg. fissuração (γ_{fis}) [adm]	0,84

► Tabelas de 3.14 a 3.20
Resultados do modelo de cálculo



4.1 - DADOS GEOMÉTRICOS

Espessura do pavimento (h) [m]	0,20
Largura da faixa de concretagem [m]	20,00
Comprimento entre juntas [m]	120,00
Número de cabos na faixa de concretagem	96
Diâmetro da bainha [m]	0,030
Cobrimento da armadura em relação a face inferior da placa [m]	0,070
Número de cabos por bainha	2

4.3 - DADOS RELATIVOS AO CONCRETO

Peso específico (γ) [kN/m ³]	25
Resistência característica à compressão (f_{ck}) [MPa]	35
Coefficiente de Poisson (ν) [adm.]	0,20
Coefficiente de retração final ($\epsilon_{cs,00}$) [adm.]	0,00023
Coefficiente de fluência (ϕ) [adm.]	1,7
Tipo de agregado: Digite: 1 para granito ou gnaiss; 1,2 para basalto ou diabásio	1
Tipo de cimento: Digite: 0,38 para CIII ou IV; 0,25 para CPI ou II; 0,20 para CPV-ARI	0,25
Dias entre a concretagem e a protensão (j) [núm.]	1

4.5 - DADOS RELATIVOS À SUB-BASE

Coefficiente de atrito entre a sub-base e o pavimento (μ) [adm.]	0,6
Coefficiente de recalque da sub-base (K) [MPa/m]	160

4.2 - DADOS DA CARGA

Carga uniforme distribuída [kN/m ²]	40
Carga no eixo duplo mais carregado [kN]	1043,00
Distância de centro a centro entre os pneus do eixo duplo [m]	0,57
Carga no eixo simples mais carregado [kN]	958,00
Largura do eixo simples [kN]	2,91
Pressão de enchimento dos pneus [MPa]	1,0

4.4 - DADOS RELATIVOS AO AÇO DE PROTENSÃO

Área da seção de uma barra [mm ²]	100,9
Limite de escoamento (f_{pyk}) [MPa]	1710
Resistência à tração (f_{ptk}) [MPa]	1900
Módulo de elasticidade (E_p) [GPa]	202
Coefficiente de atrito entre cabo e bainha (μ) [adm.]	0,20
Coefficiente de perdas provocadas por curvaturas não intencionais (K) [1/m]	0,0020
Coef. de relaxação do aço (ψ 1000) [%] Seção do meio da placa	1,90
Coef. de relaxação do aço (ψ 1000) [%] Seção do ponto de repouso	2,50

4.6 - DADOS FÍSICOS DE NATUREZA TÉRMICA

Variação de temperatura ao longo da espessura [°C/m]	50
Coef. de dilatação térmica do concreto (α) [°C ⁻¹]	0,00001

► Tabelas de 4.1 a 4.6

Dados iniciais

4.7 - CÁLCULOS INICIAIS

Tensão inicial de protensão (σ_{pi}) [MPa]	1402,20
Área de aço de protensão (A_p) [cm ² /m]	4,84
Força inicial de prot. na extremidade [kN/m]	679,11
$n_c = Ecc/Ect$	1,00
Ponto de repouso [m]	21,42
Alongamento dos cabos para cada lado (Δl) [m]	0,393

4.8 - PERDAS NO MEIO DA PLACA

Total de perdas imediatas [kN/m]	79,91
Total de perdas progressivas [kN/m]	64,49
Força de atrito com a sub-base (F_a) [kN/m]	180,00

4.9 - PERDAS NO PONTO DE REPOUSO

Total de perdas imediatas [kN/m]	31,84
Total de perdas progressivas [kN/m]	76,38
Força de atrito com a sub-base (F_a) [kN/m]	64,25

4.13 - SEGURANÇA À FISSURAÇÃO

Coefficiente mínimo de seg. contra fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,00
SITUAÇÃO A	
Momento solicitante total [kNm/m]	48,21
Momento de fissuração (M_{fis}) [kNm/m]	48,54
Coefficiente de seg. fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,01

4.10 - MOMENTO DE FISSURAÇÃO

Seção	Situação	P_{∞} [kN/m]	E_{ia} [kN/m ²]	M_r [kN.m]
Meio da placa	A	534,71	35,28	48,54
	B	354,71	34,03	39,96
Ponto de repouso	A	570,89	35,50	50,31
	B	506,64	35,12	47,24
Raio de rigidez médio (l) [m]				0,624

4.11 - EFEITO DOS VEÍCULOS

Tensão no interior da placa (σ_{pi}) [MPa]	5,39
Momento no int. da placa (M_{pi}) [kNm/m]	35,96

4.12 - MOMENTO DEVIDO AO GRADIENTE TÉRMICO

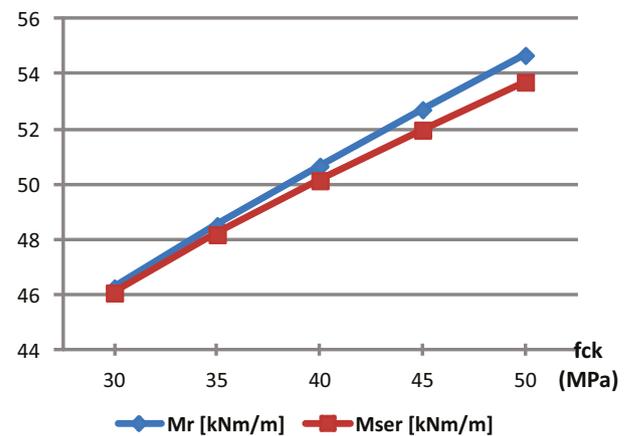
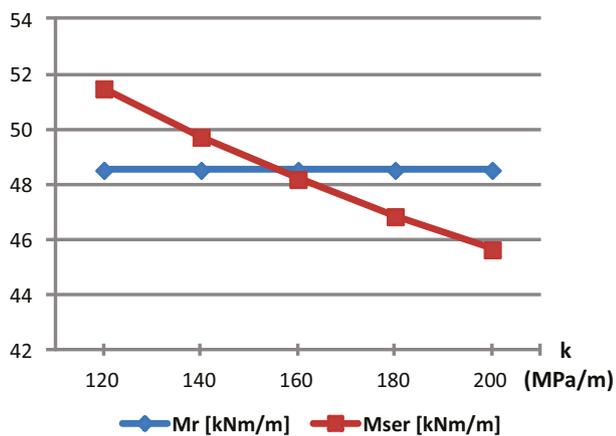
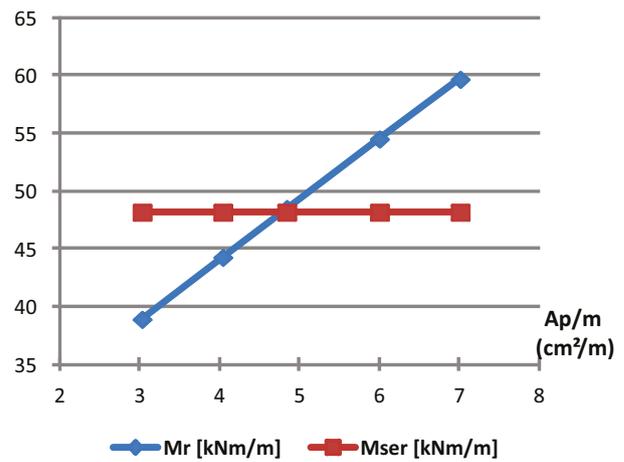
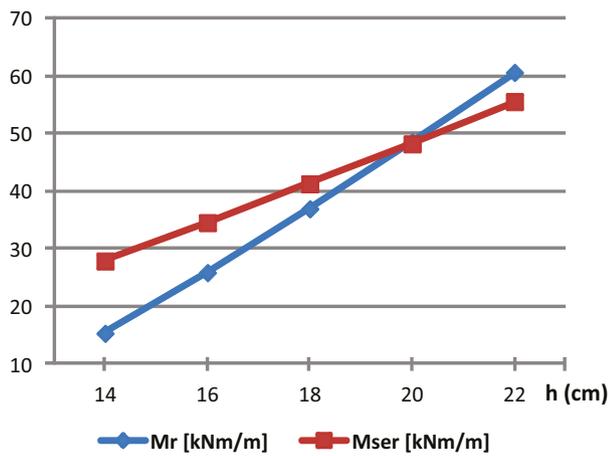
$M_{\Delta T}$ [kNm/m]	12,25
------------------------	-------

SITUAÇÃO B

Momento solicitante total [kNm/m]	35,96
Momento de fissuração (M_{fis}) [kNm/m]	39,96
Coefficiente de seg. fissuração (γ_{fis}) [adm]	1,11

► Tabelas de 4.7 a 4.13

Resultados para pavimento portuário



► **Figura 3**
Influência de variáveis de projeto nos momentos de fissuração e de serviço

função do peso próprio do pavimento e do coeficiente de atrito, de modo que a força de protensão não interfere nessa perda. Portanto, quanto menor for a força de protensão adotada, maior será a perda percentual devido ao atrito com a sub-base.

Os métodos mais eficientes para ampliar a capacidade de carga do pavimento são: aumentar a espessura da placa e a taxa de armadura,

os quais trazem grandes ganhos. Já aumentar o f_{ck} ou o coeficiente de recalque do solo apresenta resultados menos expressivos.

O pavimento atual do Tecon de Rio Grande é formado por blocos intertravados de concreto de alta resistência, com uma sub-base de concreto compactado a rolo (CCR), a qual possui espessura de quarenta centímetros. Dessa forma, é provável que

a proposta deste artigo de um pavimento protendido na espessura de vinte centímetros e sub-base de CCR de dez centímetros seja competitiva financeiramente. Além de trazer vantagens, como controle da fissuração e fechamento das juntas de construção, o que evita a percolação de água e perda de partículas finas da sub-base e do subleito, aumentando a vida útil do pavimento. ◀

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento: NBR-6118 (versão corrigida). Rio de Janeiro, 2014.
- [02] RODRIGUES, P. P. F. Pavimentos industriais de concreto armado: projeto e critérios executivos. São Paulo, IBTS, 2006.
- [03] SANTOS, M. B.. Utilização de concreto protendido em pavimentos portuários. Rio Grande, FURG, 2015. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande – RS, 2015.
- [04] SCHMID, M. T.. Pavimentos rígidos em concreto protendido. 2.ed. Curitiba, Rudloff, 2005.
- [05] UNITED FACILITIES CRITERIA. UFC 4-152-01 with Change 1, Design: Piers and Wharves. Washington D.C., 2012.
- [06] VASCONCELOS, A. C.. Documentário sobre pavimentos de concreto protendido para aeroportos e rodovias. São Paulo, IBRACON, 1979.



Low-noise concrete pavements: the European practice

LUC RENS – CONSULTING ENGINEER | MANAGING DIRECTOR

FEBELCEM - EUPAVE

I. INTRODUCTION

Controlling traffic noise has become an increasingly important priority in recent decades. The European Union addressed the general issue of environmental noise in a 2002 European directive known as the “Environmental Noise Directive (END)”. The member states were asked to draw up noise maps and to take steps to prevent and mitigate the harmful effects of the noise, with particular focus on busy roads and railways, in densely populated areas, and in proximity to sensitive sites such as hospitals and schools. Steps have already been taken in various countries including the installation of noise barriers along highways.

However, when it comes to traffic noise, it is more efficient to address the problem at its source by using quieter pavement. That is why the development of alternative types of pavement and surface finishing currently remains highly relevant. The goal is the reduction of the tyre-pavement noise generated by the interaction between tyres and the road surface, which is the primary cause of traffic noise. At the same time, it is also important that other essential characteristics of the road structure and the surface are preserved, for example, the smoothness and skid resistance of the road surface, but also its durability. Finally, it is important for a quiet pavement to remain intact for as long as possible.

Durably quieter, in other words, is the goal.

This paper will show that concrete pavements are not as noisy they are often perceived; it will provide examples of techniques to ensure low-noise concrete pavements and will look at case studies and real data showing concrete’s performance.

2. GENERAL INFORMATION ON TRAFFIC NOISE

2.1 About sound and traffic noise

Traffic noise encompasses sound from various types of sources, which are usually divided into the following categories:

- propulsion: motor, exhaust and other components of the vehicle’s drive mechanism;
- interaction tyre-road surface: known as tyre-pavement noise;
- aerodynamic sound: caused by the wind turbulence around the vehicle.

The type of vehicle and its speed play an important role. For passenger cars, the tyre-pavement noise will outweigh the propulsion sound once a speed has been reached of around 30 km/h. For trucks, this

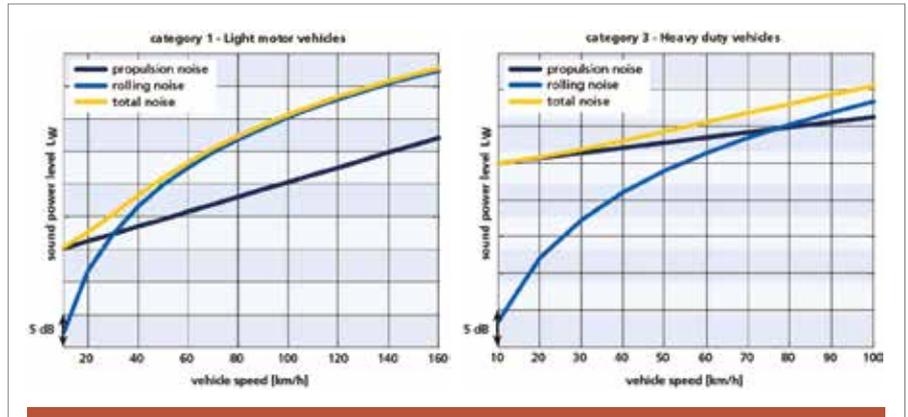


► **Figure 1**

Examples of noise barriers along highways

level is only reached from approximately 75 km/h due to the greater contribution of propulsion noise. Aerodynamic sound only becomes significant at very high speeds (above 120 km/h). For electric cars, the propulsion sound is almost totally eliminated and the tyre noise will be dominant, also at low speeds.

The graphs in Figure 2 present the total A-weighted level of both the rolling noise and propulsion noise components, as well as the total sound power, as a function of vehicle speed. The curves show the linear relation for propulsion noise and the logarithmic relation for rolling noise. In addition, these relationships have been established for constant speed on a non-sloped surface. In practice this means that in urban areas with mixed traffic and a lot of accelerating/decelerating manoeuvres, the influence of the pavement surface and thus the rolling noise becomes less relevant. Other measures in the field of traffic management such as speed limits and traffic flow control become of higher relevance in those cases.



► **Figure 2**
Propulsion noise, rolling noise and total noise as a function of vehicle speed for light and heavy duty vehicles ((VAN BLOKLAND et al. (2009))

2.2 Interaction tyre-pavement

Of course, both the type of tyre and the pavement play a role in their mutual interaction. It should be borne in mind that both elements are not only designed with a low tyre-pavement noise in mind, but first and foremost, for good traffic safety and a favourable price/lifespan ratio. Various mechanisms are involved in the creation of the tyre-pavement noise generated by the interaction of the tyres of a vehicle with the pavement (hammer effect, air pumping, 'stick-slip' - and 'stick-snap'). More-

over, the sound is further increased by the 'horn effect', vibrations and resonance.

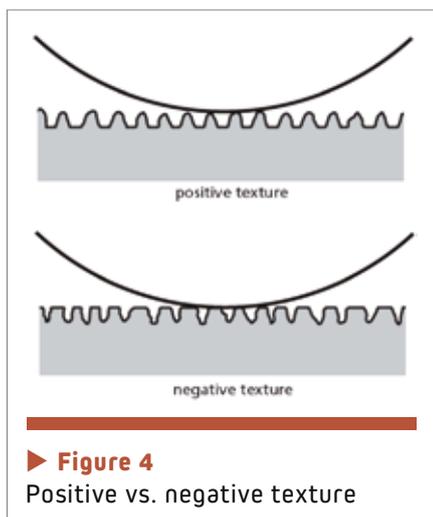
2.3 How is traffic noise measured?

In Europe, the Statistical Pass By Method or the Close Proximity Method are generally used.

With the Statistical Pass By Method (SPB, ISO 11819-1), the traffic noise is measured from the side of the road for a large quantity of passing vehicles, whereby a distinction can be made between



► **Figure 3**
Noise measurement with from left to right: SPB – CPX – OBSI (HAIDER (2010); AWV, Belgium; RASMUSSEN (2008)).)



► **Figure 4**
Positive vs. negative texture

passenger cars and trucks.

With the Close Proximity Method (CPX, ISO/CD 11819-2) it is chiefly the tyre-pavement noise that is measured by attaching a microphone close to the test tyre. These tyres are usually mounted on an acoustically insulated trailer. The type of test tyre that is used will obviously play an important role in determining the results.

In the United States, the On Board Sound Intensity (OBSI) method is often used (Ref. 5), which is somewhat comparable to the CPX. Instead of sound pressure, however, sound intensity is measured by using two microphones which are bet-

ter able to isolate the tyre-pavement noise for separate measurement.

Since CPX and OBSI measurements take place very close to the tyre, they will result in high values of noise levels. Obviously, those are not the noise levels to which humans are being exposed in real life. This should be kept in mind when reading the case studies, further on in this paper.

3. BASIC RULES FOR A QUIET PAVEMENT

The following factors have an influence on the tyre-pavement noise:

- good smoothness of the road with the absence of bumps or irregularities in the surface (which is also called “megatexture”);
- a homogenous but non-systematic distribution of small aggregates, up to 10mm on the surface (which is considered as “macrotexture”). The air is able to escape between the gaps in the aggregate. Important note: a perfectly flat surface is not low-noise;
- it is better to have a negative texture than a positive one (see Figure 4);

- porosity: a maximum content of empty space (up to 20% or more), which enables sound to be absorbed, insofar as the pores remain open at the surface;
- limited stiffness of the surface layer.

In optimising a quiet pavement surface, if possible, various factors should be taken into account at once. Moreover, no concessions should be made in the durability of the pavement. In addition, a solution with long-term noise performance should be preferred to surfaces deteriorating after few years.

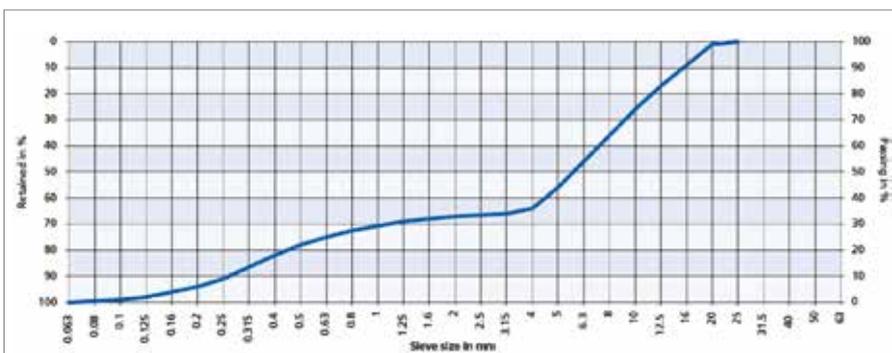
Similar to wearing surfaces of porous asphalt, it is possible to build surfaces of porous (or very open) concrete. By leaving out the sand component in the composition, accessible gaps are created between the coarse aggregates. In order to achieve better adhesion between the stones, polymers may be added. Very open concrete is comparable to very open asphalt: there is great potential for noise reduction and water-spray is eliminated. However, there are also downsides: there is a risk of clogging and the surface is



► **Figure 5**
Coarse concrete 0/40 or 0/32, left, based on porphyry aggregates, and right, based on crushed gravel



► **Figure 6**
Two slipform pavers laying a double-layered jointed plain concrete pavement on the A1, near Vienna



► **Figure 7**
Grading curve of a concrete mix with a Dmax of 20 mm and a higher dose of small aggregates (4 to 8mm) for a low-noise single layered exposed-aggregate concrete pavement

prone to ravelling (aggregates coming loose from the surface).

4. LOW-NOISE EXPOSED AGGREGATE CONCRETE

The technique of aggregate exposure is today the most frequently used surface finishing method on concrete motorways in Europe. It offers a comfortable surface combining a good skid resistance with a low rolling noise.

In the late 1970s, in Belgium, surface finishing by chemically exposed aggregate concrete was introduced. The aim was above all to achieve skid resistance, but tyre-pavement interaction noise was not yet a criterion. The concrete composition consisted of large aggregates (32 to 40 mm) which were exposed on the surface. These were highly noisy pavements and are no longer applied today.

In Austria, the fine exposed aggregate concrete was optimised as the surface layer of a double-layer jointed concrete pavement. The bottom layer (15 to 20 cm thick) may contain larger stones up to 31.5 mm, while for the top layer, (5cm thick)

only durable polish-resistant stones with a maximum aggregate size of 6 to 11 mm are used. Since the top layer mixture consists exclusively of small aggregates, these will emerge densely distributed on the surface after compaction of the concrete and washing out of the surface.

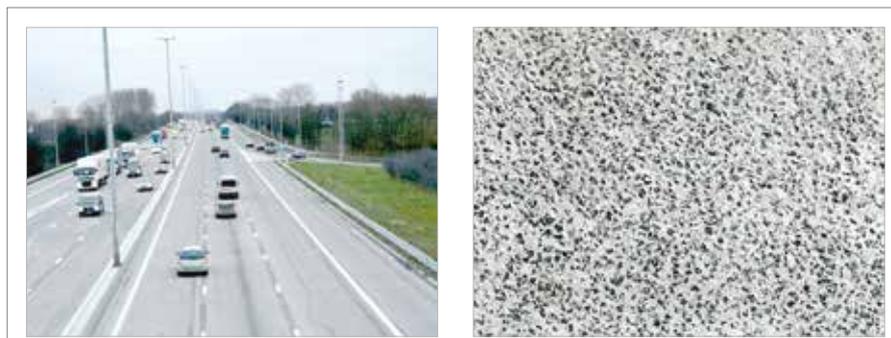
The first applications on Austrian highways date back to 1990. Since then, a significant part of the highway network has been constructed in this way.

In Germany, for many years, the concrete road surfaces were finished with a dragged burlap cloth. This

produces a very shallow texture that is effective in terms of tyre-pavement noise but can lead to problems concerning skid resistance. That is why, for the past few years, the technique of double-layer exposed-aggregate concrete has been applied.

In Belgium, a first step in improving the exposed aggregate concrete was the reduction of the maximum aggregate size from 31.5 to 20 mm. Moreover, the proportion of fine aggregate, measuring from 4 to 6.3mm (or 8mm), was increased to a minimum of 20% (or 25%) of the mixture of sand and gravel. In this way, the larger stones sink and the smaller ones rise during the vibration of the concrete. After exposing the aggregates by brushing, the smaller aggregate will lie on the surface and form the proper macro texture for a quiet concrete pavement. The same technique can also be applied for a maximum aggregate size of 14 mm.

By further optimising the composition (high content of fine aggregate) and a better application technique (modern slipform pavers), it has been possible to further reduce the tyre-pavement noise of a



► **Figure 8**
E17 De Pinte – Kruishoutem: single-layer exposed-aggregate concrete 0/20
Noise levels measured with CPX at 80 km/h: 98.5 dB(A) for a truck tyre and 99.1 dB(A) for a passenger car tyre

single-layer solution to approximately 99 dB(A), which brings it into a comparable category as a stone mastic asphalt with aggregates of 10 mm

(SMA-C). The average noise level for SMA-C, calculated from a total of 70 measurements, both newer and older pavements, was 99.6 dB(A).

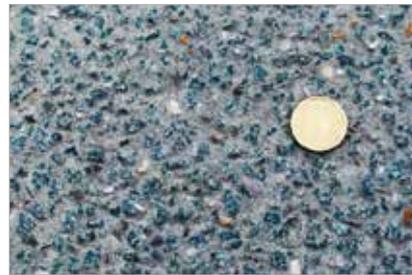
The double-layer process, similar to the Austrian technique but applied for continuously reinforced concrete pavement (CRCP), has also been used in Belgium. Noise measurements show that the noise level drops another 0.5-1 dB(A).

In 2011, the Flemish Agency for Roads and Traffic acquired a CPX-trailer aiming for a systematic execution of noise measurements on motorways and regional roads. In Wallonia measurements were also done on newly built road sections. The diagram in Figure 10 gives an overview of the results of a series of measurements on concrete roads (CPX with SRTT-tyre for light vehicles at 80 km/h in dB(A); measurements done in 2011-2012, in 2013 for N19g).

The red bars represent transversely grooved surfaces, the blue are single layered and the green double-layered exposed-aggregate concrete surfaces.

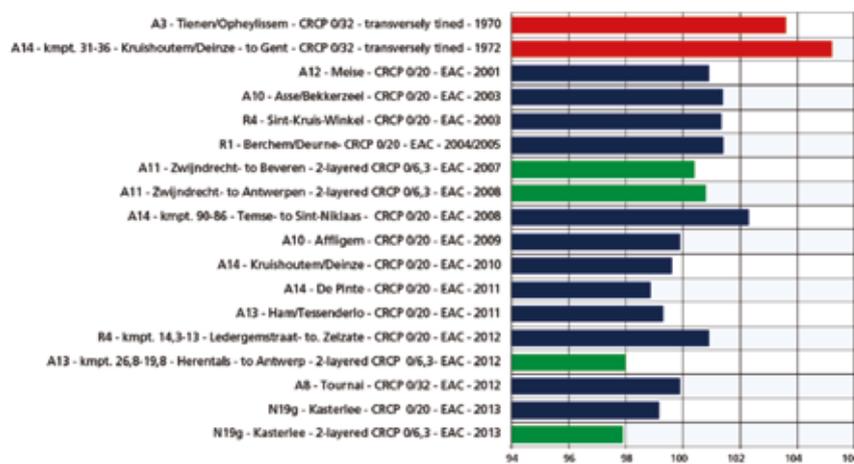
These measurements show that low-noise concrete surfaces are perfectly possible, both in a single and a double layer concept. The noise performance of the surface of a double-layered CRCP is equivalent to that of a stone mastic asphalt wearing course. For a SMA with aggregates of 10 mm, the average noise level for newly built pavements (maximum 2 years old - CPX with SRTT-tyre for light vehicles at 80 km/h in dB(A)) amounts to 98.7.

It should be noted that for the different types of exposed aggregate concrete surfaces, the skid resistance requirements were easily met, both for the new and the older ones ((BRIESSINCK & RENS (2009)).



► **Figure 9**

E313 Herentals-Grobbendonk: double-layer exposed-aggregate concrete with top layer 0/6.3
Noise levels measured with CPX act 80 km/h: 98.5 dB(A) for a truck tyre and 98.5 dB(A) for a passenger car tyre



► **Figure 10**

Results of noise measurements on Belgian motorways



► **Figure 11**

Longitudinal tining of fresh concrete in Illinois, U.S.

5. OTHER LOW-NOISE SURFACE FINISHING TECHNIQUES

5.1 Longitudinal tining

In the U.S.A., other finishing techniques are used as well. In many states, fine longitudinal grooves are applied to the fresh concrete with a comb. This also produces good results in terms of noise and skid resistance, as long as the process is carefully applied. This technique is not being used in Europe.

5.2 Micro-milling

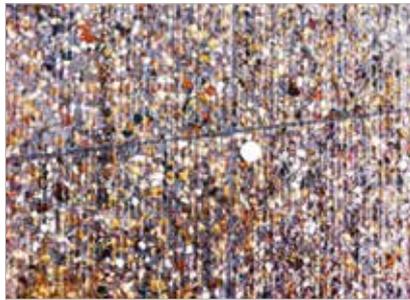
Micro-milling (or fine milling) is a surface restoration technique using conventional cold mills of which the cutting teeth are more closely spaced on the milling drum.

Although it is mostly used on secondary roads, micro-milling can be an alternative on motorways as well. This was the case in Leon (Spain). Acoustic characteristics have not been measured but based on earlier trial sections in Belgium, the rolling noise level is about 1dB higher compared to a diamond ground surface.

5.3 Diamond grinding

The technique of longitudinal tining of the hardened concrete, known as “diamond grinding” is also often used. This technique has already been used frequently in several countries for the restoration of existing concrete surfaces. This can result in tyre-pavement noise levels that are even lower than for exposed aggregate concrete.

In 2009 a trial section in CRCP was built in Germany, the “Geseko access road” pilot project, in order to inves-



► **Figure 12**
Detail of the micro-milled surface and view of the motorway in Leon, Spain (IECA)



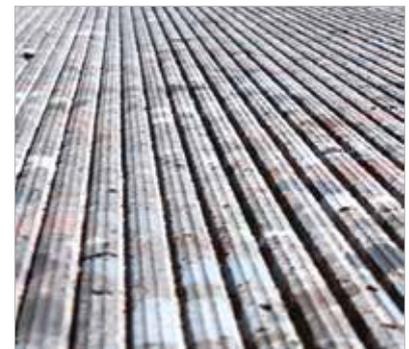
► **Figure 13**
Detail view of the diamond ground surface and texture of the “Geseko access road” in Germany (S. Riffel (2014))

tigate the different surface characteristics of the diamond ground texture (Ref. 12). The surface was finished with a longitudinally aligned ground texture whereby two different groove spacing distances (blade spacing 2 mm and 3 mm / blade width 3,2 mm / grinding depth 3mm) were implemented. Measurements with the CPX-trailer revealed excellent results : as low as 94,9 dB(A) for the 2mm texture. Repeated measurements in 2013 showed virtually unchanged noise levels (95,2 dB(A)), confirming the high durability of the ground texture.

5.4 Next Generation Concrete Surface (NGCS)

In the U.S., the International

Grooving and Grinding Association (IGGA) has developed a smoother and even quieter surface, so-called “Next Generation Concrete Surface” (NGCS). A thin layer of concrete surface is removed through the



► **Figure 14**
“NGCS” (International Grooving and Grinding Association)



► **Figure 15**
Porous surface of Modieslab

grinding process and longitudinal grooves are installed. It is described as the quietest non-porous concrete surface. In Europe there are also plans for trial sections in order to be able to assess the performance of this technique on an existing concrete surface.

5.5 The porous surface of “Modieslab”

“Modieslab” is a modular pavement system, developed in the Netherlands as a part of the Dutch “Roads to the Future” programme. It consists of precast concrete slabs with a base layer in conventional concrete

and a surface in double-layered porous concrete. This structure results in extremely low noise levels: 6 dB(A) less than the Dutch reference surface (densely graded asphalt). In addition, the durability of the noise characteristics is very good : only 0.6 dB(A) decrease in noise reduction after 5 years, which is much better than other comparable surfaces.

In 2007, Dr. Robert O. Rasmussen from the Transtec Group (Texas, U.S.) was the leader of a research team that did measurements all over Europe and the United States. His conclusion was clear: “As can be seen, the OBSI level for the porous concrete surface on the Modieslab is very low – just over 96 dB (A). This makes it the lowest level of all of the concrete pavement surfaces measured so far by the CP Tech Center team”.

6. CONCLUSIONS

In the past there was hardly any attention paid to noise and traffic noise in particular. Today it has become an important criterion in the

design and construction of transport infrastructure.

Modern road surfaces in jointed or continuously reinforced concrete with a fine-grained exposed-aggregate surface are competitive in terms of rolling noise with the dense asphalt surfaces. The durability of the noise level is an extra advantage of concrete pavements.

In urban areas with mixed traffic (passenger cars, buses, vans etc.) driving at variable speed, the contribution of the rolling noise becomes secondary. Traffic management measures may be a better solution to reduce the environmental noise.

Finally one should keep in mind that noise is not the only design criterion for road pavements. Its relevance should be defined depending on context and environmental conditions. Road safety and the closely linked characteristic of skid resistance remain a priority. In order to make the right choice of pavement, a global evaluation is needed taking into account the durability, the life cycle cost and the surface characteristics. 📍

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] M. Briessinck (AWW), L. Rens (FEBELCEM). Oppervlakkenmerken van hedendaagse betonverhardingen (Surface characteristics of today's concrete pavements). Paper at the Belgian Road Congress, Gent, Belgium, September 2009.
- [02] C. Caestecker (AWW, Belgium). Test sections of noiseless cement concrete pavements. Conclusions, Vilvoorde, Belgium, 1999.
- [03] M. Haider (Austrian Institute of Technology, Vienna, Austria). Investigation and classification of low-noise concrete roads. Paper at the 11th International Symposium on Concrete Roads, Seville, 13-15 October 2010.
- [04] R.O. Rasmussen, R.J. Bernhard, U. Sandberg, E.P. Mun. The little book of quieter pavements. The Transtec Group, Report n° FHWA-IF-08-004, July 2007.
- [05] R.O. Rasmussen (The Transtec Group, U.S.), T.R. Ferragut (TDC Partners), P.D. Wiegand (National Concrete Pavement Technology Center). Comparative measurements of tire/pavement noise in Europe and the United States : NITE II. Paper at the 37th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Shanghai, China, October 2008.
- [06] S. Riffel (Heidelberg Cement AG, Leimen, Germany). CRCP with ground texture – Experiences and results of the „Geseke access road“ pilot project. Paper at the 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, 23-26 September 2014.
- [07] L. Scofield (ACPA). Development and implementation of the Next Generation Concrete Surface. Final Report, March 2011.
- [08] G. van Blokland, B. Peeters (M+P Consulting engineers, The Netherlands). Modelling the noise emission of road vehicles and results of recent experiments. Paper at the Inter-Noise 2009 Conference, Ottawa, Canada, 23-26 August 2009.
- [09] P.E. van Hinthem (Breijn bv.), N. v Deurzen (BetonSon bv.). Denken in modulair bouwen (Thinking in modular construction). Paper at the CROW Infradays, The Netherlands, 2012.

Pervious concrete pavements: materials, drainage characteristics and structural issues

MATTHEW OFFENBERG

W. R. GRACE

I. INTRODUCTION

With the convergence of sustainable construction, increasing stormwater regulation, and developing technology, pervious concrete is experiencing significant growth as a pavement material in the United States (US). Now, since the development of new test methods specifically for pervious concrete, we can better characterize the performance of the finished product through several criteria. This paper will examine how those test methods can help a concrete producer select the optimal raw materials. Additionally, drainage properties will be discussed with respect to construction technique and maintenance. Structural issues will further be examined with a focus on testing. Rather than presenting new research, this paper will review the literature and discuss the state of the technology and industry.

I.I History of pervious concrete in North America

While there is evidence of pervious concrete construction in the United

Kingdom in 1852 [ACI 522R-10 - Report on Pervious Concrete], it wasn't used in North America until the following century (Figure 1). The oldest known pervious concrete in North America dates back to about 1928 [SEEGBRECHT, G. Reinforcing Steel in Pervious Concrete. Concrete International. Farmington Hills, MI, USA, 2015] at the Rosehill Cemetery in Chicago, Illinois where it was used in decorative walls around the property. Interestingly, much of this pervious concrete that is still standing contains reinforcing steel. Later, as documented in Engineering News Record in 1939 [ENGINEERING NEWS RECORD (ENR). A Low-Cost Concrete Building], pervious concrete was again used in structural wall construction, but this application was for a building that was to serve as a plumbing and electric shop in Washington State. Pervious concrete was selected to reduce the risk of fire, as opposed to a wood-framed building, and reduced formwork requirements.

No longer used for vertical construction or structural applications, pervious concrete is used for flatwork

today in North America. Since the 1970's it has been used for pavement applications. In 1975, a patent was issued for this application in the United States [MEDICO, J. Porous Pavement. United States Patent 3870422 A. USPTO. Washington, DC, USA. Mar 11, 1975]. This has been extended to include sidewalks, parking lots, and nature trails in current applications.

The construction methods for pervious concrete are somewhat different from those employed in the construction of ordinary concrete flatwork [OFFENBERG, M.. Producing Pervious Pavements. Concrete International. Farmington Hills, MI, USA. March 2005, Vol. 27, No. 3. pp 50-54. 2005]. With this material, it must be compacted after placement to improve the ultimate strength and raveling resistance; however, too much compaction will tighten the voids thus slowing the flow of stormwater through the section. Critical to achieving success in pervious concrete, then, is optimizing the density – that is finding a balance between strength and permeability. As compaction increases, the strength of the pavement increases

and the permeability decreases [FCPA 1990 – Pervious Pavement Manual]. While there are a number of means and methods for achieving compaction, the art of the contractor is to use his specific equipment to work with the concrete to achieve an optimal density.

1.2 Growth of pervious concrete

In the US, pervious concrete has seen significant growth since 2001, both in the marketplace and in the research community. Historically, there are a few key milestones that have each contributed to the interest in this technology. The introduction of the ACI, NRMCA, and ASTM committees each had a significant impact on the adoption of pervious concrete.

First, in 2001, the American Concrete Institute (ACI) launched committee 522 on pervious concrete. This group was tasked with collecting and documenting the world's knowledge on the topic, and eventually developing guide specifications for pavement applications [ACI 2013]. The industry celebrated the release of the first guide for pervious concrete in 2006, but more important, this group brought together all of the minds working on pervious concrete in North America. So, the contractors and concrete producers could network with the engineers and researchers. This brought about an explosion of research and knowledge on the topic.

Then, in 2004, the National Ready Mix Concrete Association (NRMCA) launched a program to begin certifying individual contractors in the art of pervious concrete. The certification program used the knowledge gathered by the ACI committee to develop a book to teach contractors about plac-

ing pervious concrete [NRMCA 2007 - Text Reference for Pervious Concrete Contractor Certification, Publication 2ppcrt], and developed presentations and hands-on demonstrations to accompany a classroom session. With three levels of certification, the program accommodates contractors of all experience levels to prepare or enhance their skills for the jobsite. As of this writing, over 10,000 individuals have been trained through this program, globally.

In 2007, ASTM created a subcommittee under its Concrete and Aggregates committee, designated as C09.49. This group was to standardize test procedures for pervious concrete. Task groups were formed to work on testing: fresh density, hardened density, surface permeability, flexural strength, compressive strength, and raveling resistance. Since its inception, C09.49 has released four standard test methods, and updated versions totaling nine documents.

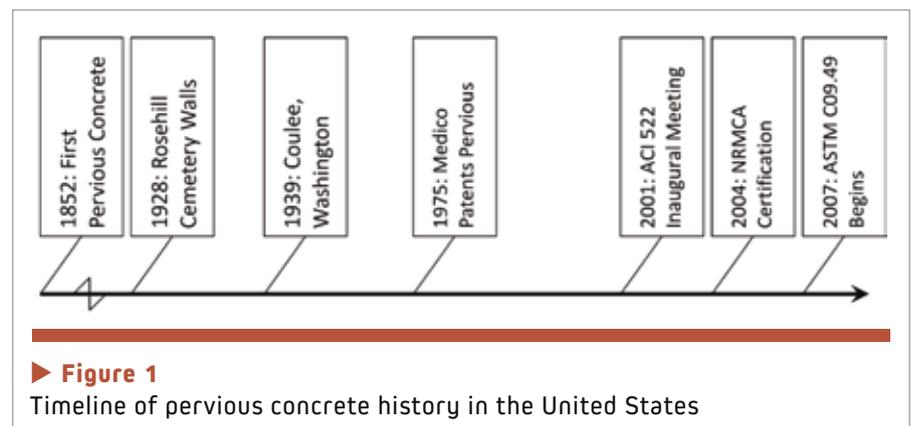
With ACI giving information to specifiers so they could design pervious concrete pavements correctly; the NRMCA certifying contractors to help them build high-quality pervious concrete pavements; and ASTM showing the world how to ensure the pervious pavement was built to specification, the industry was well positioned for growth.

2. STANDARDIZED TEST METHODS FOR PERVIOUS CONCRETE

With ASTM subcommittee C09.49 developing standardized test methods for pervious concrete, the goal was to ensure that stormwater and zoning regulators, property owners and specifiers had a way to verify that constructed pavements would perform as designed. Research shows that one key indicator of quality is concrete density [FCPA 1990, Offenberg 2011]. The first priority, then, was to document tests for fresh and hardened density.

The earliest specifications for pervious concrete included testing the fresh density as an indicator of concrete quality. If the concrete was batched and mixed consistently load-to-load, then the density of the fresh concrete should be similar. These early documents required jiggling the concrete as a means of consolidation.

ASTM's C09.49 task group, led by Michael Davy, evaluated six different methods for compaction of a fresh concrete sample in a cylindrical container with a capacity of 7.0 +/- 0.6 L [0.25 +/- 0.02 ft³]. These included: No compaction, rodding as described by ASTM C 138, jiggling as described by ASTM C 29, 20 drops of the Proctor Hammer, and five and ten drops of the Marshall





► **Figure 2**
Pervious concrete pavement

Hammer. Today, the specification, C 1688, allows for either the use of the Proctor Hammer or the Marshall Hammer due to the low variability in results.

A method for hardened density measurement was described by Montes [2005]. Another task group working under ASTM C09.49, led by Walter Flood IV, refined this technique and formalized it as ASTM C 1754. This test uses cores extracted from the pervious concrete surface. Cores are weighed submerged and after oven drying to determine the density. Two drying temperatures are allowed, depending on how quickly the results are needed. However, the density generated from the higher drying temperature may not be compared to the density generated from the lower drying temperature, and vice versa. The results are used as a quality check on the contractor to prove that the concrete placed is of sufficient density to maintain durability through the design life.

Obviously, one of the key attributes of a pervious pavement system is how

quickly water passes through. Researchers have described methods for measuring the permeability (also referred to as hydraulic conductivity or infiltration rate) of pervious concrete, both for cylindrical specimens [Neithalath 2003] and full pavement systems, including all layers from the surface to the subgrade [Chopra 2011]. From a practical perspective, the ASTM subcommittee was interested in a test that could measure surface infiltration over the life of the pavement to determine when maintenance might be necessary. Based on a procedure described by Montes [2006], Heather Brown's task group optimized this to work with low-cost, easily obtainable materials in ASTM C 1701.

The balance to permeability of a pervious concrete pavement is strength. While with plain concrete, we are usually interested in flexural strength for pavement design, the critical failure mode of these pervious pavement systems is raveling – a failure where the aggregate breaks loose at the surface

from the tire/pavement interaction. The ASTM subcommittee fine-tuned a laboratory-based procedure described by Offenberg [2011] to measure the raveling resistance potential of a pervious concrete mixture. Today, the subcommittee has a task group to standardize a procedure for measurement of raveling resistance of hardened pavements.

With raveling being so critical, there is little need to measure the strength of the concrete in the pavement. Results to do so, either for compressive or flexural strength, have failed to produce repeatable, reliable test methods. However, the subcommittee sees a time in the future when raveling is well understood and strength will become a necessary design element of heavier pavements. To this end, the subcommittee is working on a test method to measure flexural strength of pervious concrete.

Now that the existing and developing test methods for pervious concrete have been described, we can examine how they impact pavements in practice.

3. RAW MATERIAL SELECTION

The challenge for any concrete producer is selecting the best raw materials and combinations to produce a high-quality pervious concrete pavement. In the early days of pervious concrete (before 2011), producers had no guidance on which raw materials helped make good hardened concrete. They could put up lab batches, and lay down test panels, but they really had no easy system for identifying which of their locally available raw materials might make the best finished pavement. With the introduction of ASTM C 1747 in 2011, concrete producers were given a laboratory test to compare raw materials and combinations.

C 1747 is commonly referred to as the ‘raveling potential test’. In brief, a set of three cylinders, 100 mm tall by 100 mm diameter (4” tall by 4” diameter) is cast to the design density of the concrete mixture. To achieve this, the material is weighed into the empty cylinder mold to match the design density, then it is compacted by dropping and with a Marshall hammer using however many blows it takes to compact the mass down to the 100 mm (4”) height. The cylinders are cured in the covered mold for seven days. After the curing period, the cylinders are weighed, and then all three cylinders are put together into a Los Angeles machine for 500 revolutions. After tumbling, any parts larger than 25 mm (1”) diameter are weighed. The mass loss is calculated as the initial weight less the final weight, divided by the initial weight.

With ASTM C 1747 test, two key results are obtained: mass loss and number of blows of the Marshall hammer. Lower mass loss is an indicator of better raveling resistance. Considering the blow count of the Marshall hammer, lower numbers indicate more workable mixtures.

Mass loss is best used to compare raw materials during the mixture proportioning phase of a project. One would use this test to see which raw material might perform best before going to production. Key to comparing raw materials is keeping mixture proportions volumetrically identical; therefore, void volume and paste volume must be kept constant. For example, a producer might have three supplementary cementitious materials from which to choose. If in testing similar mixtures by C 1747, mix A had 35% mass loss, mix B had 23% mass loss, and mix C had 29% mass loss, then the producer

would be wise to choose mix B based on raveling potential. While there still isn’t guidance on what is an appropriate maximum upper limit for mass loss, the range of results seen is roughly 20% to 100% [ASTM 2010]. The average result from the ASTM round robin, for mixtures with 20% voids was about 39%.

An example of this is seen in Offenbergl [2011a]. The concrete producer had four coarse aggregates available for production. Concrete batches were made in the laboratory with a single source of coarse aggregate used in each batch, four batches in total. The volume of coarse aggregate and cement was held constant for each batch, as were the water to cementitious materials ratio, admixture dosage, and void content. Comparing the average mass loss between two duplicate batches allowed the producer to select the best available coarse aggregate for additional testing (Table 1).

There are many variables that could be evaluated through this testing beyond simply coarse aggregate or SCM selection. It could also be used to evaluate admixtures or admixture combinations, sensitivity to void content, aggregate blends, and impacts of fiber.

Similarly, the fresh properties of various mixtures can be evaluated through

blow counts for compaction. One would expect concrete with low blow counts to discharge from a mixer truck with greater ease, and to compact in the field with fewer passes – both important metrics for contractors as they impact productivity of the crew. Similar to mass loss, however, there isn’t yet guidance on specification limits for Marshall hammer blows either for mixture qualification or for quality control on the jobsite. In the future, as the industry gathers data on this metric and how it impacts project success, specification limits will follow.

4. DRAINAGE PROPERTIES

Pervious pavement systems are designed to move stormwater from the surface to the subgrade layers and drainage structures. When describing the drainage properties of the pavement, it is important to separate the drainage properties of the concrete layer from the drainage properties of the system which includes the surface, subbase, and subgrade. Typically, the total system will drain stormwater at a slower rate than the pervious concrete layer.

While the permeability of the concrete layer impacts the permeability of the total system (especially if the

► Table 1 – Results of C 1747 raveling potential testing (Offenberg 2011a)

Aggregate	Initial	Final	Mass loss	Average mass loss
Texas 57	5021.0	2338.9	53.4%	–
	5021.2	1564.8	68.8%	61.1%
Texas 7	5021.3	3092.5	38.4%	–
	5020.9	3105.6	38.1%	38.3%
Medford 8	4810.1	3041.6	36.8%	–
	4810.4	3020.4	37.2%	37.0%
York PG	4727.0	2193.8	53.6%	–
	4729.1	2050.0	56.7%	55.1%

surface was sealed in construction), the permeability of the subgrade usually has the largest impact on the drainage rate of the system. For the engineer or the regulator, it is important to know the drainage rate of the pervious concrete system to know that it is functioning as designed. For the concrete contractor, it is important to know the infiltration rate of stormwater at the pavement surface, immediately after curing, to know that the pavement was installed correctly.

When considering just the concrete layer in the system, the rate of surface infiltration will be impacted by the gradation of the coarse aggregate, the maximum aggregate size, the design density of the pavement, the relative density achieved during construction, the vertical porosity distribution [Haselbach 2006], and the amount of clogging by foreign material. Of these, the first three factors are impacted by raw material selection by the concrete producer. Whereas, we have C 1747 to test the raveling po-

tential of a pervious concrete mixture prior to construction, we don't have an equivalent, standardized, laboratory test to quantify the drainage potential at the same point in the project.

ASTM C 1701 was designed to measure the drainage rate (permeability) of the concrete layer. However, even this has limitations. If the system is saturated, stormwater can back up into the pervious concrete layer. When testing, this mound of stormwater can produce artificially low drainage rates through the pavement. This is why C 1701 includes the text, "Do not repeat this test more than twice at the same location on a given day."

When this test was developed, the ASTM group thought it was best to be used only to measure reductions in surface infiltration to help owners decide on proper maintenance. As the industry has evolved, contractors have begun to use it to protect their interests and prove the pavement surface drained well immediately after curing. This would protect them from a

claim if the pavement were to become clogged either by other trades, during construction, or by outside influences after construction. The ASTM subcommittee expects to change the significance and use of this test to allow it to be used to prove that the contractor installed the material properly.

5. STRUCTURAL ISSUES

Vertical and horizontal applications need to be considered separately when considering structural issues with pervious concrete. While the history and oldest applications of the material were in structural walls, the body of work today is primarily in non-structural applications.

The biggest difference in performance between pervious concrete and plain concrete comes from consolidation. Both types of concrete require densification to develop their maximum strength. However, in normal concrete, aggregates are well graded and there is paste between the aggregates, which allows the concrete to flow when vibratory energy is applied in the form of rodding or mechanical vibration. This flowing property is what allows plain concrete to be consolidated to a consistent, repeatable density. With pervious concrete, however, there are no fine aggregates and only a thin coating of paste exists between the coarse aggregate particles, so this flow does not occur when the concrete is vibrated. The only way to get repeatable and predictable density is to apply a repeatable amount of compactive energy [Offenberg 2008].

For vertical applications, typically walls, pervious concrete is not used in the US, today. In the future, pervious concrete may return to vertical



► **Figure 3**
Structural cracking in a pervious concrete pavement without raveling

applications, but before this happens, the bond and development of steel reinforcement to pervious concrete needs to be studied, tested, and quantified to assure adequate performance of structural members. The fatigue behavior of pervious concrete in non-pavement applications would need to be studied as pervious concrete is expanded to structural works. Further, analysis of pervious concrete with respect to other material properties, including creep, shrinkage, and modulus of elasticity, would also be needed. Existing structures would need to be studied to understand what was done right in design and construction. We can look to the structural engineers to tell us what else we need to know before they can comfortably design pervious concrete structures. Lastly, however, the industry would need to develop compaction techniques to develop the uniform, optimum compaction required to develop the strength needed to protect life and property.

Research has shown that the fatigue behavior of pervious concrete in pavement applications is similar to that of plain concrete pavements [Tamai 2004]. If raveling didn't exist, the

design tools for plain concrete would work well for pervious concrete. The author has witnessed both, pavements that crack and fail structurally before raveling (Figure 3), and pavements that ravel before cracking; with the latter being the more commonly seen failure. So, we know that pavements can be designed and built to withstand raveling, but we don't have the tools to do so today. Once we have a good field test for measuring raveling resistance, then we can better understand how raw material characteristics and construction techniques impact this critical property of the material.

Conventional test methods to measure the strength, either compressive or flexural, of pervious concrete have proved to be unreliable as the results are erratic. When casting test specimens, it is critical to apply consistent compaction to samples, between labs and operators, to get consistent compaction and consistent results. The ASTM subcommittee has examined a number of compaction techniques and specimen sizes, shapes, and loading schemes, but

has not yet identified a good, reproducible combination of these. Finalizing standardized strength testing is a critical step to enabling engineers to analyze and design pervious concrete from a structural perspective for both pavements and vertical applications.

6. CONCLUSION

Looking at the future of the industry, from a testing perspective, there is still work to do to help advance this technology. We need researchers' help to develop standardized test methods for flexural strength, raveling resistance in the field, and permeability in the lab. Once we have these test methods, producers will better be able to select raw materials based on these properties that will benefit the drainage properties and pavement structural designs.

Considering vertical structural applications, the market will decide if there is value in conducting the vast amount of research necessary to use pervious concrete for walls for buildings, earth retaining walls, sound walls, or any other applications the designers can dream up. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] CHOPRA, M., WANIELISTA, M., STUART, E., HARDIN, M., UJU, I.. Pervious Pavements – Installation, Operations and Strength Part 1: Pervious Concrete. Stormwater Management Academy, University of Central Florida. Orlando, FL, USA. 2011.
- [02] HASELBACH, L. AND FREEMAN, R. Vertical Porosity Distributions in Pervious Concrete Pavement. ACI Materials Journal. Farmington Hills, MI, USA. November 1, 2006. Volume 103, Issue 6. pp 452-458. 2006.
- [03] MONTES, F. AND HASELBACH, L. M.. Measuring Hydraulic Conductivity in Pervious Concrete. Environmental Engineering Science. November, 2006.
- [04] MONTES, F., VALAVALA, S., AND HASELBACH, L. M.. A New Test Method For Porosity Measurements Of Portland Cement Pervious Concrete. Journal of ASTM International, January 2005. Vol. 2, No. 1. 2005.
- [05] NEITHALATH, N., WEISS, W. J., AND OLEK, J.. Development Of Quiet And Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials. Final Report, The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways. 179 pp. 2003.
- [06] OFFENBERG, M., FREW, J., SEAMAN, S. RAFALKO, L., LEE, R.. Laboratory Evaluation of Coal Combustion By-Products on Raveling Potential of Pervious Concrete. Presentation. Proceedings of the 2011 International Concrete Sustainability Conference, Boston, MA, USA. 14PP. 2011.
- [07] OFFENBERG, M.. Development of a New Test Method for Assessing the Potential Raveling Resistance of Pervious Concrete, ASTM International, STP-1551, West Conshohocken, PA, USA. pp 80-96. 2011a.
- [08] OFFENBERG, M.. Is Pervious Concrete Ready for Structural Applications?. Structure, Reedsburg, WI, USA. February 2008, Vol. 15 No. 2. pp 48-49. 2008.
- [09] TAMAI, M., MITZUGUCHI, H., HATANAKA, S., KATAHIRA, H., MAKAZAWA, T., YANAGIBASHI, K., AND KUNIEDA, M.. Design, Construction, and Recent Applications of Porous Concrete in Japan, Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction, and Recent Applications of Porous Concrete, Japan Concrete Institute, Tokyo, Japan. 2004.

Prêmio Anapre de Planicidade e Nivelamento com inscrições abertas

Com o objetivo de reconhecer o executante de piso industrial em concreto com o maior índice de planicidade e nivelamento, o Prêmio Anapre de Planicidade e Nivelamento está com as inscrições abertas até 30 de junho.

Podem participar do concurso, as empresas executoras de pisos, sediadas no Brasil, com obras construídas entre 1º de junho de 2015 e 30 de maio de 2016, que atendam certas condições, como: área mínima de 1500 metros quadrados; construídas no sistema mestra úmida, régua vibratória ou Laser Screed; com projetos especificando os Valores Gerais de Planicidade e Nivelamento (Nº F) e os Valores Mínimos Locais de Planicidade e Nivelamento; com 100% de sua área medida e avaliada em conformidade com os critérios e procedimentos da norma ASTM E 1155-96; entre outras.

O Prêmio foi instituído em 2009 pela Anapre – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho, que reúne as empresas do segmento de pisos e revestimentos no país, para dar visibilidade às empresas executoras de pisos de qualidade, com resultados admiráveis de planicidade e nivelamento.

“Ano a ano o Prêmio Anapre de

Planicidade e Nivelamento de pisos de concreto vem ganhando importância quando avalia e comprova o grau de expertise em que se encontram as empresas brasileiras desse segmento”, avaliou

Ariovaldo Paes Junior, presidente da Anapre e coordenador técnico do Prêmio.

As inscrições para a 8ª edição do Prêmio devem ser feitas pela internet, no site www.anapre.org.br/premio2016. Além de preencher o formulário de inscrição, o candidato deve anexar os documentos requeridos pelo Regulamento do Prêmio, disponível no site da Anapre.

Vence o concurso o executor que obtiver o maior Índice de Desempenho Construtivo (idc), calculado pela soma dos Índices Globais de Planicidade e Nivelamento (NFG), corrigida pelo coeficiente executivo (Qe), que define o grau de dificuldade do acabamento executivo, e pelo coeficiente de área construída (Qa), que estabelece a regularidade construtiva. Havendo empate, considera-se o peso individual de acabamento do piso e a média diária de concretagem, soma-



dos ao idc, como critérios para o desempate.

A premiação vai acontecer na Concrete Show South America 2016, de 24 a 26 de agosto, em São Paulo. O vencedor receberá um troféu e uma viagem, incluindo hospedagem, para

participar do World of Concrete 2017, de 16 a 20 de janeiro, em Las Vegas, Estados Unidos, sendo esta uma oportunidade para que ele participe da Premiação Golden Trowel, organizado pela entidade Face Company, criadora do sistema FNumber e certificadora dos pisos mais planos e nivelados do mundo.

“O número de prêmios obtidos por empresas brasileiras no Golden Trowel, nos últimos anos, coloca nosso país como referência em qualidade de acabamento de pisos industriais na América Latina. Na última edição, tivemos o orgulho de assistir à premiação de duas empresas brasileiras executoras de pisos de concreto pertencentes ao quadro associativo da ANAPRE e que também foram ganhadoras do último Prêmio ANAPRE de Planicidade e Nivelamento”, comentou Ariovaldo. 🏆

Desempenho de longo prazo do pavimento de concreto da Rodovia dos Imigrantes

OCTAVIO DE SOUZA CAMPOS – ENGENHEIRO CIVIL

ANA LUISA ARANHA – ENGENHEIRA CIVIL

AGÊNCIA REGULADORA DE TRANSPORTES DE SÃO PAULO – ARTESP

SANTI FERRI – PROFESSOR/ENGENHEIRO

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO (PUC-SP) / ARTESP

I. INTRODUÇÃO/HISTÓRICO

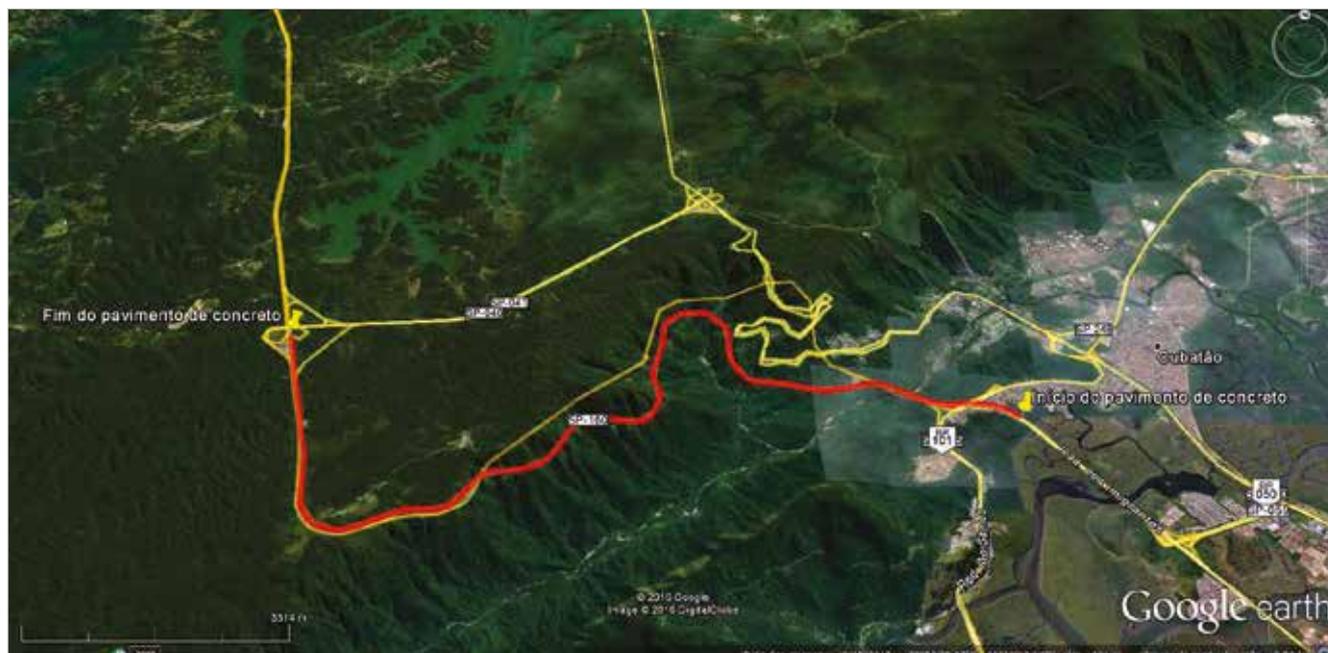
A Rodovia dos Imigrantes (SP 160) interliga a região metropolitana de São Paulo ao Porto de Santos, o maior e mais importante da América do Sul, passando, também, pelas indústrias petroquímicas de Cubatão. A rodovia

possui um volume de tráfego bastante elevado, contendo um percentual expressivo de caminhões.

Originalmente, a Rodovia dos Imigrantes foi aberta ao tráfego em 1976 com as três faixas da pista norte, construídas em concreto de cimento Portland (CCP) no trecho da Serra.

Em 1998, o Estado de São Paulo, através de seu programa de concessões, delegou a administração da Rodovia dos Imigrantes por um prazo de 20 anos à Ecovias, um grupo empresarial privado.

Um ano mais tarde, em 1999, as faixas da pista sul no trecho da Serra



▶ **Figura 1**

Segmento estudado da rodovia SP 160 - Subida da Serra (fonte: Google Earth®)

foram construídas, também em concreto de cimento Portland.

Esse estudo tem por objeto a avaliação do desempenho das faixas 1, 2 e 3 da pista norte da rodovia dos Imigrantes. Uma vez que o tráfego de caminhões é proibido na pista sul por questões de segurança, ela não foi incluída nesse estudo. O segmento da rodovia compreendido nessa avaliação é ilustrado na Figura 1.

2. PROJETO DE PAVIMENTO

Considerando-se o ambiente em que a rodovia e seus diversos túneis foram implantados, com um subleito bastante fraco e um elevado volume de precipitação (em média 4.000 mm/ano, com umidade média do ar próxima a 80%), a solução técnica mais viável foi a construção de um pavimento de concreto de cimento Portland.

O projeto se baseou no método da PCA (*Portland Cement Association*) de 1966 e seus parâmetros básicos são os apresentados a seguir:

- ▶ Índice de suporte do subleito: CBR=4%;
- ▶ Módulo de reação do subleito: $k=6,6 \text{ kgf/cm}^2/\text{cm}$ (66 MPa/m);
- ▶ Fator de segurança de carga: $FS=1,2$;
- ▶ Espessura das placas de concreto: 22,5cm;
- ▶ Resistência à tração na flexão: 4,5MPa;
- ▶ Dimensões das placas: 6,0 x 3,5 m;
- ▶ Reforço das juntas: Barras Dowel de 1" (0,50m de comprimento a cada 0,35m); Barras de conexão de 1/2" (0,70m de comprimento a cada 0,70m);
- ▶ Membrana plástica entre a superfície da placa e a sub-base para evitar aderência (Polietileno flexível, com espessura entre 0,2 mm e 0,3 mm);



▶ **Figura 2**

Tabela de dimensionamento original, preparada pela DERSA (Pitta, 1976)

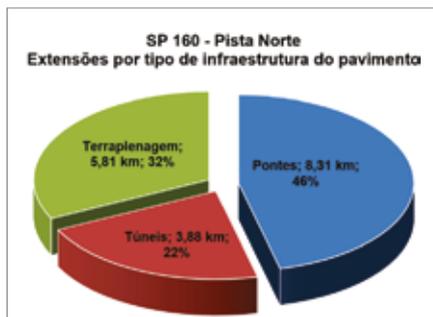
- ▶ Sub-base 1: 10cm de espessura, tratada com cimento e resistência à compressão de 4,5MPa;
- ▶ Sub-base 2: 7cm de camada granular;
- ▶ Ano de abertura ao tráfego: 1976;
- ▶ O percentual de fadiga para o elevado tráfego projetado foi de 45%, na época.

A rodovia foi construída pela Dersa, uma empresa pública/privada e esteve sob sua administração até 1998. A partir desse ponto a Ro-

dovia dos Imigrantes foi concedida e passou a ser administrada pela Ecovias.

A Figura 2 mostra a tabela de dimensionamento, parte integrante da documentação original sobre a construção da rodovia dos Imigrantes, preparada pela Dersa (Pitta, 1976).

A Figura 3 mostra a distribuição percentual da infraestrutura do pavimento (terraplenagem, túneis ou pontes) para o segmento estudado da rodovia (km 59 até o km 41).



► **Figura 3**
Extensões por tipo de infraestrutura abaixo do pavimento (km 59 ao km 41, Pista Norte - SP 160)

3. PROJETO DE REABILITAÇÃO

O segmento em estudo, composto por pavimento de concreto de cimento Portland, passou por duas grandes intervenções de reabilitação/conservação especial, tal como ilustra a Tabela 1.

Os dois serviços de conservação especial consistiram das seguintes soluções:

- Placas com fissuras de retração plástica e fissuras lineares com médio e alto grau de severidade: selagem de trincas com “grouting”;
- Placas com degrau de junta, pequenos reparos, quebras localizadas, quebra de canto e esborcinamento de juntas: execução de reparos localizados;
- Placas bailarinas e grandes repa-



► **Figura 4**
Serviços de reabilitação realizados: (a) selagem de trincas com grouting; (b) reparo localizado; (c) e (d) reconstrução de placas

ros: reconstrução de placas.

A Figura 4 exemplifica algumas das técnicas de reabilitação utilizadas.

4. TRÁFEGO

No início das contagens automáticas realizadas por laços contadores, no ano de 2004, o volume diário médio de veículos comerciais (VDMc) era da ordem de 3.700 veículos na pista norte da Rodovia dos Imigrantes. Atualmente, o VDMc é da ordem de 5.500 veículos (referente ao ano de 2014).

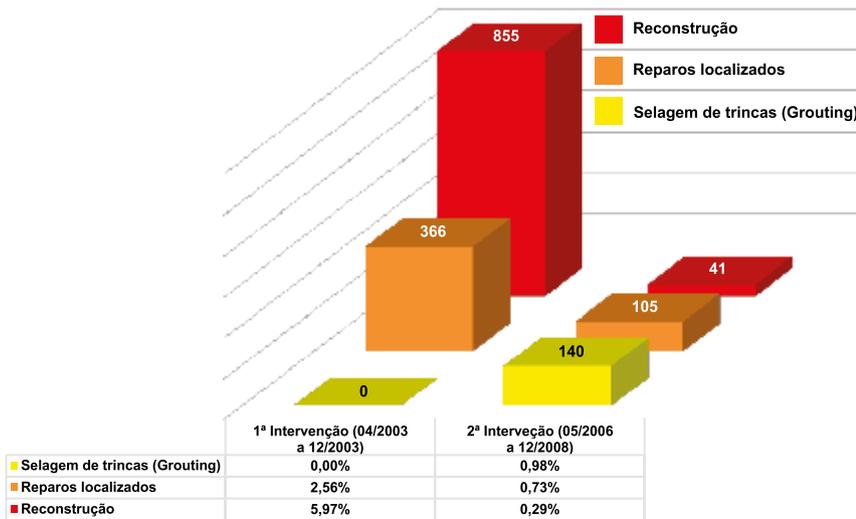
A Figura 6 ilustra a variação sazonal do VDMc na pista norte ao longo dos meses e anos de operação da Concessionária desde o ano de 2004, quando foi iniciado o processo de contagem automatizada por laços contadores.

A Figura 7, por sua vez, ilustra a variação horária do VHM (volume horário médio) de veículos comerciais referente ao ano de 2014 e a Figura 8 ilustra a variação sazonal dos volumes de tráfego. Verifica-se a maior incidência de veículos comerciais

► **Tabela 1 – Serviços de conservação especial**

Rodovia	Item de serviço	Investimento	Executada em	
			Início	Fim
SP 160	05011001	Recapamento/restauração pista Descendente/ascendente – km 40+000 ao km 60+000 São Bernardo do Campo / São Vicente – 1ª Intervenção	01/04/2003	23/12/2003
SP 160	05011002	Recapamento/Restauração pista Descendente/ascendente – km 40+000 ao km 60+000 São Bernardo do Campo / São Vicente – 2ª Intervenção	26/05/2006	22/12/2008

Quantidade de placas reparadas



► **Figura 5**

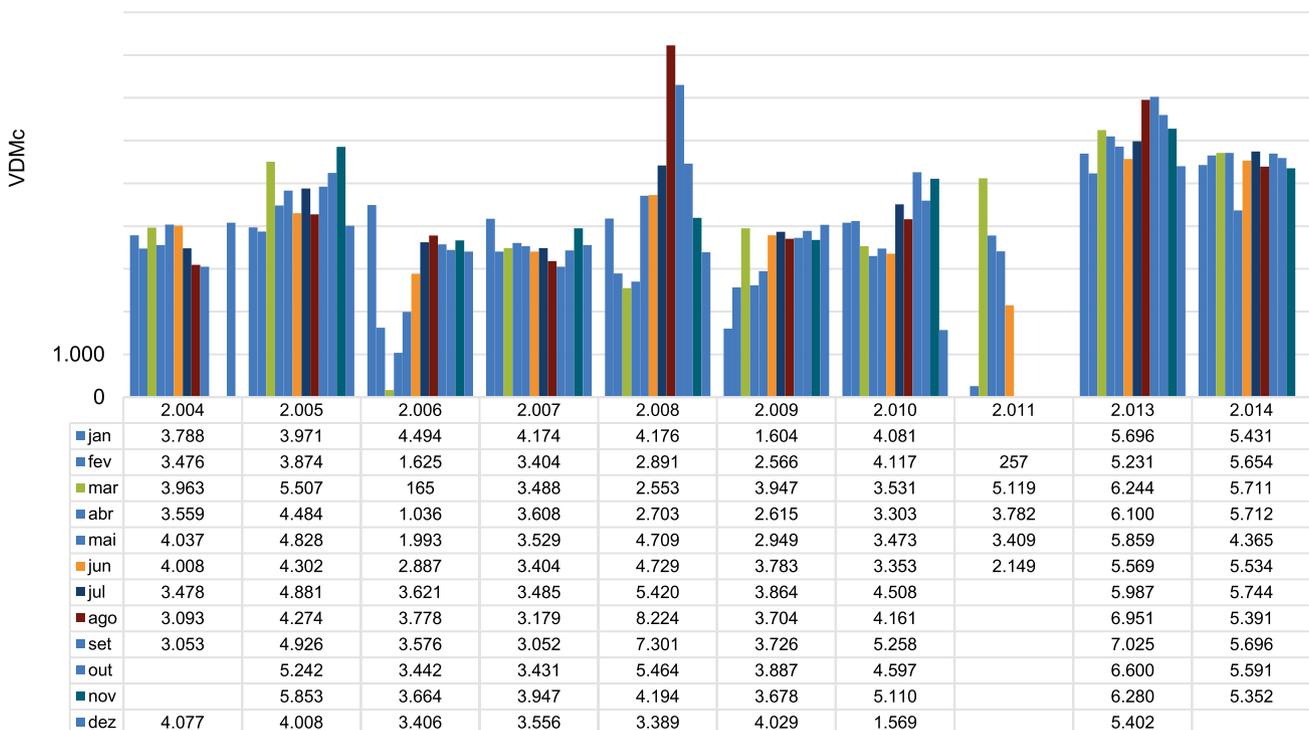
Quantidade de placas reparadas – 1ª e 2ª intervenções de conservação especial (Pista Norte) Nota: número estimado de placas entre o km 59 e o km 41 da pista norte é 14.320

(média de cerca de 300 veículos comerciais por hora) no período matinal entre 6 h e 9 h da manhã. Interessante notar que neste período pode haver o efeito do empenamento térmico devido à incidência de radiação solar no pavimento de concreto nos segmentos sobre terraplenagem.

O tráfego acumulado para esse pavimento foi estimado de acordo com o procedimento de projeto para determinação de N da AASHTO (AASHTO, 1993). O resultado obtido para o tráfego real acumulado até o ano de 2015 foi de $N=1.84 \times 10^8$.

Os dados de entrada para esse cálculo foi obtido através de contagens de campo: (i) quantidade de veículos comerciais obtidos por contagem automática e (ii) dados da

SP160 - Pista Norte VDMc - Volume diário médio (Veículos Comerciais)



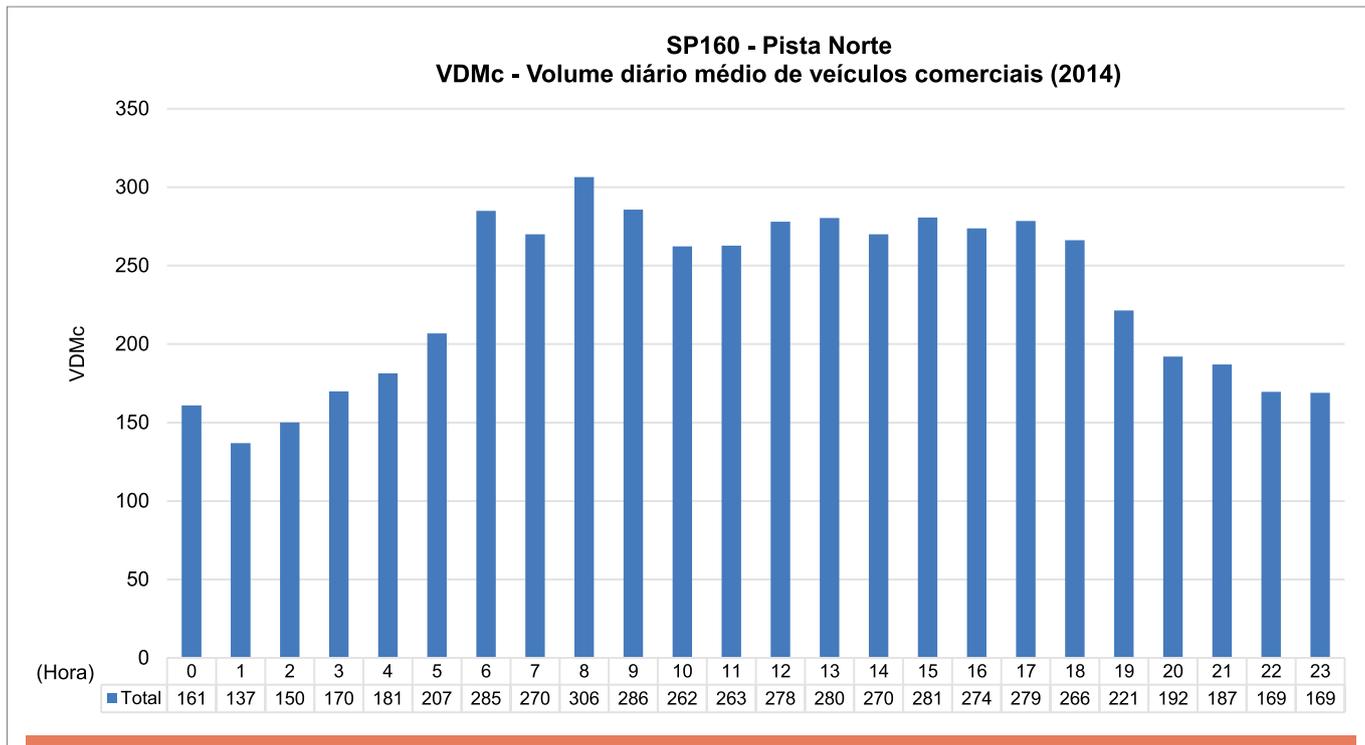
► **Figura 6**

Variação sazonal (mês a mês) do VDM comercial na pista norte – SP 160

estação de pesagem localizada no km 56 da rodovia.

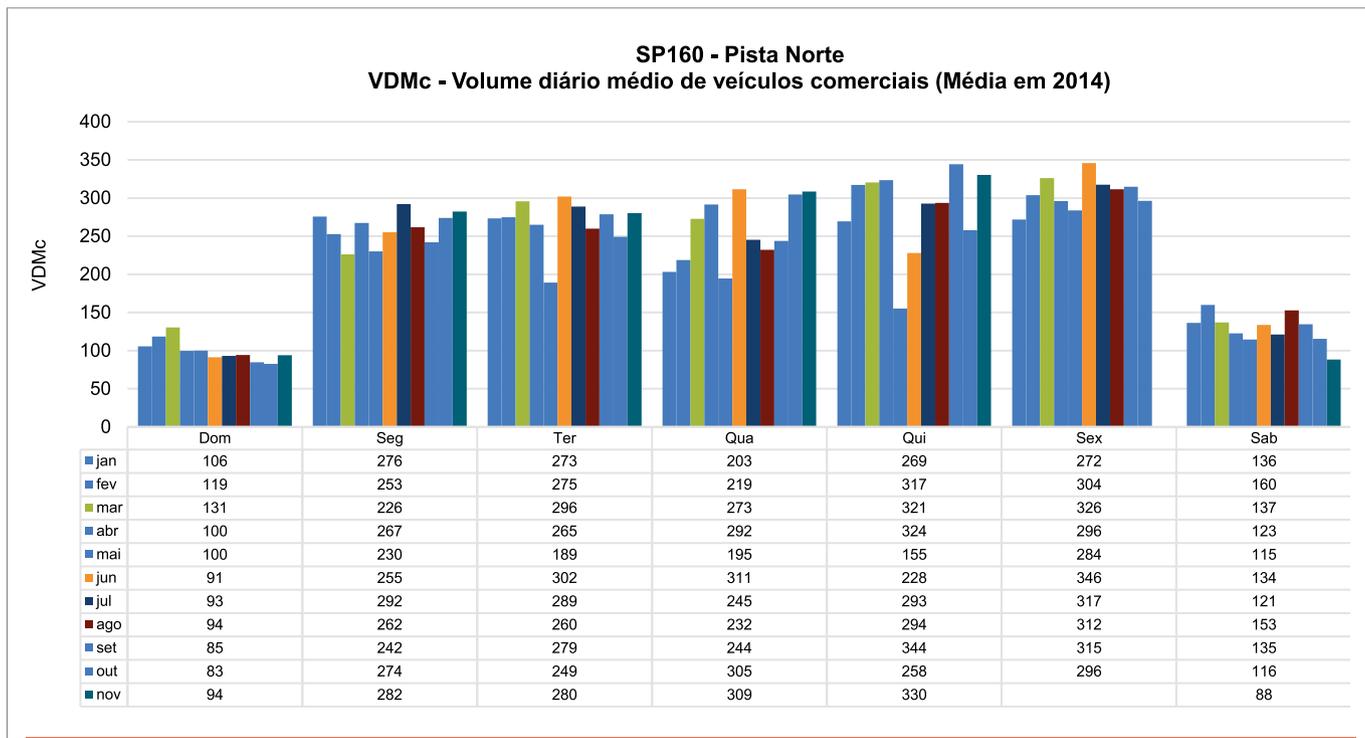
A Figura 9 ilustra os dados acumulados por classe de eixo, fornecidos

por pesagens entre abril/2014 até junho/2014.



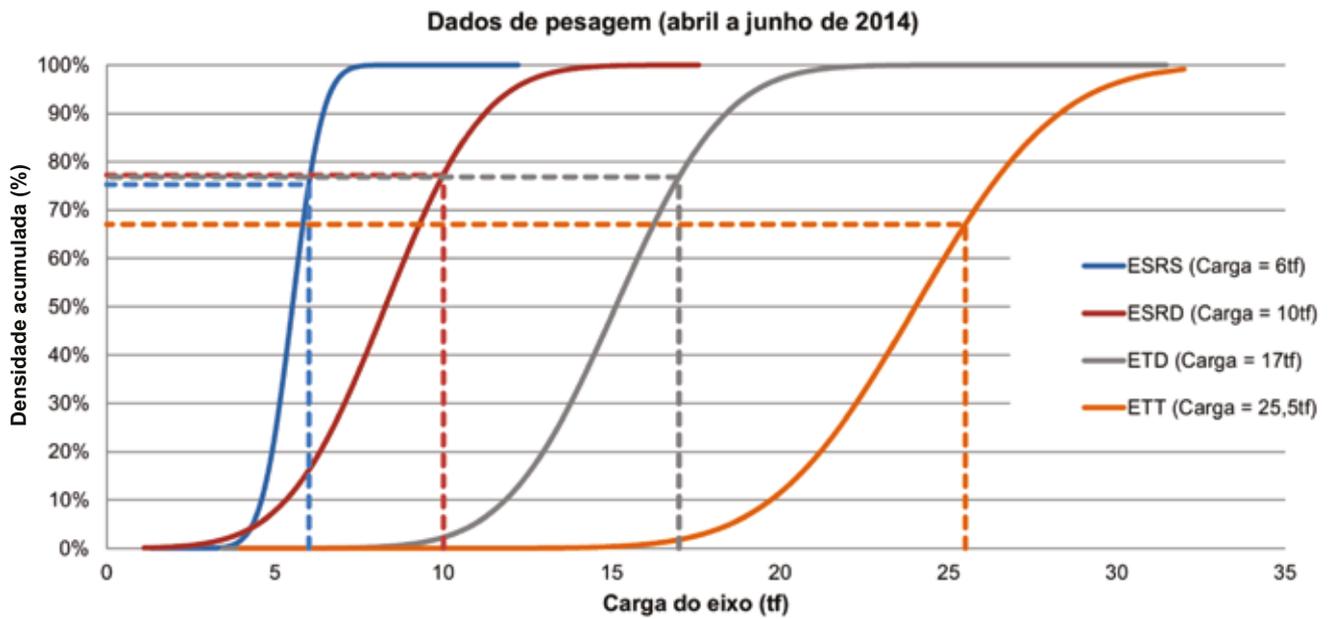
► **Figura 7**

Varição horária média dos volumes de veículos comerciais – Pista Norte – SP 160



► **Figura 8**

Varição semanal média dos volumes horários de veículos comerciais – Pista Norte – SP 160



► **Figura 9**
Dados provenientes da estação de pesagem do km 56

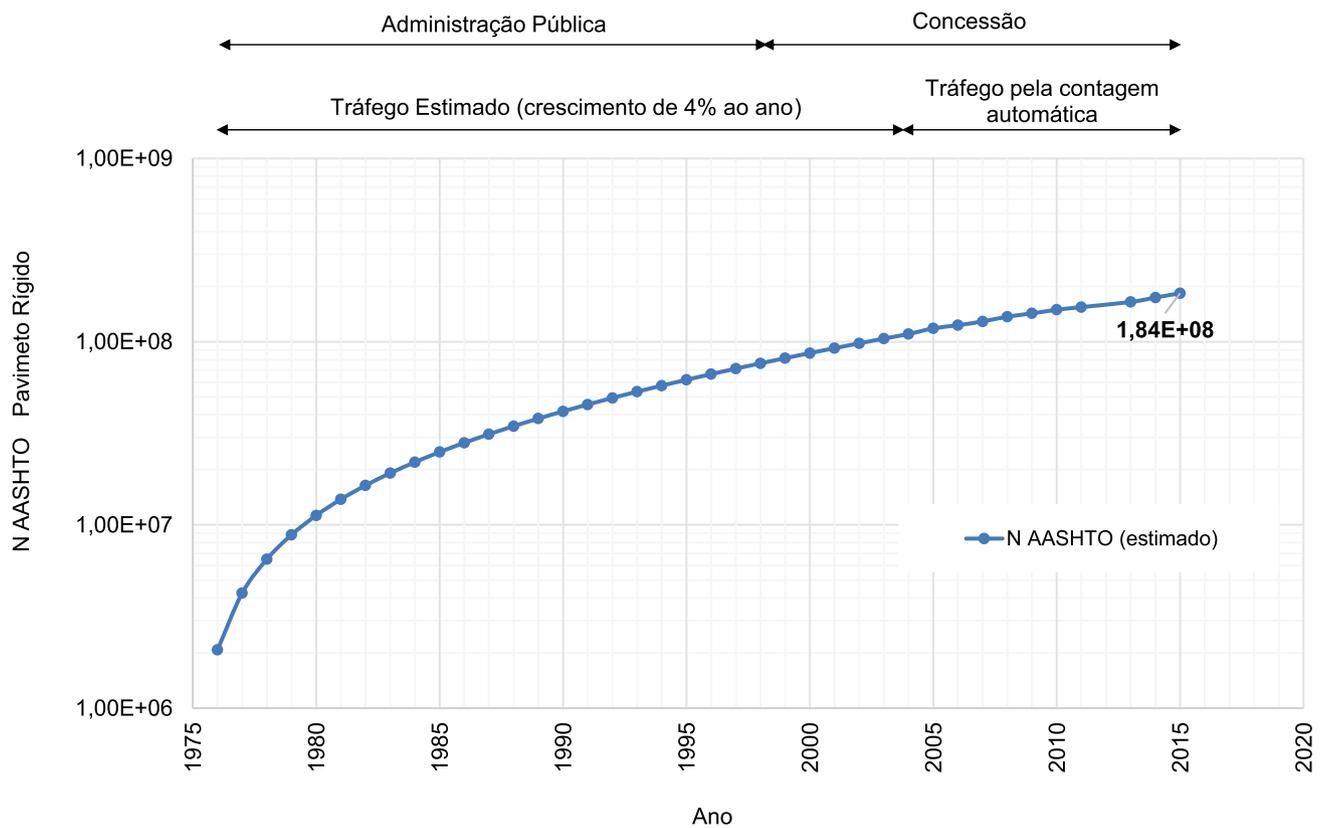
A comparação entre o tráfego acumulado real e o tráfego estimado no projeto original é ilustrada na Figura 10. Durante os anos em que a contagem automática de veículos não estava dis-

ponível, a taxa de crescimento estimada para o tráfego foi de 4% ao ano.

5. DESEMPENHO DO PAVIMENTO

O desempenho do pavimento foi

avaliado através de levantamentos anuais de IRI – *International Roughness Index* (ASTM, 2008) e o índice de condição de pavimentos (*Pavement Condition Index PCI*).



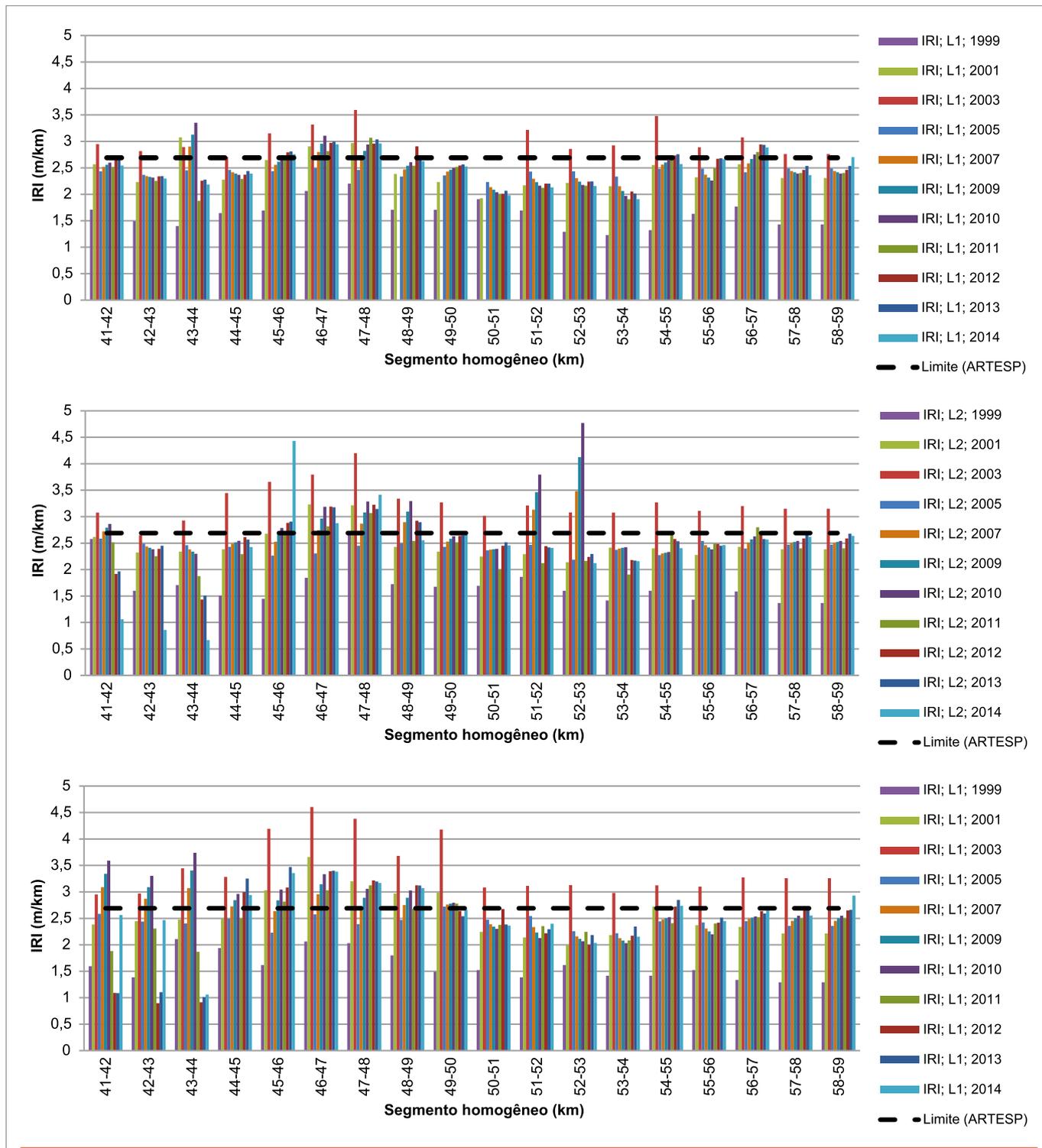
► **Figura 10**
Tráfego acumulado durante o período de operação

Para a avaliação do desempenho do pavimento, foram utilizados valores médios para segmentos homogêneos de um quilômetro de extensão. A Figura 11 mostra a evolução do IRI para

esses segmentos homogêneos durante os anos de operação e a Figura 12 ilustra sua evolução estatística.

A Figura 13 mostra a evolução estatística do IRI, dividida por infra-

estrutura abaixo do pavimento para as faixas 1 e 3. Ressalta-se que nos anos de 2003 e 2008 a rodovia passou por processos de conservação especial, e em 2010 o pavimento



► **Figura 11**

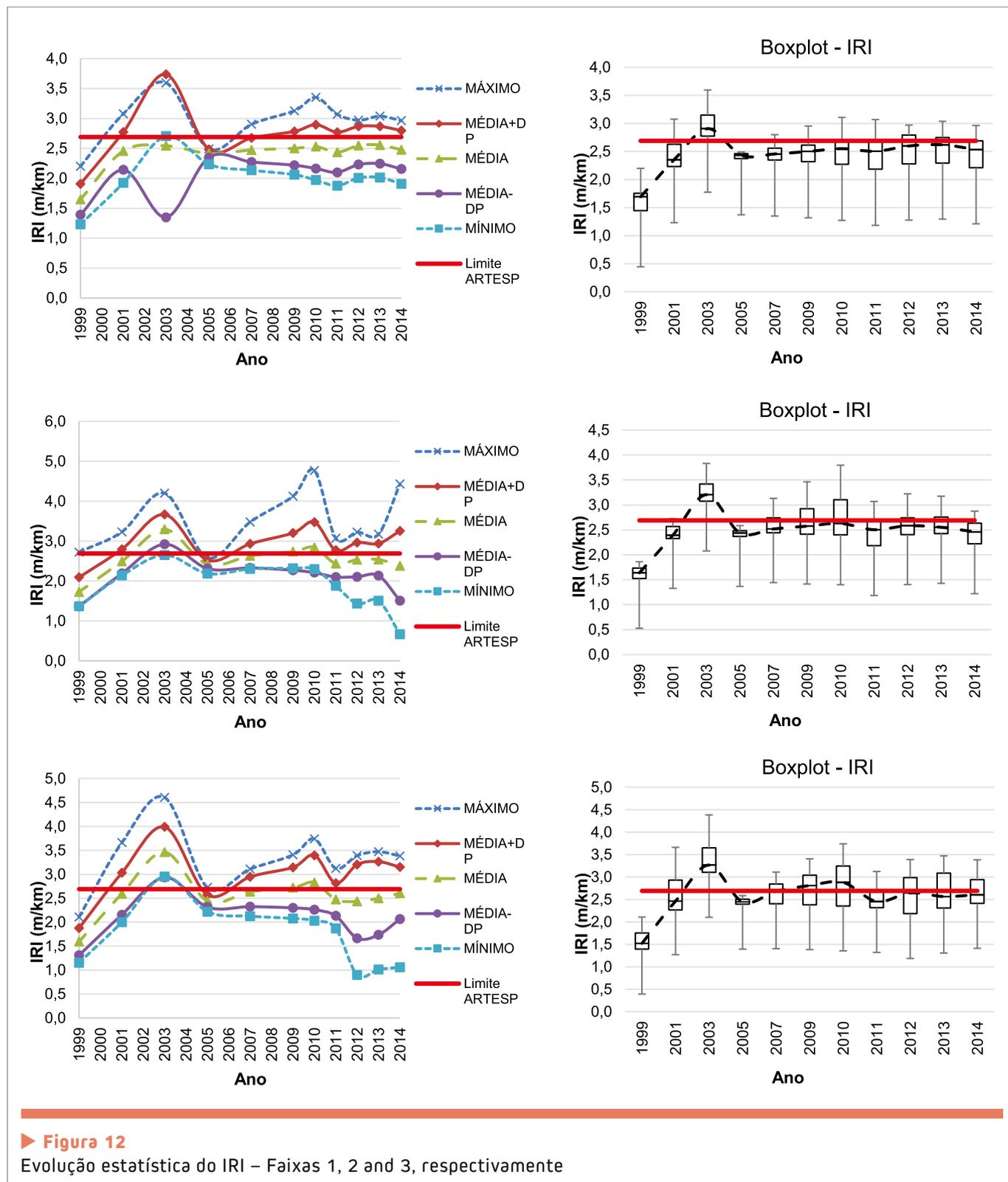
Evolução do IRI por segmento homogêneo – Faixas 1, 2 and 3, respectivamente

sofreu intervenção para a correção do IRI nas regiões de terraplenagem. No Estado de São Paulo, o IRI admissível é de 2,69 m/km para as rodovias concedidas.

Os gráficos das Figuras 11 e 12 mostram que o pavimento, de 39 anos de idade, possui um bom desempenho. De acordo com os gráficos, apenas alguns segmentos apresentaram

IRI superior a 2,69 m/km durante os anos de serviço. Esses segmentos foram submetidos a correções de irregularidade dentro de 90 dias.

A média global do valor de IRI



esteve superior a 2,69 m/km no ano de 2003. Nesse ano ocorreu a primeira intervenção de conservação especial, 27 anos após o início da operação da rodovia. Um ano após essa intervenção, um levantamento de irregularidade mostrou que todo o pavimento apresentava IR inferior ao limite de 2,69 m/km.

A Figura 13 mostra que os pavimentos dentro dos túneis apresentaram melhor desempenho e os pavimentos nas seções de terraplenagem apresentaram deterioração mais rápida após a primeira intervenção de conservação especial, principalmente na faixa 3.

Uma análise posterior, em termos do índice de condições do pavimento (*Pavement Condition Index* – PCI), foi realizada para os mesmos segmentos homogêneos nos anos de 2012 ao ano de 2014.

De acordo com a Figura 14, o índice PCI esteve sempre acima do limite inferior igual a 60 na escala PCI, indicando boas condições do pavimento. A Figura 14 também demonstra que uma manutenção para correção das placas deterioradas foi executada entre 2013 e 2014.

6. CONCLUSÃO

O pavimento de concreto de cimento Portland, objeto desse estudo, foi implementado para um período de projeto de 15 anos. 37 anos após sua construção, o pavimento apresenta boas condições estruturais e vem tendo um bom desempenho, respeitando os limites de irregularidade (IRI) e de condições de superfície (PCI) na maioria dos segmentos avaliados em campanhas periódicas de monitoramento. Mesmo tendo sido submetido a um tráfego total entre 5 e 6 vezes superior àquele para o qual foi projetado, o pavimento apresentou necessidade de manutenção relativamente baixa.

Algumas premissas do projeto do pavimento que devem ter contribuído para seu bom desempenho são:

- ▶ sub-base não erosiva, o que elimina o fenômeno de bombeamento, que não foi observado durante sua vida de serviço;
- ▶ segunda sub-base drenante, que não permitiu o desenvolvimento de pressões neutras devidas à infiltração de água, dado o elevado

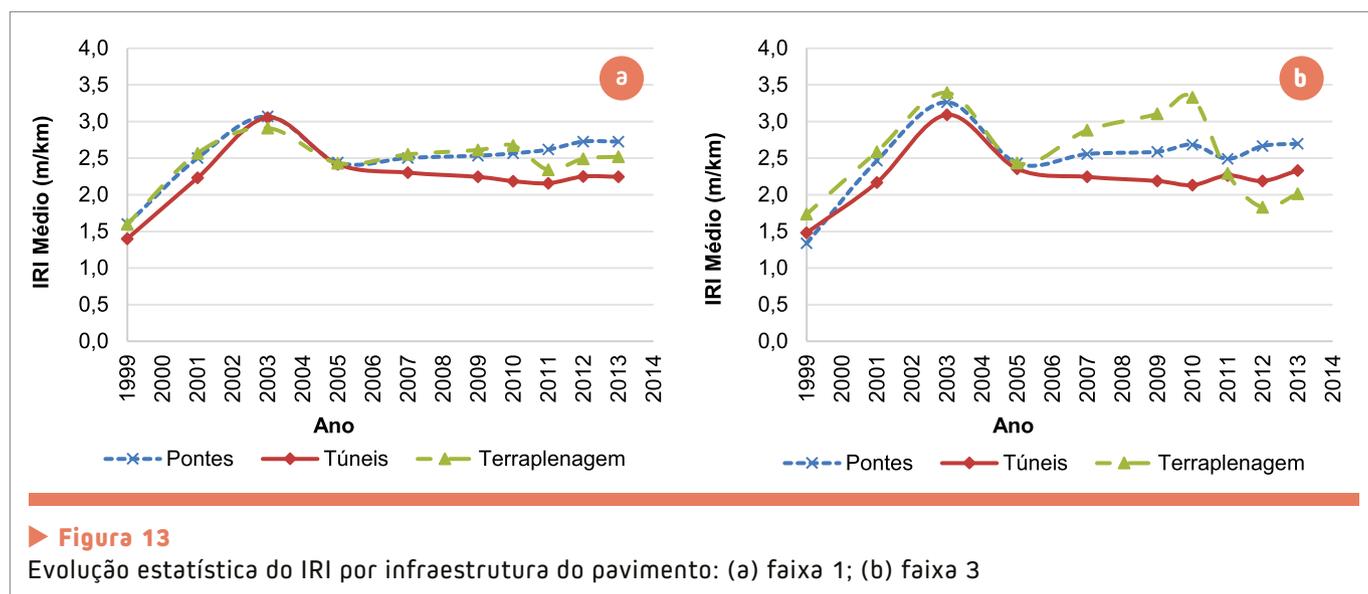
volume de precipitação;

- ▶ a boa resposta do método de dimensionamento adotado, que considera apenas o consumo à fadiga.

Outro aspecto importante está relacionado ao alto padrão de qualidade e controle tecnológico aplicado pela Dersa na época da construção da rodovia. Esse controle permitiu a detecção do potencial para reações álcali – agregado (RAA). Uma vez identificado o problema, foi possível atuar na prevenção dessas reações através da seleção do cimento Portland de alto-forno para a construção do pavimento.

Mesmo não havendo dados disponíveis na época, é bastante notável que, em 1999, época do início dos levantamentos de condições feitos pela concessionária e antes de qualquer intervenção de conservação especial, o pavimento tenha apresentado excelentes condições de conservação.

Considera-se, também, que as práticas de manutenção relatadas nesse estudo, combinadas com a velocidade com a qual a concessionária

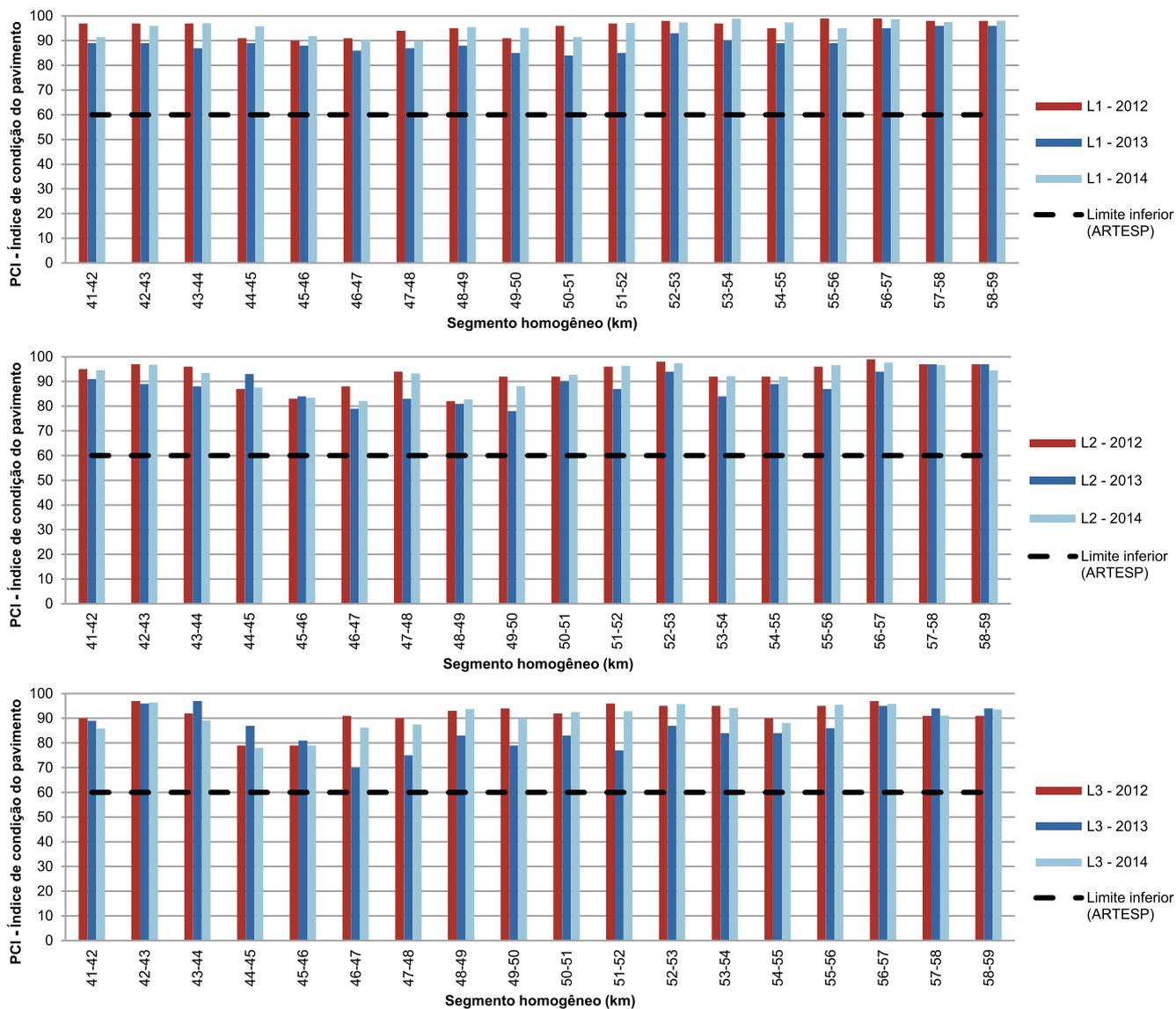


concluiu serviços prioritários, devem ter contribuído decisivamente para o bom desempenho demonstrado.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Artesp - Agência Reguladora de Transportes do Esta-

do de São Paulo e à Concessionária Ecovias pelo apoio na elaboração deste trabalho. 



► **Figura 14**

Evolução do PCI por segmento homogêneo – Faixas 1, 2 e 3, respectivamente

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1926 - 08 Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements. West Conshohocken, PA, 2008.
- [02] AASHTO. American Association of state Highway and Transportation Officials. Guide For Design Of Pavement Structures. 1993.
- [03] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 060/2004 – PRO: Pavimento Rígido – Inspeção Visual – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2004.
- [04] _____. DNIT 062/2004 – PRO: Pavimento Rígido – Avaliação Objetiva – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2004.
- [05] PITTA, M. R. Os pavimentos rígidos na Rodovia dos Imigrantes – justificativa, concepção e prática de projeto e dimensionamento. 1º Seminário DERSA – Rodovia dos Imigrantes. São Paulo, 1976.



Pavimento de concreto continuamente armado com e sem controle ativo de fissuras

ANNE BEELDENS – PESQUISADOR SENIOR

CENTRO DE PESQUISAS EM ESTRADAS BELGAS

LAMBERT HOUBEN – PROFESSOR ADJUNTO

DONGYA REN – DOUTORANDO

FERNANDO FRANÇA DE MENDONÇA FILHO

MESTRANDO (TRADUTOR)

DELFT UNIVERSIDADE DE TECNOLOGIA

LUC RENS – ENGENHEIRO CONSULTOR

FEBELCEM

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o comportamento de fissuras de pavimentos de concreto continuamente armados (PCCA), testados em seções de duas rodovias (E17 e E313) na Bélgica e uma sessão de teste na rodovia A50 nos Países Baixos.

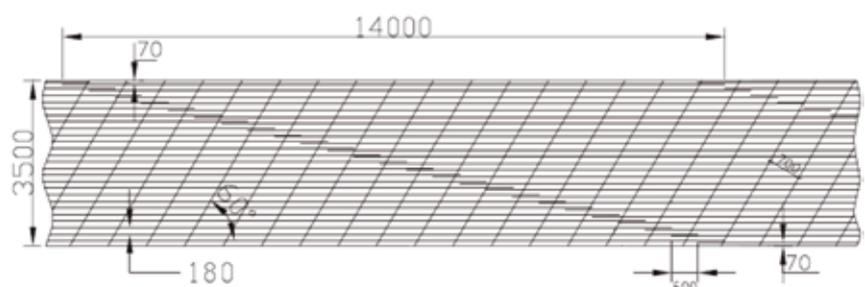
O PCCA é caracterizado pela ausência de juntas transversais, onde as fissuras de retração são controladas pela elevada taxa de armadura longitudinal, criando um padrão de fissuras finas espaçadas. O diâmetro das barras de aço da armadura longitudinal é 20 ou 16 mm. A Figura 1 dá um exemplo de *layout* da armadura de acordo com as especificações do Ministério dos Transportes e Meio Ambiente holandês de 2014 (DUTCH MINISTRY FOR TRANSPORT AND THE ENVIRONMENT: Specifications for design of continuously reinforced concrete pavements). Consiste de armadura longitudinal e armadura transversal que é, em sua maioria, instalada em um ângulo de 60° com o eixo da via. Neste exemplo, o espaçamento de centro a centro das barras da armadura longitudinal é 180 mm e as barras mais externas são posicionadas a 70 mm do fim do pavi-

mento. O comprimento de emenda das barras da armadura longitudinal depende da classe do concreto e do diâmetro das barras e varia de 500 mm a 700 mm. O espaçamento de centro a centro das barras da armadura transversal é 700 mm.

No passado, a armadura longitudinal era posicionada a uma profundidade mediana da camada de concreto. Existe, no entanto, uma forte tendência de posicionar a armadura mais acima na camada de concreto para reduzir a abertura de fissuras na superfície do pavimento. As especificações do Ministério dos Transportes e Meio Ambiente holandês, em suas especificações de 2014, determinou que o centro das barras da armadura longitudinal deve

estar a uma profundidade de 90 ± 10 mm abaixo da superfície do pavimento, o que significa que existe sempre um cobrimento de concreto de pelo menos 70 mm nas barras. Nas seções de teste na Bélgica, discutidas neste trabalho (rodovias E17 e E313), o centro da armadura longitudinal está a uma profundidade de 90 mm abaixo da superfície do pavimento. No entanto, na seção holandesa de teste (rodovia A50), a armadura longitudinal está na metade da profundidade da camada de concreto.

Atualmente, aplica-se uma camada intermediária de concreto asfáltico entre a camada de base e a placa de concreto do PCCA. Como vantagens desta camada, pode-se citar:



► **Figura 1**
Exemplo do layout da armadura para PCCA em mm

- ▶ fornecer uma camada resistente à erosão abaixo do PCCA, visando reduzir o risco de punchouts;
- ▶ fornecer uma superfície nivelada, que permite que a armadura seja posicionada corretamente;
- ▶ assegurar uma ligação uniforme com o PCCA, visando contribuir para o desenvolvimento de um padrão regular de fissuras.

A Figura 2 mostra a armadura posicionada no topo da camada intermediária de concreto asfáltico de uma seção de teste na rodovia E17, em De Pinte (Bélgica), construída em agosto de 2011.

A classe de concreto adotada varia: nos Países Baixos utiliza-se concreto C30/37 ou C35/45 e na Bélgica, concreto C35/45 (o primeiro e segundo números se referem ao valor característico de resistência à compressão aos 28 dias em cilindros e cubos, respectivamente).

Por razões econômicas, o PCCA tem sido adotado em vias de alto volume de tráfego pesado (Figura 3). A vida útil de projeto considerada está entre 30 a 40 anos. Nos Países Baixos e na Bélgica, a espessura do concreto em um PCCA é calculada como se fosse um pavimento de concreto

simples, e, então, a taxa de armadura longitudinal é calculada ou escolhida para limitar a abertura da fissura para um máximo de 0,4 mm. Para rodovias, a espessura placa de PCCA é usualmente de 250 mm.

2. PROCESSO DE FISSURAÇÃO EM PCCA

O PCCA possui grande extensão e, portanto, sempre está sujeito ao aparecimento de fissuras de retração devido ao endurecimento do concreto e também as variações de temperatura no concreto (parcialmente) endurecido. As deformações e curvaturas resultantes da retração (e mudanças de temperatura) são altamente restringidas pelo atrito do pavimento de concreto com a camada subjacente. Isso resulta em tensões de tração no pavimento de concreto que aumentam com o tempo. Fissuras transversais ocorrem se essas tensões superarem a resistência à tração do concreto.

Um dos modelos para descrever o processo de fissuração no PCCA é conhecido como Tension Bar Model. Este modelo foi inicialmente desenvolvido por NAOKOWSKI (1985) e descreve a interação entre aço e concreto devido à restrição das deformações. Isto resulta em uma solução analítica, tanto para o comprimento de transferência quanto para a abertura da fissura, para um padrão de fissuras ainda não completamente desenvolvido. Esse modelo está inserido no VENCON2.0, o método de projeto estrutural holandês atual para pavimentos de concreto simples e para pavimentos de concreto continuamente armado. O VENCON2.0 e o Tension Bar Model são explicados em Houben et al. (2007).

Para prevenir o escoamento do aço,

a taxa de armadura longitudinal depende da classe do concreto (ver Tabela 1).

Baseado em observações *in situ* dos padrões de fissuração durante a última década, a taxa de armadura longitudinal adotada nos Países Baixos e na Bélgica é substancialmente maior do que as taxas apresentadas na Tabela 1 e também um pouco maior do que as taxas exigidas por cálculos de acordo com o VENCON2.0. A Tabela 2 apresenta taxas de armadura longitudinal atualmente recomendadas para rodovias pelo Ministério dos Transportes e Meio Ambiente da Holanda, onde uma camada de asfalto poroso (AP) é aplicada na superfície do PCCA para reduzir o ruído, a propagação de detritos e o *spray*.

3. PADRÃO DE FISSURAÇÃO E POSSÍVEIS DANOS EM PCCA SEM MEDIDAS DE CONTROLE DE FISSURAÇÃO

3.1 Padrão de fissuração na Rodovia E17

Como exemplo, o desenvolvimento do padrão fissuração no PCCA da rodovia E17 (Bélgica) será apresentado. As três seções de teste de PCCA, com diferentes taxas de armadura longitudinal



▶ **Figura 2**
Armadura para PCCA em seção de teste na rodovia E17 (De Pinte, Bélgica)



▶ **Figura 3**
PCCA na rodovia E313 (Herentals, Bélgica)

(Tabela 3), descritas neste trabalho, são parte de um trecho de 11 km da rodovia E17, que foi reconstruída em agosto de 2011. O antigo pavimento de concreto simples foi reciclado, aplicado com base e sub-base para o novo PCCA (Figura 4). Entre a base de concreto compactado de 150 mm e o PCCA de 250 mm, uma camada intermediária de concreto asfáltico de 50 mm foi aplicada. A classe do concreto é C35/45 e as barras da armadura longitudinal possuem um diâmetro de 20 mm e um cobrimento de concreto de 80 mm. A seção de teste 1 é a estrutura usualmente empregada para PCCA na Bélgica.

Na E17 diferentes tipos de fissuras transversais podem ser observados (Figura 5-esquerda), assim como uma enorme variação no espaçamento de fissuras (Figura 5-direita).

O padrão de fissuras foi investigado regularmente durante os primeiros 4 dias e noites após construção e outras 5 vezes no período de outubro de 2011 a abril de 2014. A Figura 6 apresenta o desenvolvimento do padrão de fissuras no tempo nas 3 subseções de teste, cada uma com 100 m de comprimento, na rodovia E17. A Figura 6 mostra o padrão de fissuras medido 4 dias depois da construção (22 de agosto de 2011), 60 dias após a construção (18 de outubro de 2011) e 223 dias após a construção (28 de março de 2012, após um inverno severo com temperaturas chegando quase a -20°C), segundo REN et al. (2013).

A Figura 7-a mostra o desenvolvimento do espaçamento médio de fissura nas 3 seções de teste desde a construção. O padrão de fissuras é definido quando o espaçamento médio de fissuras se mantém constante após 20 meses (incluindo 2 invernos severos). O espaçamento médio de

► Tabela 1 – Porcentagem mínima de reforço longitudinal para evitar escoamento das barras de aço

Classe do concreto	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55
$\omega_{0,\min}$ (%)	0,38	0,43	0,47	0,54

fissuras é de 1,17 m, 1,27 m, e 1,01 m para as seções de teste 1, 2 e 3, respectivamente. As Figuras 7-b, 7-c e 7-d mostram o desenvolvimento da distribuição do espaçamento de fissuras nas seções de teste 1, 2 e 3, respectivamente, desde o momento de construção. No padrão de fissuras completo, 979 dias após a construção, a porcentagem de espaçamentos de fissuras menores que 0,6 m é 53,6%, 44,4% e 50,3% para as seções de teste 1, 2 e 3, respectivamente. Por outro lado, a porcentagem de espaçamento de fissuras maior que 2,4 m é 17,9%, 17,4% e 10,8% para as seções de teste 1, 2 e 3, respectivamente.

Isso significa que a porcentagem de espaçamento de fissuras no intervalo desejável de 0,6 a 2,4 m é apenas 28,5%, 38,5% e 38,9% para as seções de teste 1, 2 e 3, respectivamente. Então todas as 3 seções de teste de PCCA na rodovia E17 têm grande

número de fissuras próximas e considerável número de fissuras espaçadas. O risco de fissuras próximas está na ocorrência de *punchouts*. O risco de fissuras espaçadas é a abertura dessas fissuras, o que reduz a eficiência de transferência de carga entre elas e permite a penetração de água (com sais de degelo, se aplicável) no PCCA e a corrosão da armadura. No caso de uma camada superior de concreto asfáltico no PCCA, o risco é a reflexão das fissuras do PCCA.

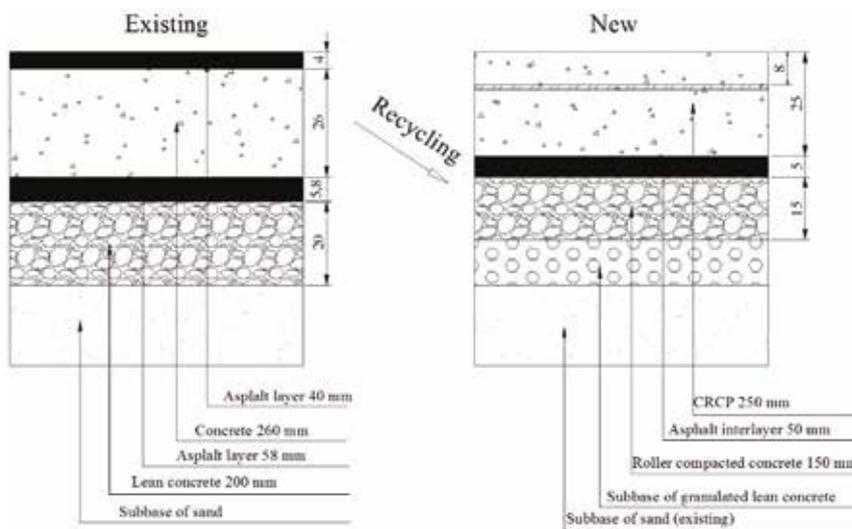
Além do espaçamento entre fissuras, a abertura de um número limitado de fissuras foi medida esporadicamente (REN et al., 2013) a alguns milímetros abaixo da superfície do PCCA com um microscópio digital (Figura 8-esquerda), junto com a temperatura na superfície do PCCA, medida através de um termômetro infravermelho. Além disso, alguns dias após a construção (antes da construção da sarjeta de concreto

► Tabela 2 – Recomendação da taxa de armadura longitudinal em rodovias nos Países Baixos

Classe de concreto	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55
ω_0 (%)	0,7	0,7	0,7	0,75

► Tabela 3 – Detalhes de projeto das 3 seções de teste de PCCA na E17

Seção de teste	Localização (km)	Reforço longitudinal
1	44,7-45,2	0,75%
2	45,2-46,2	0,70%
3	46,2-46,7	0,65% + 20 kg/m ³ fibras de aço



► **Figura 4**
O pavimento de concreto simples existente (esquerda) e o novo PCCA (direita) na E17



► **Figura 5**
Fissuras em Y (esquerda) e aglomerado de fissuras com espaçamento próximo (direita) na E17

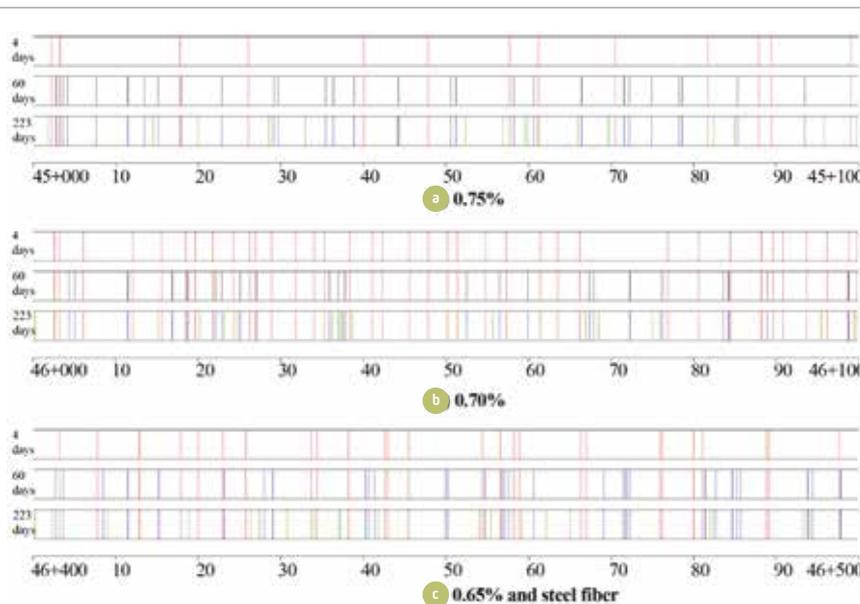
ao longo da borda do pavimento), a variação na abertura de fissuras durante o dia foi medida na superfície dos pavimentos e em duas posições na borda dos pavimentos com um LVDT em pinos fixados (Figura 8-centro e Figura 8-direita).

Alguns dados característicos sobre abertura de fissura e temperatura são fornecidos na Tabela 4 e na Tabela 5, respectivamente, que mostra que a abertura absoluta das fissuras é pequena. A Tabela 5 não apenas mostra que a mudança da abertura da fissura durante um dia (quente) é consideravelmente grande, mas também que a mudança da abertura nas fissuras diminuiu com a profundidade abaixo da superfície do pavimento devido a uma mudança de temperatura menor com o incremento de profundidade, a presença de armadura longitudinal e o atrito com a camada inferior de concreto asfáltico.

3.2 Punchout

Punchout é um tipo de defeito estrutural que pode aparecer entre fissuras transversais próximas umas das outras no PCCA. Desta forma, o PCCA passa a ser composto por vigas de concreto e não placas. O processo é descrito, em parte, matematicamente por CHEN et al. (2014):

- água penetra na estrutura do pavimento através das fissuras transversais e causa perda de aderência entre o concreto e a camada subjacente;
- as deflexões dessas vigas de concreto devido às cargas de tráfego causam esmagamento da superfície da base, resultando em muitas partículas finas, que, então, são, junto com água, bombeadas para fora através de fissuras transversais ou através de uma junta longitudinal



► **Figura 6**
Desenvolvimento do padrão de fissuras em 3 subseções de teste na rodovia E17

mal selada ou ao longo da borda do pavimento;

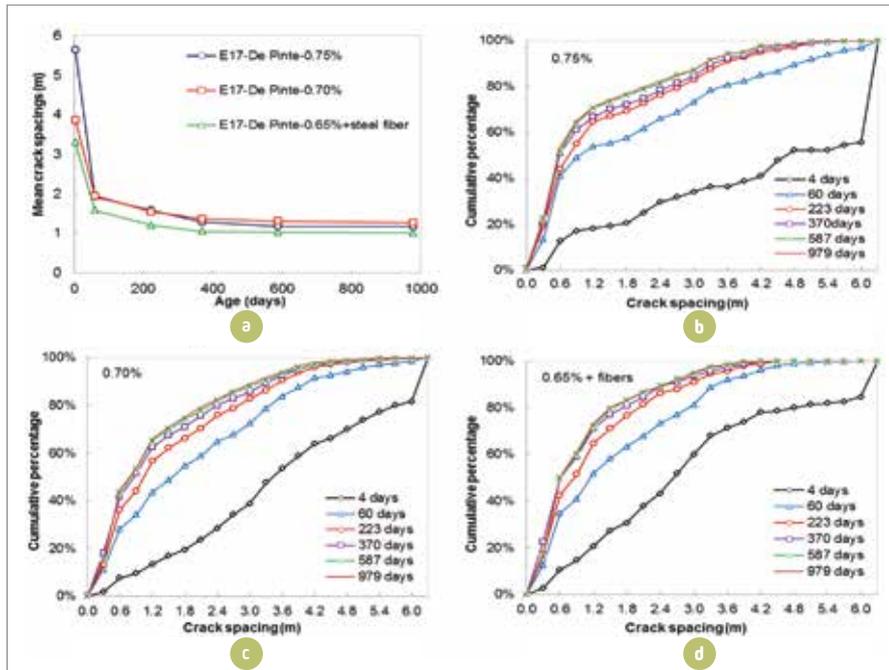
- ▶ o bombeamento resulta em um bu-

raco crescente sob a borda desta viga de concreto, resultando em tensões de tração na flexão devido

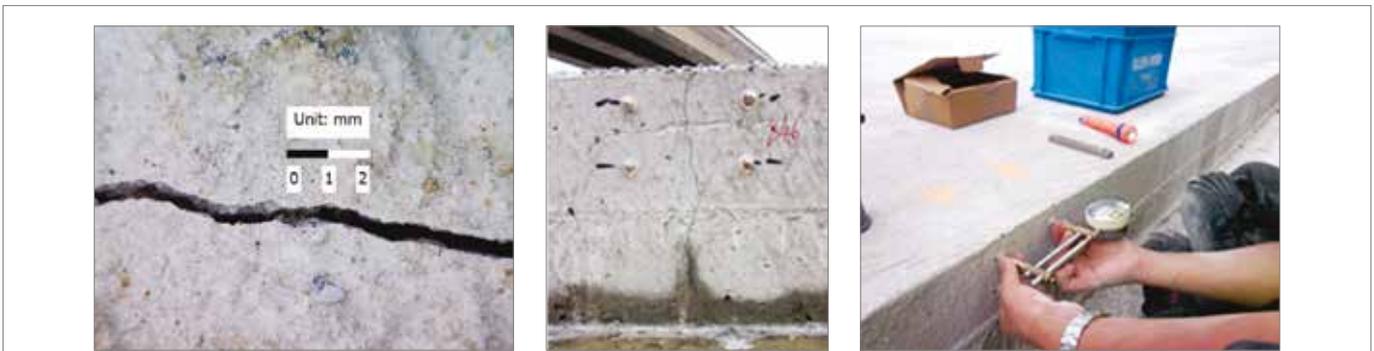
a carregamentos na borda do topo da viga na direção transversal (Figura 9-esquerda);

- ▶ quando esses esforços superam a resistência à tração na flexão do concreto, então uma fissura longitudinal ocorrerá (Figura 9-centro e direita);
- ▶ o resultado é um bloco de concreto que então é empurrado para baixo pelo tráfego ou mesmo pode ser deslocado para fora do pavimento, deixando um grave buraco.

Punchouts ocorreram em PCCA belgas que foram construídos na década de 1980. Nesse período a camada intermediária de concreto asfáltico entre o PCCA e a base de cimento não foi aplicada por razões econômicas. Em PCCA construídos depois de 1995, a camada intermediária de concreto asfáltico foi aplicada e observam-se poucos *punchouts* nestes pavimentos.



▶ **Figura 7**
Espaçamento médio de fissuras (a) e distribuição de frequência cumulativa do espaçamento de fissuras (b,c,d) nas 3 seções de teste na E17



▶ **Figura 8**
Medida da abertura da fissura na superfície do PCCA por um microscópio digital (esquerda) e medida da mudança na abertura da fissura na borda do PCCA por LVDT (centro e direita)

▶ **Tabela 4 – Abertura das fissuras na superfície em seção de teste 1 na E17**

Idade (dias)	Temperatura da superfície do pavimento (°C)	Número		Abertura da fissura (mm)			
		Fissuras	Leituras	Média	Máximo	Minímo	Desvio padrão
4	30,3	8	40	0,169	0,22	0,10	0,043
223	8,8	14	42	0,117	0,30	0,03	0,076

► Tabela 5 – Mudanças na abertura de fissuras (mm) com temperatura em seção de teste 1 na E17 3 dias após construção

Profundidade abaixo da superfície do pavimento (mm)	Mudança de temperatura (°C)	Número da fissura							Média
		1	2	3	4	5	6	7	
0	22,0 - 30,2	0,132	0,202	0,328	0,182	0,190	0,170	0,206	0,201
30	–	0,136	0,212	0,222	0,195	0,154	0,127	0,158	0,172
90 ¹	–	0,131	0,178	0,192	0,161	0,133	0,084	0,102	0,140

¹ Posição da armadura longitudinal



► Figura 9

Esquema de tensões de carregamentos de tráfego em fissuras transversais próximas (esquerda) e punchouts (centro e direita) (KOHLENER, 2005)

3.3 Aparecimento de fissuras

Nos Países Baixos, uma camada “silenciosa” deve ser aplicada em rodovias e, na prática, isso significa Asfalto Poroso (AP). Se a camada de AP é construída no topo de um PCCA, então existe o risco do aparecimento de fissuras, principalmente devido a mudanças na abertura de fissuras no PCCA com a temperatura.

Normalmente, desgaste é o tipo de defeito dominante no AP. Este, no entanto, não foi o caso na rodovia A50 (Eindhoven); ao invés disso, surgiram fissuras. O pavimento, construído em 2004/2005, consiste de 70 mm de camada dupla de AP, 250 mm PCCA (classe de concreto C35/45, 0,67% de taxa de armadura longitudinal a meia profundidade da camada de concreto), 60 mm de uma camada intermediária

de concreto asfáltico denso, 250 mm de base granular e 250 mm de uma camada de areia como sub-base sobre o terreno natural.

Em 9 de novembro de 2013, foi visitada uma seção de 100 m. A temperatura ambiente nesse dia estava em torno de 5°C. Um total de 52 fissuras foram observadas, o que significa

um espaçamento médio de fissuras de 1,92 m, que é consideravelmente alto. 27% dos espaçamentos de fissura tinham um máximo de 0,6 m, enquanto por outro lado, 32% dos espaçamentos de fissuras eram maiores que 2,4 m, com máximo acima de 6 m. 15 das 52 fissuras, ou seja, aproximadamente 30% apareceram no AP (Figura 10).



► Figura 10

Aparecimento de fissuras no revestimento de AP na A50 em 9 de novembro de 2013



Em 9 fissuras, cilindros foram extraídos e a abertura das fissuras foi medida no topo, meio e fundo do cilindro por meio de microscópio digital. Os resultados são mostrados na Tabela 6. A abertura de fissura geralmente é menor no centro do cilindro, ou seja, na posição da armadura longitudinal. As aberturas de fissura na A50 (0,67% de taxa de armadura longitudinal) depois de 8 anos estão um pouco maiores que as na E17 (0,75% de taxa de armadura longitudinal) após 7 meses (Tabela 4).

A Figura 11 apresenta a abertura da fissura versus a soma dos espaçamentos de fissuras em ambos os lados

da fissura. Para este caso específico, incluindo a camada dupla de AP, o aparecimento de fissuras ocorreu quando a abertura de fissura no topo ou meio da camada de PCCA é maior que 0,25 mm ou a soma dos espaçamentos nos dois lados da fissura são maiores que 3,2 m (isto é, o espaçamento de fissura é maior que 1,6 m).

Em 2014 a pista de AP na A50 foi fresada em 35 km e substituída por uma camada intermediária para absorção de esforços (SAMI – *Stress Absorbing Membrane Interlayer*), além de uma camada dupla de AP.

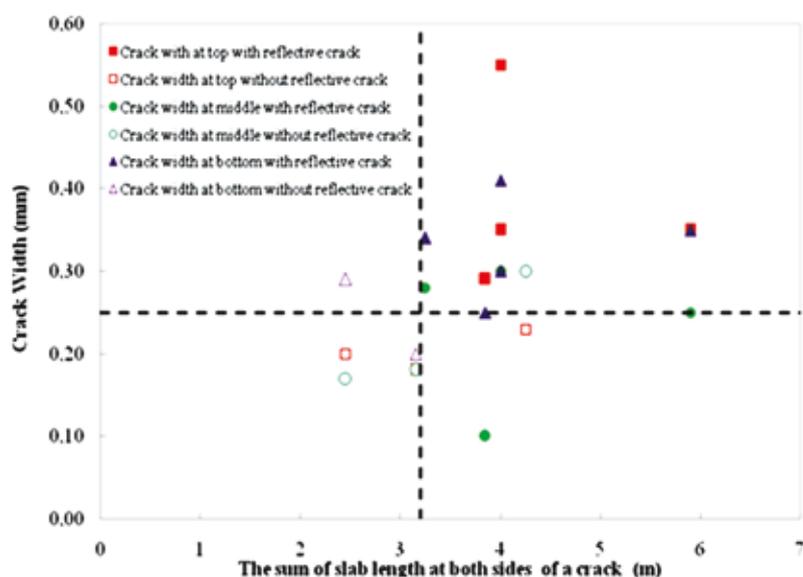
4. PADRÃO DE FISSURAS EM PCCA COM CONTROLE ATIVO DE FISSURAS

Conforme apresentado anteriormente, as fissuras muito próximas e também muito distantes em PCCA podem ocasionar efeitos prejudiciais à durabilidade do pavimento. Medidas para o controle do padrão de fissuras, portanto, podem contribuir substancialmente para a durabilidade do PCCA.

O projeto de reconstrução da rodovia E313 foi executado em 2012. A Figura 12 mostra o layout da seção de teste na E313, que foi construída de acordo com as recomendações técnicas atuais na Bélgica: PCCA de 250 mm sobre uma camada intermediária de 50 mm de concreto asfáltico e uma base de concreto compactado com rolo de 150 mm. A taxa de armadura longitudinal foi de 0,75% e a posição da armadura longitudinal é 90 mm abaixo da superfície do pavimento. Além disso, devido às exigências de redução de ruído e considerações de ordem econômicas, a placa de concreto foi executada em duas camadas. A espessura da camada superior (superfície de agregados exposta,

► Tabela 6 – Abertura de fissura dos 9 cilindros na A50 em 9/11/13; temperatura ambiente 5°C

Número do cilindro	Abertura da fissura (mm)			Soma do espaçamento de fissuras em ambos os lados da fissura (m)	Aparecimento de fissuras no AP
	topo	meio	fundo		
1	0,35	0,25	0,35	5,90	sim
2	0,23	0,30	–	4,25	não
3	0,29	0,10	0,25	3,85	sim
4	0,55	0,30	0,41	4,00	sim
5	0,35	0,30	0,30	4,00	sim
6	0,18	0,18	0,20	3,15	não
7	0,20	0,17	0,29	2,45	não
8	–	0,28	0,34	3,25	sim
9	0,32	0,26	0,33	–	sim



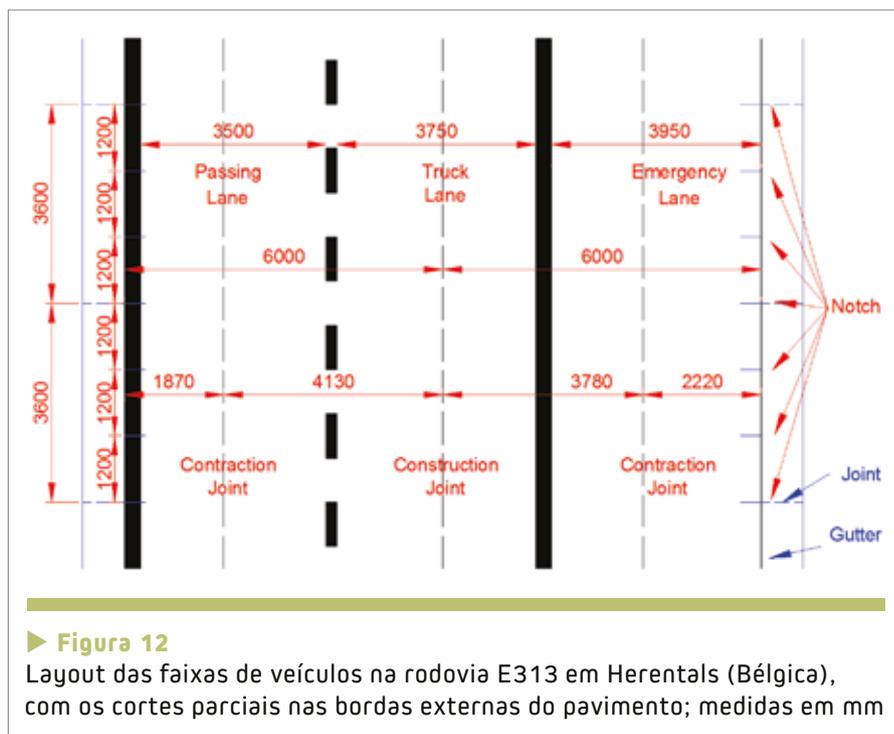
► Figura 11

Abertura de fissura em 9 cilindros na A50 em 9 de novembro de 2013 versus a soma de espaçamentos das fissuras em ambos os lados da fissura; temperatura ambiente 5°C

tamanho do agregado pórfiro 0-6,3 mm) e da camada inferior (tamanho do agregado de calcário 0-31,5 mm) é de 50 mm e 200 mm, respectivamente. A camada superior foi despejada fresca sobre a camada inferior ainda fresca. A classe de concreto é C45/55 para a camada inferior e C35/45 para a camada superior.

O PCCA foi construído em duas fases: primeiro a faixa esquerda mais a parte esquerda da faixa de caminhões e, depois, a parte direita da faixa de caminhões mais a faixa de emergência. Como mostrado na Figura 12, durante o endurecimento do concreto, foram executados cortes parciais, por meio de serragem do concreto, na superfície no lado externo da placa. A abertura desses cortes foi de 400 mm e o espaçamento de 1,20 m. Os cortes foram serrados imediatamente após a limpeza da superfície do pavimento, geralmente em torno de 16 horas após a concretagem.

O projeto da rodovia E313 possui duas seções de teste de controle de fissuras (Figura 13). Durante a primeira fase do projeto de reconstrução, a profundidade do corte foi de apenas 30 mm, que é aproximadamente um oitavo da espessura do pavimento de concreto. Subsequentemente, para avaliar o efeito da profundidade do corte na efetividade da indução de fissuras, a profundidade foi aumentada para 60 mm durante a fase seguinte do projeto. Deve ser mencionado que o momento da serragem do corte de 60 mm foi algumas horas antes da serragem do corte de 30 mm. Uma seção de teste de 500 m na faixa externa com corte de 30 mm e uma seção de teste de 1100 m, também na faixa externa, com corte de 60 mm, foram escolhidas para vistoria regular de fissuras desde a concretagem do pavimento.

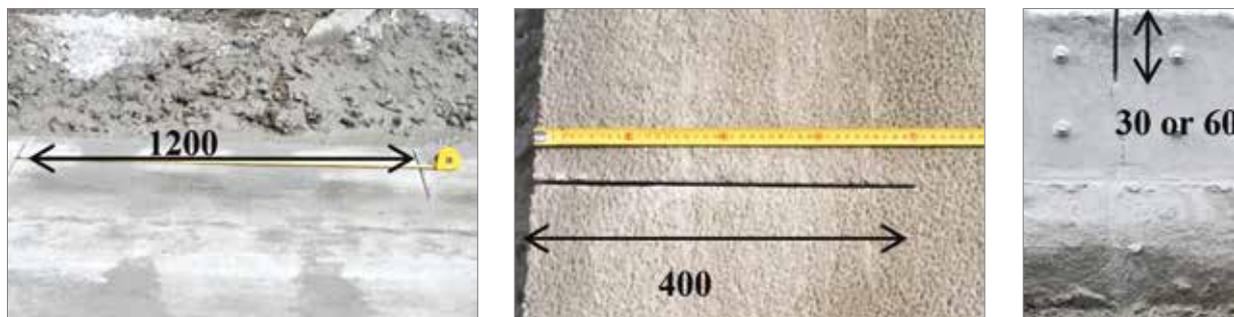


A seção de teste de 500 m, com corte de 30 mm, foi construída em julho de 2012, enquanto a seção de teste de 1100 m com corte de 60 mm, foi construída em setembro de 2012. As vistorias de espaçamento de fissuras foram realizadas por vistorias visuais manuais: caminhada ao longo da faixa de emergência, registro de posição e formato das fissuras e definição da categoria de cada fissura. A influência das cargas do tráfego no desenvolvimento de fissuras não está incluída nesta pesquisa. Abertura de fissuras foram medidas na superfície do pavimento com um microscópio digital, com uma resolução de 0,01 mm. A vistoria do padrão de fissuras foi realizada várias vezes durante os 4 primeiros dias após a construção e, além disso, em 2, 6,5, 12,5 e 18 meses após a construção da seção de teste, com cortes de 60 mm.

A Tabela 7 mostra a efetividade da indução de fissuras nas seções de teste com diferentes profundidades de serragem dos cortes na Rodovia E313.

Para a seção de teste com corte de 60 mm, 99% das fissuras que ocorreram durante os 4 primeiros dias, ocorreram em um corte e 21,3% dos cortes se propagaram em fissuras. Essa porcentagem rapidamente aumentou para 61,9% em dois meses depois da construção.

Depois disso, os efeitos dos cortes para indução de novas fissuras se tornou pequeno, já que a porcentagem aumentou apenas para 66,6% depois do primeiro inverno (severo), 6,5 meses após a construção. Isso indica que o corte parcial na superfície induz fissuras especialmente sob o corte durante idades iniciais do pavimento, que estão normalmente dentro dos dois primeiros meses após construção. No entanto, os cortes permanecem efetivos depois disso. Por exemplo, 43 de um total de 98 novas fissuras formadas (aproximadamente 45%) estavam localizadas nos cortes durante um período entre 65 e 204 dias, com a seção de teste com corte de 60 mm. Depois do primeiro inverno na seção de



► **Figura 13**

Espaçamento (esquerda), largura (meio) e profundidade (30 ou 60) (direita) das serragens na superfície das seções de teste na rodovia E313 na Bélgica; medidas em mm

teste com corte de 60 mm, 78,3% das fissuras se localizavam nos cortes, enquanto isso esse valor é menor para cortes de 30 mm de profundidade, 56,5%. Isso indica que o entalhe com maior profundidade é mais efetivo em iniciar fissuras nos locais designados. No entanto, é reforçado que o momento da serragem do corte de 60 mm de profundidade foi mais cedo que a serragem do corte de 30 mm. Em ambas as seções, fissuras rapidamente se desenvolveram durante

os primeiros meses com a diminuição de temperatura, enquanto bem poucas novas fissuras ocorreram durante meses mais quentes.

Em contraste com a rodovia E17 (Figura 5), a maioria das fissuras apresentadas nas seções da rodovia E313 e, especialmente, as fissuras que se iniciaram nos cortes, na superfície, são bem retas e perpendiculares ao eixo da via (Figura 14). Uma das razões para isso é o concreto fino (0-6,3 mm) na

camada superior da E313, em contraste com o concreto mais grosso (0-20 mm) da E17.

Figuras 15-b e 15-c mostram o desenvolvimento da abertura de fissuras no tempo desde a construção do PCCA na rodovia E313. Após 20 meses, a seção de teste com corte de 60 mm tem apenas 14% de fissuras próximas umas das outras e 11% de fissuras bem distantes. Para a seção de teste com corte de 30 mm, essas

► **Tabela 7 – Porcentagem de fissuras iniciada no local dos cortes na rodovia E313 na Bélgica**

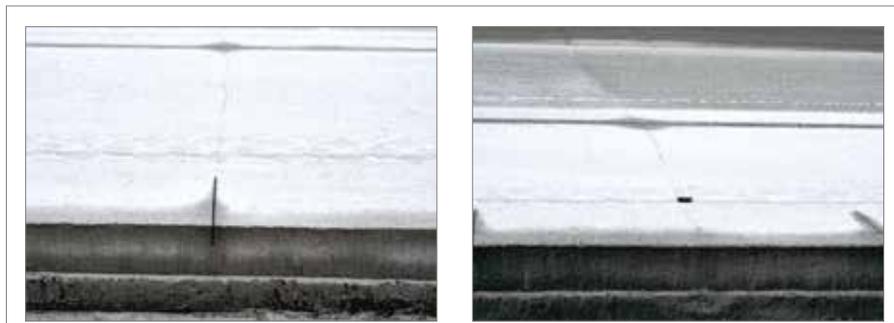
Profundidade do corte (mm)	Comprimento da seção (m)	Idade (dias)	Nº de cortes (N1)	Nº de fissuras (N2)	Nº de fissuras nos cortes (N3)	Efetividade dos cortes N3/N1 (%)	Porcentagem de fissuras em categoria (%)			
							Distância do corte mais próximo (m)			
							0	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6
60	1100	1	897	1	1	0,1	100	0	0	0
–	–	2	–	73	71	7,9	97,3	0	0	2,7
–	–	3	–	163	161	17,9	98,8	0	0	1,2
–	–	4	–	193	191	21,3	99,0	0	0	1,0
–	–	65	–	664	555	61,9	83,6	2,4	7,7	6,3
–	–	204	–	762	597	66,6	78,3	3,8	9,8	8,1
–	–	378	–	775	606	67,6	78,2	3,8	9,9	8,1
–	–	555	–	803	628	70,0	78,2	3,6	10,1	8,1
30	500	123	422	417	245	58,1	58,8	9,4	15,8	16,0
–	–	262	–	497	281	66,6	56,5	8,7	17,5	17,3
–	–	436	–	502	285	67,5	56,8	8,5	17,2	17,5
–	–	613	–	505	286	67,8	56,6	8,7	17,2	17,5

porcentagens foram de 29,6% e 4,5%, respectivamente.

A Figura 15-a mostra o desenvolvimento do espaçamento médio de fissuras em duas seções de teste na E313 desde a construção, assim como o espaçamento de fissuras médio na seção 1 da E17; todas essas 3 seções de teste possuem 0,75% de taxa de armadura longitudinal. O padrão de fissuras nas duas seções de teste na E313 está completo, isto é, o espaçamento médio entre fissuras permanece constante e também por volta de 20 meses depois da construção (incluindo 2 invernos severos), o espaçamento médio de fissuras é de 1,35 m para a seção de teste com corte de 60 mm e 1,00 m para a seção de teste com corte de 30 mm.

A Figura 15-d e a Tabela 8 mostram a comparação de padrões de fissuras na seção de teste sem controle ativo de fissuras na rodovia E17 e na seção de teste com controle ativo de fissuras na rodovia E313. Em todas essas seções de teste, a classe de concreto é C35/45, a espessura do concreto é 250 mm e a taxa de armadura longitudinal é 0,75%. As seções de teste com cortes serrados, principalmente de 60 mm, na E313, têm uma distribuição de espaçamento de fissuras muito melhor que a seção de teste na E17.

Finalmente, a Tabela 9 mostra a comparação da abertura de fissuras na seção de teste 1 na rodovia E17 e nas duas seções de teste na rodovia E313, em ambos dias de verão e inverno. O efeito da temperatura do pavimento na abertura das fissuras é óbvio: no inverno as aberturas das fissuras são maiores que no verão. Levando a temperatura do pavimento em conta, pode se concluir que em ambos a abertura média das fissuras e o desvio padrão da abertura de fissuras são um pouco me-



► **Figura 14**

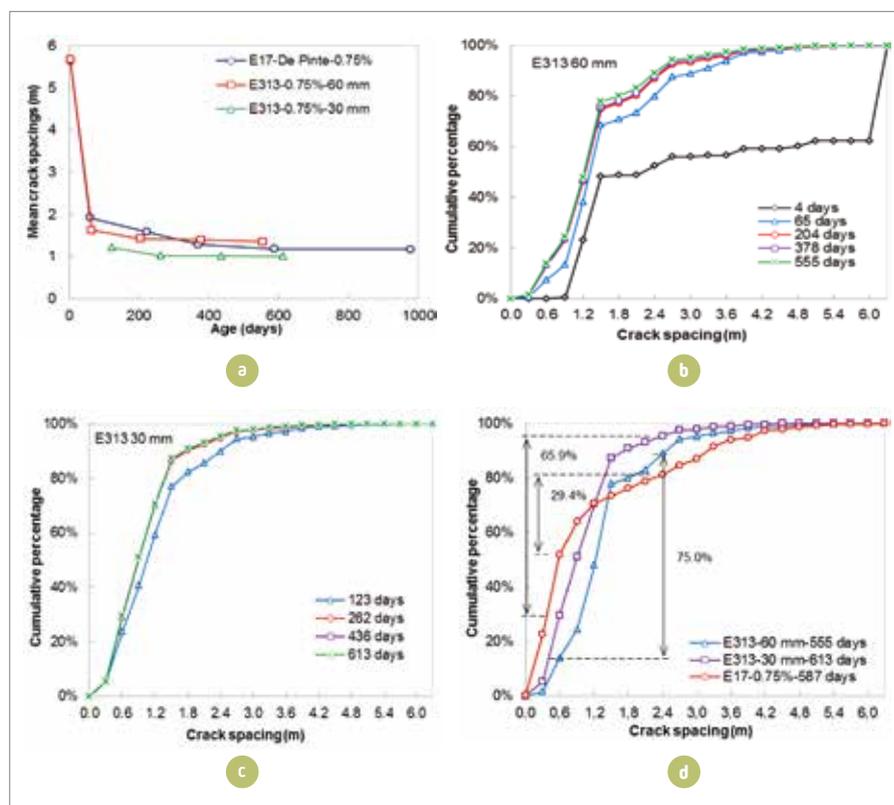
Fissuras retas no corte (esquerda) e entre dois cortes (direita) na seção de teste com cortes parciais na superfície na rodovia E313 na Bélgica

nores nas seções com cortes na E313 comparadas com a seção 1 na E17.

5. CONCLUSÕES

Pavimentos de concreto continua-

mente armados (PCCA) estão sendo cada vez mais adotados quando construímos ou reconstruímos pavimentos para vias de tráfego pesado. Considera-se essencial para um bom



► **Figura 15**

Distribuição de frequência cumulativa do espaçamento de fissuras em seções de teste na E313 (b,c), espaçamento médio de fissuras nas seções de teste E17 e E313 (a) e comparação da distribuição cumulativa do espaçamento de fissuras nas seções de teste E17 e E313 após 20 meses, incluindo 2 invernos (d); as setas representam a porcentagem do espaçamento de fissuras no intervalo ideal de 0,6 – 2,4 m (Bélgica)

► Tabela 8 – Comparação do padrão de fissuras nas seções de teste nas rodovias E17 e E313 após aproximadamente 20 meses (incluindo 2 invernos)

Rodovia	Seção de teste	Distribuição do espaçamento de fissuras (%)			Espaçamento de fissuras médio (m)
		≤ 0,6 m	0,6-2,4 m	≥ 2,4 m	
E17	1	51,8	29,4	19,8	1,18
E313	Cortes de 60 mm	14,0	75,0	11,0	1,35
–	Cortes de 30 mm	29,6	65,9	4,5	0,99

desempenho a longo prazo (30-50 anos) um padrão de fissuras otimizado, o que significa não apenas aberturas de fissura limitadas (menores que 0,4 mm), mas também poucas fissuras próximas (que podem resultar em punchouts) e poucas fissuras distantes (que resultam

em abertura de fissura elevada e mudanças significativas de abertura devido a mudanças de temperatura). Uma taxa de armadura longitudinal adequada (0,70% a 0,75% da área da seção transversal) e uma camada intermediária de concreto asfáltico abaixo do

PCCA são necessários para um padrão de fissuras otimizado. Apesar do PCCA na rodovia E313 ainda estar nas primeiras idades (construído em 2012), o padrão de fissuras superior, com grande maioria dos espaçamentos de fissuras no intervalo desejável de 0,6 – 2,4 m e aberturas de fissura pequenas, como um resultado da aplicação de cortes por meio de serragem parcial na superfície, promete um bom desempenho estrutural a longo prazo e, portanto, é um tipo de pavimento durável. ◀

► Tabela 9 – Efeito da temperatura do pavimento na abertura das fissuras na superfície do pavimento nas seções de teste na Bélgica, medidas por um microscópio óptico

Rodovia	Seção de teste	Temperatura na superfície do pavimento (°C)	Número de fissuras	Abertura das fissuras (mm)			
				Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
E17	1	30,3	8	0,169	0,22	0,10	0,036
–	–	2,2	10	0,312	0,35	0,19	0,087
E313	Cortes de 60 mm	20,5	17	0,152	0,31	0,10	0,032
–	Cortes de 60 mm	8,0	12	0,201	0,27	0,14	0,034
–	Cortes de 30 mm	21,0	11	0,198	0,22	0,13	0,035
–	Cortes de 30 mm	4,2	11	0,232	0,32	0,13	0,044

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] CHEN, L.; ZOLLINGER, D.G.. Characterization of Sustainability Related Considerations for CRC Pavement Design. 8th International DUT-Workshop on Research and Innovations for Design of Sustainable and Durable Concrete Pavements, Prague, Czech Republic, 20-21 September 2014.
- [02] DUTCH MINISTRY FOR TRANSPORT AND THE ENVIRONMENT. Specifications for design of continuously reinforced concrete pavements. Delft, the Netherlands, 2014 (in Dutch).
- [03] HOUBEN, L.J.M.; LEEST, A.J. van; STET, M.J.A.; FRÉNAV, J.W.; BRAAM, C.R.. The Dutch Structural Design Method for Plain and Continuously Reinforced Concrete Pavements. International Workshop on Best Practices for Concrete Pavements. Recife, Brasil, 21-23 October 2007.
- [04] KOHLER, E.R. Experimental Mechanics of Crack Width in Full-Scale Sections of Continuously Reinforced Concrete Pavements. PhD Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005.
- [05] NAOKOWSKI, P.. Theory on the bond between steel and concrete to determine the crack width. Journal 'Beton- und Stahlbetonbau'. Volume 80, 1985, nos. 7/8 (in German).
- [06] NEN 6720:1995, TGB 1990. Concrete Standards – Structural requirements and calculation methods (VBC 1995), 2nd edition with revisions A2:2001 and A3:2004. NNI, Delft, the Netherlands, 1995 (in Dutch).
- [07] NEN-EN 206-1:2001. Concrete – Part 1: Specifications, properties, manufacturing and conformity. NNI, Delft, the Netherlands, 2001 (in Dutch).
- [08] REN, D.; HOUBEN, L.J.M.; RENS, L.. Cracking behavior of continuously reinforced concrete pavements in Belgium. Transportation Research Record No. 2367, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2013.
- [08] REN, D.; HOUBEN, L.J.M.; RENS, L.; BEELDENS, A.. Active Crack Control for Continuously Reinforced Concrete Pavements in Belgium through Partial Surface Notches. Transportation Research Record No. 2456, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2014.
- [09] REN, D.; HOUBEN, L.J.M.; ERKENS, S.M.J.G.; RENS, L.; BEELDENS, A.. Theoretical analysis of active crack control for continuously reinforced concrete pavement through partial surface notches. 8th International DUT-Workshop on Research and Innovations for Design of Sustainable and Durable Concrete Pavements, Prague, Czech Republic, 20-21 September 2014.

Pavimento de concreto com armadura contínua: o experimento USP e parceiros

JOSÉ TADEU BALBO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

I. INTRODUÇÃO

Diversas rodovias construídas nas duas últimas décadas no Brasil, com solução em pavimento de concreto simples, vem apresentando desempenho insatisfatório, induzido por aspectos de projeto em várias nuances (tal como método de dimensionamento inadequado), bem como por falhas construtivas, estas em sua maior parte relacionadas às juntas de contração exigidas por esse tipo de solução. Esse estado de coisas tem origem em diversas fases do processo que até hoje parecem serem mal compreendidas pelos vários agentes envolvidos. Não querendo nos furtar aqui de esclarecimentos sobre essas sérias questões, a questão da pavimentação em concreto com eliminação de juntas de contração em placas parece ser o aspecto mais crucial para a reflexão de uma tecnologia alternativa. Este artigo discute a concepção do projeto de pavimento de concreto continuamente armado (ou com armadura contínua), as parcerias estabelecidas para a pesquisa e os aspectos executivos da pista experimental construída em janeiro de 2016 no campus da Universidade de São Paulo, na capital.

2. ENTENDIMENTO DO PRINCÍPIO DE FORMAÇÃO DE JUNTAS DE CONTRAÇÃO E SEUS PROBLEMAS TÍPICOS

Os pavimentos de concreto simples são moldados *in loco* para a construção de rodovias, corredores de ônibus, pistas e pátios aeroportuários, portos, pisos industriais, estacionamentos, dentre outras aplicações. É reconhecidamente uma solução de pavimentação de grande durabilidade especialmente para suportar o tráfego pesado. Sua durabilidade é indiscutível, desde que a obra seja resultado de um projeto consciente e amadurecido, que envolva os aspectos mecânicos que permeiam o comportamento dessas placas com juntas e barras de transferência, consideradas aí as respostas às cargas ambientais e do tráfego. Infelizmente esse quadro se aplica muito bem à Alemanha, por exemplo, e não tem sido tratado das obras rodoviárias brasileiras.

Outra exigência para se alcançar essa durabilidade, que deve ser considerado como o aspecto mais crítico simultaneamente com o processo de fadiga do concreto, são as juntas de indução de fissuras de retração, denominadas simplesmente por juntas de contração. Os engenheiros devem entender que essa propriedade do concreto na fase

de seu endurecimento (retração de secagem) é muito crítica para grandes áreas e volumes expostos ao clima durante sua construção; e que não há maneira de controlar a ocorrência de tal fenômeno, embora esse possa ser mitigado com diversas tecnologias disponíveis, da mais simples às mais rebuscadas em aspectos de química tecnológica.

A serragem de juntas nos pavimentos de concreto simples (PCS) constitui a técnica cabal para controle das fissuras de retração. Em geral, com um serviço esmerado e consciente do ponto de vista de engenharia, o que requer controle de qualidade do processo de modo constante pelos engenheiros e encarregados de obras, essas juntas são eficientes. É possível, todavia, que ao longo de anos, possam paulatinamente causar desconforto ao rolamento de veículos, caso ocorram escalonamentos ou degraus nelas. A ausência de esclarecimento sobre a questão entre os atores das obras, que em geral não recebem treinamento e certificação, sem eximir de responsabilidade os engenheiros responsáveis, tem gerado mazelas que se repetem em obras de pavimentação rodoviária do “Oiapoque ao Chui”.

As causas mais comuns para falhas na construção dessas juntas, que resultam na ocorrência da fissura de

retração fora de seu domínio a partir do fundo de seu entalhe, são conhecidas: atraso na serragem (falta de controle do processo), pequena profundidade de serragem (falta de controle de qualidade), posicionamento indevido das barras de transferência de cargas (falta de controle de processo), aderência parcial ou total das barras de transferência de carga em ambos os lados (o que poderia ser evitado em todas as obras empregando-se a técnica comum de engraxar as barras completamente, não apenas sua metade, dirimindo incertezas na qualidade do processo).

Essas falhas na ocorrência da fissura de retração comprometem, logo de início, o comportamento estrutural de placas pois as respostas estruturais mostram-se diferentes daquelas normalmente empregadas como premissas para o cálculo estrutural.

3. O CONCEITO DO EMPREGO DE ARMADURA CONTÍNUA COM ABANDONO DE JUNTAS DE CONTRAÇÃO

Desde a década de 1930 começou-se a testar o emprego de um pavimento de concreto que dispensasse as juntas de contração, posto que naqueles primórdios eram comuns as fissuras de retração descontroladas por falhas na execução de juntas. Assim, não seriam necessárias a colocação de barras de transferência de carga (exceto no caso de juntas de construção de fim de turno de trabalho) e a serragem de juntas para a indução de fissuras, criando-se um sistema “*let it crack*”. Armaduras contínuas dispostas no banzo comprimido da inicialmente “grande placa de concreto”, com taxas variando entre 0,5 e 0,7%, fariam o controle da abertura das fissuras de retração, minimizando-as, além de servirem como elementos de transferência de esforços verticais sobre a super-

fície. O aperfeiçoamento dessa tecnologia foi batizado por “*continuously reinforced concrete pavement*”, o que pode ser livremente traduzido para a língua portuguesa por “pavimento de concreto com armadura contínua” (PCAC) ou “continuamente armado” (PCCA), em uma tradução *ipsis literis*.

Esse tipo de pavimento serve atualmente cerca de 40.000 km de rodovias interestaduais (US-I) nos Estados Unidos da América, tendo migrado principalmente para a Bélgica e a Holanda nos anos 1960, países nos quais o PCCA é empregado em extensões que superam a malha rodoviária brasileira em PCS (cerca de 2.000 km). Na Alemanha foi a solução mais empregada modernamente para a construção de plataformas ferroviárias para trens de alta velocidade, que exigem estruturas com deslocamentos plásticos verticais ou horizontais minimizados ao longo de sua utilização. Nos demais países europeus seu emprego é limitado, com alguns casos na França e na Espanha e pequena extensão total na Itália.



PCCA nos anos 1960 (fonte: Roesler, 2005)

No Brasil sua primeira aplicação viária ocorreu em 2010, como experimento, com placas curtas no campus da USP em São Paulo. As quatro placas de 50 m não puderam reproduzir as condições de fissuração encontradas na literatura técnica internacional, tendo



PCCA em ferrovia Hanover-Berlim em 2011 (gentileza: Bernhard)

► Ficha técnica

Escavação, transporte do material escavado, compactação do subleito e da base granular	Construtora OAS
Fornecimento de brita graduada simples para a base	Serveng Mineiração Construtora Norberto Odebrecht
Fornecimento de imprimação betuminosa da base e de formas de madeira incluindo montagem	Prefeitura do Campus da Capital da USP
Fornecimento de vergalhões comuns e galvanizados	Votorantim Siderurgia
Fornecimento de zinco para galvanização	Votorantim Metais
Galvanização de vergalhões	Bosch
Fornecimento de desmoldante para formas e produto de cura para aspersão na superfície do concreto	Grace
Fornecimento de arames galvanizados	Morlan Arames e Telas
Fornecimento de CP II e CP IV	Votorantim Cimentos
Fornecimento de agregados virgens e reciclados e produção e transporte dos concretos	Engemix
Montagem das armaduras, adensamento, acabamento e cura do concreto	Engenharia de Pisos
Projeto e coordenação	Departamento de Engenharia de Transportes Escola Politécnica da USP

ocorrido fissuras com espaçamento médio de cerca de 3 m na maioria dos casos ou maiores. O experimento foi realizado para o entendimento do emprego dessa tecnologia em paradas de ônibus urbanas ou rurais, tendo apresentando excelente desempenho das fissuras (sem sua degradação) até o momento. Contudo, não permite apresentar um quadro para o comportamento do PCCA em clima tropical que refletisse o

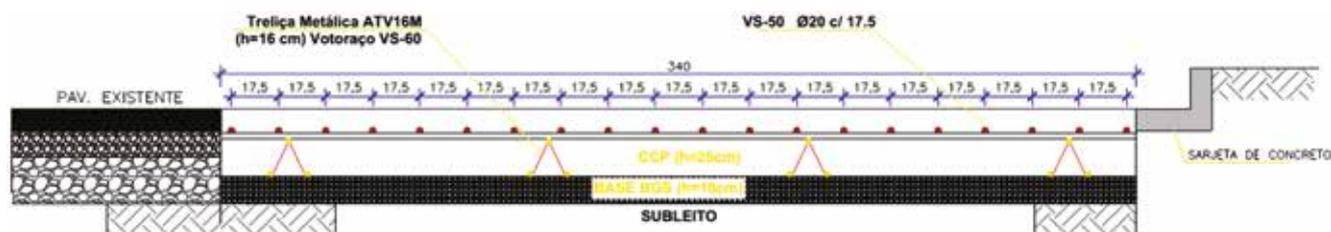
processo de construtivo de aeroportos, rodovias e corredores de ônibus urbanos ou BRT. Essa experiência foi relatada em artigo de uma edição anterior da revista Concreto e Construções.

4. CONCEPÇÃO DO PROJETO EXPERIMENTAL – TESTES ANTERIORES E AMPLIAÇÃO DA PESQUISA

No ano de 2010 foram construídas

quatro seções de PCCA, no caso, de curta extensão, rompendo-se com a tradição rodoviária no exterior. Conscientes das necessidades de melhorias para corredores urbanos de ônibus (transporte público), os docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP empenharam-se para os primeiros testes, visando extensões típicas de paradas de ônibus urbanos, situações em que pavimentos asfálticos e mesmo pavimentos de concreto simples, muitas vezes, não são os mais adequados. O Prof. Marco Antonio de Aguirra Massola, então prefeito do campus da USP em São Paulo, proporcionou a possibilidade de vários estudos de pavimentação com a reconstrução da Av. Prof. Almeida Prado, entre o terminal de ônibus e o monumento a Ramos de Azevedo. Além dos pavimentos em blocos intertravados na maior parte do trecho, quatro seções de PCCA foram construídas com variação nas taxas de armaduras transversais em cada uma delas. Estudos sobre esses experimentos são disponíveis na Revista Concreto e Construções e na Revista RIEM, ambas do IBRACON.

As experiências no exterior comumente relatam os padrões de fissuração encontrados nesses pavimentos, que funcionam fissurados, e isto é de fundamental importância para o leitor compreender o conceito de PCCA



► **Figura 1**

Seção transversal do PCCA concebido com 200 m de extensão contínua

e para não ocorrerem juízos de valor equivocados sobre essa fissuração de retração. O padrão de fissuração está bem descrito para países de clima temperado e depende de uma série de fatores, como tipo de cimento, tipo de agregado, taxa de armadura longitudinal, condições ambientais predominantes durante a construção, tipos de bases (asfáltica causa menos fissuração, por exemplo). O espaçamento entre fissuras é fundamental para a modelagem numérica dessas estruturas, pois não há método mecanicista de dimensionamento genérico e aplicável a todas condições. Essa consciência há décadas leva à pesquisa de pavimentos de concreto específica para as condições brasileiras, o que normas e procedimentos importados não possuem competência e abrangência para tratar.

Isso encaminhou para a necessidade de construção de placa longa, que tivesse ao menos 150 m para proporcionar uma fissuração coerente com a realidade construtiva rodoviária (a produção diária de faixas de pavimentação). Para tanto, foi concebido um trecho experimental de 200 m de extensão, que seria inicialmente construído ou em grande avenida, ou em corredor de ônibus ou em rodovia, ou mesmo em aeroporto, se possível fosse. Tratativas para implantação desse trecho experimental tiveram início em 2012, buscando-se possível interesse para pavimentação de corredores urbanos. Em 2013/2014 a Confederação Nacional dos Transportes selecionou esse projeto (dentre outros) de interesse para rodovias e buscou inicialmente financiá-lo no que tange à contratação de pesquisadores; por entraves legais tais financiamentos não foram autorizados pela Advocacia Geral da União (AGU). Buscou-se então por al-



Disposição das armaduras contínuas

ternativas urbanas e rurais, com tráfego de veículos comerciais, para a implantação do projeto. O projeto básico do PCCA ficou estabelecido como apresentado na Figura 1.

5. HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO DAS PARCERIAS – UM EMPREENDIMENTO INÉDITO NA PESQUISA RODOVIÁRIA

Em meados de 2014, representantes do Instituto de Metais não Ferrosos (ICZ), juntamente com a Votorantim Metais e a Votorantim Siderurgia, que haviam se interessado pela concepção das seções experimentais construídas na USP em 2010, procuraram o Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, quando então teve início uma parceria, que acabou trazendo vários interessados para a viabilização de um projeto de grande porte, que se daria ou em área rural ou urbana. Por diversas razões o projeto foi viabilizado no campus da USP em São Paulo, sendo que sua implantação ocorreu em janeiro de 2016.

Para a implantação da faixa de ônibus de 3,4 m de largura, paralela à Raia Olímpica da Cidade Universitária (Av. Prof. Mello Moraes), com início na para-

da de ônibus Psicologia II, era necessária a escavação do pavimento existente já bastante deteriorado. Essa tarefa foi organizada pela Construtora OAS, bem como a recompactação do subleito e a compactação da base em brita graduada simples (BGS). A imprimação da base (com emulsão asfáltica) e a colocação de fôrmas ficou a cargo da Prefeitura do Campus da Capital. O fornecimento de BGS para execução da base teve a parceria da Serveng Mineração e da Construtora Noberto Odebrecht.

O desmoldante para as fôrmas foi fornecido pela Grace, bem como o produto de cura do concreto. A Votorantim metais forneceu o zinco para galvanização que, por sua vez, ocorreu na empresa Bbsoch em Jundiaí. A Votorantim Siderurgia forneceu os vergalhões de aço em parte cru e em parte galvanizados. A Votorantim Cimentos forneceu os cimentos CP II F 40 e CP IV 32 RS. A Engemix forneceu os agregados virgens e reciclados para a confecção das misturas de concreto, por ela mesmo executadas. A Engenharia de Pisos executou a instalação de armaduras e o adensamento e acabamento do concreto com sua equipe.



Aspecto superficial após texturização do concreto

É importante notar que todos os parceiros tinham interesse no projeto e entenderam perfeitamente a necessidade do experimentalismo em situação real de emprego do PCCA. Os parceiros tinham inclusive interesses distintos, porém complementares, com efetiva participação no projeto. Como na moral final de uma das fábulas de Esopo: “Não se pode construir uma sociedade se não existirem interesses comuns”.

6. CONSTRUÇÃO DA PISTA EXPERIMENTAL

A construção da pista experimental com PCCA reproduzindo processo construtivo rodoviário ocorreu em 26 e 27 de janeiro de 2016. Na semana anterior havia sido realizada a escavação do pavimento asfáltico deteriorado, a recompactação do subleito e a exceção da base em BGS. Após a colocação das fôrmas, as armaduras continuamente dispostas foram instaladas, com meia seção empregando aço galvanizado e outra

meia seção empregando vergalhões comuns (ambos com 20 mm e aço CA-50). A concretagem se deu de modo contínuo e sem paradas no dia 27 de janeiro, consumindo aproximadamente 10 horas.

Empregou-se régua vibratória para o acabamento superficial. A cura foi realizada com a aplicação de duas camadas de filme de produto com base parafínica, espaçadas de quatro horas, que foi protegida por manta plástica em toda a extensão. Após isso, por três dias, três vezes ao dia, a superfície foi umedecida com aspersão de água de reuso. A liberação ao tráfego local foi prevista para trinta dias após a concretagem. Cada uma das quatro seções de 50 m emprega um diferente concreto, resultante de combinação dos cimentos (CP II e CP IV) e dos agregados (parcialmente reciclados ou virgens).

7. RESULTADOS FUTUROS ESPERADOS

Os estudos e pesquisas que se se-

guirão sobre a pista ao longo dos próximos meses e anos serão:

- ▶ Comportamento de fissuração de retração em função das variáveis de projeto;
- ▶ Análise de transferência de cargas entre fissuras por método não destrutivo;
- ▶ Análise de variabilidade de espessura de concreto e de posicionamento do aço por meio de tomografia com ondas de baixa frequência;
- ▶ Análise de requisitos de desempenho do concreto, incluindo medidas de módulo de elasticidade, em amostras coletadas bem como por retroanálises de deformações causadas por cargas de impacto;
- ▶ Análise de aberturas de fissuras ao longo de estações climáticas;
- ▶ Instrumentação de pista com *strain gages* para análise de respostas das estruturas a cargas rodoviárias típicas;
- ▶ Análise de aderência dos aços aos concretos empregados;
- ▶ Análise de irregularidade superficial ao longo dos anos;
- ▶ Análise dos efeitos da texturização com vassouras na irregularidade longitudinal;
- ▶ Modelagem numérica do experimento e calibração de modelos de cálculo de tensões em função dos padrões de fissuração ocorridos;
- ▶ Análise de corrosão de armaduras.

A transferência do conhecimento para a sociedade será possível com o estabelecimento de critério de projeto estrutural para PCCA, nas condições ambientais brasileiras. ➤

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Salles, L. S. ; Balbo, J. T. . Análise Comparativa da Eficiência de Transferência de Cargas em Pavimentos de Concreto Simples e Continuamente Armados. *Concreto & Construção*, v. 79, p. 48-58, 2015.



Concreto autoadensável em regiões costeiras de clima quente

CARLOS F. A. CALADO – DOUTORANDO | AIRES CAMÕES – PROFESSOR-DOUTOR

CTAC, UNIVERSIDADE DO MINHO - PORTUGAL

PAULO HELENE – PROFESSOR-DOUTOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

I. INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA no Brasil e SCC internacionalmente) já vem sendo aplicado há aproximadamente 20 anos e vem se tornando alternativa tecnicamente viável para aplicação em lugar do concreto convencional vibrado (CC). Atualmente, constata-se que os estudos sobre o SCC avançaram muito e já é possível responder a quase todas as indagações acerca do comportamento do SCC frente ao CC, vantagens e possíveis desvantagens nos aspectos técnicos de aplicação e utilização.

No entanto, Rich *et al* [1] estudaram a aceitação do SCC entre os empresários da construção civil do Reino Unido e concluíram que as pesquisas, à época, desenvolviam estudos específicos do material em questão, sem apresentar outros benefícios e conceitos aos construtores, a exemplo de como, quando e onde aplicar SCC, importando para a tomada de decisão dentro do planejamento do processo, bem como o tempo de construção. Ou seja, o SCC deveria ser visto como um método e não apenas como mais um material.

Para os construtores aplicarem SCC nas suas obras, o tempo disponível entre o início da mistura e a conclusão do adensamento nas fôrmas, quando então se inicia a cura, representa um importante desafio a ser atendido. O SCC, para a manutenção da autoadensabilidade, necessita atender os requisitos de fluidez, capacidade de preenchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação. O tempo inicial de pega, juntamente com a consistência e coesividade do concreto fresco, determinam o tempo de duração em que a mistura permanece num período de dormência, plástica e trabalhável, podendo ser manuseada e aplicada no canteiro de obra. Para regiões com clima seco e temperatura mais elevada, caso da região de Recife (Pernambuco, Brasil), o tempo disponível para aplicação do SCC fresco pode ser reduzido com relação a outros tipos de regiões [2].

O CAA obtido na região de Recife provém de composições que associam conteúdo de adições minerais com os aditivos plastificantes. Os plastificantes são aditivos redutores

de água e modificadores de viscosidade, enquanto que os superplastificantes têm efeitos sobre a dispersão de partículas de cimento por meio de repulsão estérica e/ou eletrostática, com características de elevada redução de água. A adsorção do aditivo pode estender a manutenção da fluidez através da dispersão das partículas de cimento, mas a concentração de íons sulfato, proveniente do gipsita que controla a pega do cimento, na solução pode ajudar a reduzir a intensidade desse efeito estérico do polímero. A temperatura mais elevada provoca rápida taxa de hidratação inicial, conduzindo a uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação dentro da pasta. Então, o concreto aplicado e curado a alta temperatura endurece mais rápido, mas apresenta resistências menores em relação aos aplicados e curados em temperaturas mais baixas. [2,3,4].

A durabilidade do concreto sofre influências adversas que envolvem o transporte de fluidos e gases através dos poros do concreto, além de outros fatores, como relação água/cimento, temperatura, grau de hidratação,

adições minerais, porosidade capilar e permeabilidade [2,5]. A região metropolitana do Recife, cidade litorânea, capital do estado de Pernambuco, com 3,9 milhões de habitantes (julho/2014), combina condições especialmente agressivas para estruturas de concreto armado, tais como: valores médios anuais para temperatura máxima igual a 29,1°C, umidade relativa do ar igual a 79,8%, precipitação pluviométrica de 2.417,6mm, horas de sol igual a 2.550,7h, além da atmosfera marinha em face de estar situada ao bordo do oceano. Trata-se, portanto, de um ambiente propício para a deterioração precoce por despasse e corrosão das armaduras. A quantidade das obras de concreto que não atingem a idade prevista no projeto tende a ser mais elevada, caso medidas mitigadoras não sejam adotadas nas etapas de projeto, execução e manutenção [6].

Dessa forma, o presente artigo objetiva apresentar estudos em concretos e em pasta de SCC e de CC, representativas daquelas usualmente aplicadas na

► **Tabela 1 – Tipos de pastas e concretos aplicados em Lab_P e Lab_AP**

Pasta SCC e Concretos aplicados	
Pasta CAA – (CV+MK+SP+P+A)	CAA L-AP3 – (CII+Ar+B1+SP+A)
CAA L-P – (CV+MK+Ar+B1+B2+SP+P+A)	CC L-P – (CV+MK+Ar+B2+P+A)
CAA L-AP1 – (CII+Ar+B2+SP+P+A)	CC L-AP4 – (CII+Ar+B2+SP+P+A)
CAA L-AP2 – (CIV+Ar+B2+SP+P+A)	CC L-AP5 – (CIV+Ar+B2+SP+P+A)

Onde: C_v = cimento CP-V ARI; C_{ii} = cimento CP-II F 32; C_{iv} = cimento CP-IV 32 RS; A = água; SP = superplastificante; P = plastificante; MK = metacaulim; Ar = areia; B1 = brita 12.5mm; B2 = brita 19.1mm.

região de Recife, de modo a demonstrar que, apesar das condições locais desfavoráveis, é viável a aplicação de SCC em regiões costeiras de clima quente, desde que o SCC seja entendido e consumido como um processo, e não apenas como um novo material.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Método de dosagem, ensaios aplicados, constituintes e composições

Os estudos se desenvolveram a partir de um conjunto de ensaios aplicados em pastas, concreto fresco e

concreto endurecido, em duas frentes de trabalho: (1) em laboratório de pesquisa (L-P); (2) no laboratório do canteiro de obra da Arena Pernambuco (L-AP), localizado na região metropolitana do Recife, inaugurada em 2013, e onde foram aplicados 23.200 m³ de SCC, e 34.800m³ de CC.

Na pesquisa aqui apresentada, através de ensaios em pasta representativa de concreto fresco, SCC e CC, buscou-se obter indicadores do tempo disponível de trabalhabilidade para execução das operações de concretagem em diferentes temperaturas (25°C, 32°C, 38°C e 45°C).

Os ensaios aplicados à pasta de SCC e concretos frescos foram:

► **Tabela 2 – Quadro resumo dos ensaios aplicados, composições, temperaturas e idades**

Ensaio	Composição	Temperatura (°C)	Idade (dias)
AV	Pasta CAA	25, 32, 38, 45	Inicial
REp	Pasta CAA	25, 32, 38, 45	Inicial
CM	Pasta CAA	25, 32, 38, 45	Inicial
Es e t ₅₀₀	CAA L-P; CAA L-AP1; CAA L-AP2; CAA L-AP3	32	Inicial
At	CC L-P; CC L-AP4; CC L-AP5	32	Inicial
RC	CAA L-P; CAA L-AP1; CAA L-AP2; CAA L-AP3; CC L-P; CC L-AP4; CC L-AP5	32	3, 7, 14, 28, 56, 90
IC	CAA L-P; CC L-P	32	28, 90
AB	CAA L-P; CAA L-AP1; CC L-P; CC L-AP4	32	28, 90
AC	CAA L-P; CC L-P	32	28, 90
REc	CAA L-P; CC L-P	32	3, 7, 28, 56, 90
IV	CAA L-P; CAA L-AP1; CC L-P; CC L-AP4	32	28, 90
CA	CAA L-P; CC L-P	32	28, 90

► Tabela 3 – Composições da pasta CAA (SCC) e dos concretos aplicados em (L-P) e (L-AP)

Constituintes	Unid	Pasta CAA	CAA	CC	CAA			CC	
			L-P	L-AP1	L-AP2	L-AP3	L-AP4	L-AP5	
CP-V ARI	g	459,8	419	416	–	–	–	–	–
CP-II F 32	g	–	–	–	499	–	532	451	–
CP-IV 32 RS	g	–	–	–	–	525	–	–	476
Metacaulim	g	40,2	36	36	–	–	–	–	–
Areia	g	–	947	661	856	778	732	815	681
Brita 12.5mm	g	–	227	–	–	–	778	–	–
Brita 19.1mm	g	–	529	1028	830	798	–	917	946
Água	g	225,3	205	203	199	236	215	180	214
Superplastificante	g	5,7	5	–	4,49	5,25	3,76	1,80	1,90
Plastificante	g	4,6	4,2	2,6	2,99	4,20	–	2,71	3,81
Relação (a)/l ⁽¹⁾	–	0,451	0,45	0,45	0,40	0,45	0,40	0,40	0,45
Relação (a+aq)/l ⁽²⁾	–	0,471	0,471	0,455	0,414	0,468	0,411	0,409	0,462
Relação (SP+P)/a ⁽³⁾	–	0,046	0,045	–	0,038	0,040	–	0,025	0,027
Relação (SP)/a ⁽⁴⁾	–	–	–	–	–	–	0,017	–	–
Relação (P)/a ⁽⁵⁾	–	–	–	0,013	–	–	–	–	–
f _{ck}	MPa	–	40	40	40	40	40	40	40
Espalhamento	mm	–	> 700	–	> 700	> 700	> 700	–	–
Abatimento	mm	–	–	120±20	–	–	–	140±20	140±20

⁽¹⁾ Relação água/ligante, onde ligante = cimento + adição metacaulim; ⁽²⁾ Relação (água+aditivo químico)/ligante; ⁽³⁾ Relação (superplastificante+plastificante)/água;

⁽⁴⁾ Relação (superplastificante)/água; ⁽⁵⁾ Relação(plastificante)/água

Agulha de Vicat (AV); Resistividade elétrica em pastas (REp); Cone Marsh (CM); Espalhamento (*slump-flow*) (Es) e t_{500} ; Abatimento (*slump*) (At). Os ensaios aplicados aos concretos endurecidos, envolvendo os temas de resistência e durabilidade, na temperatura de 32°C, foram: resistência mecânica à compressão (RC); difusão de íons cloreto (IC); absorção de água por capilaridade (AB); ascensão capilar (AC); resistividade elétrica em concreto (REc); índice de vazios (IV); e carbonatação acelerada (CA). A pasta de SCC e os diferentes tipos de concretos estão indicados na Tabela 1.

A Tabela 2 apresenta os ensaios aplicados na pesquisa, para a pasta SCC e as composições de concreto adotadas,

bem como as diferentes temperaturas e idades de cada uma das composições, em cada um dos ensaios.

A Tabela 3 apresenta as composições da pasta CAA (SCC) e dos concretos, SCC e CC, aplicados nos ensaios no laboratório de pesquisa (L-P) e no laboratório do canteiro de obra da Arena Pernambuco (L-AP).

2.2 Obtenção dos corpos de prova utilizados nos ensaios da pesquisa

Os corpos de prova (CPs) foram obtidos em atendimento à ABNT NBR 5738:2015 quanto ao procedimento para moldagem e cura. Após essa etapa, os CPs CAA L-P e CC L-P foram

armazenados em câmara úmida até o momento de realização dos ensaios. A câmara úmida foi mantida à temperatura de $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$, com umidade relativa do ar superior a 95%. Já os CPs CAA L-AP1, CAA L-AP2, CAA L-AP3, CC L-AP4 e CC L-AP5, foram conservados em área coberta do laboratório da obra, protegida com uma lona para evitar a perda de água e, 24h após a concretagem, os CPs foram desmoldados, quando então receberam a identificação e foram conservados nos tanques de cura até a idade de rompimento.

2.3 Normas aplicadas para a realização dos ensaios

As pastas e os concretos fres-



► **Figura 1**
Tanque para cura dos CPs



► **Figura 2**
Tanque de água e hidróxido de cálcio

cos tiveram as temperaturas controladas, para assegurar os valores propostos de 25°C, 32°C, 38°C e 45°C, seja através de resfriamento ou aquecimento dos constituintes e da mistura. Os concretos endurecidos foram ensaiados à temperatura média de 32°C. A Tabela 4 expõe os experimentos realizados e as normas de referência.

2.4 Procedimento do ensaio de resistividade elétrica em pastas

O ensaio buscou avaliar o comportamento da passagem de corrente elétrica no fluido cimentício durante um tempo determinado, bem como as variações de resultados para as diferentes tempe-

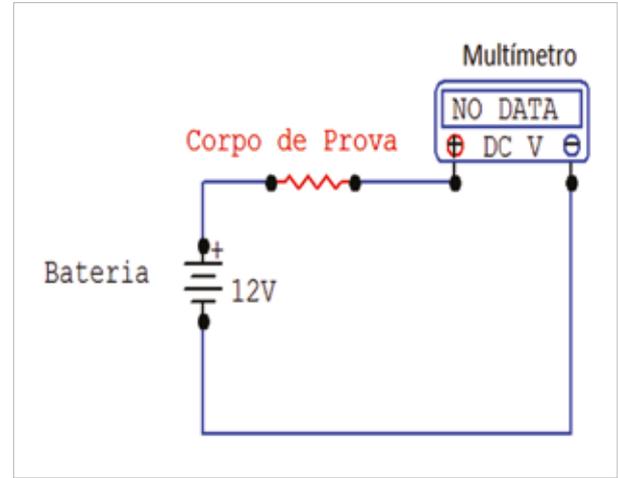
raturas escolhidas. Dessa forma, a presente pesquisa desenvolveu um aparato muito simples e de fácil implementação em canteiro de obra, com objetivo de aferir o tempo de início de pega de um concreto através da medida da resistividade elétrica, conforme comprovado nos estudos de Zongjin *et al.* (2007) [8]. As Figuras 3 e 4

► **Tabela 4 – Normas aplicadas para a realização dos ensaios**

	Ensaio	Normas aplicáveis
Pastas e concretos frescos	Agulha de Vicat	NBR NM 43:2003 NBR NM 65:2003
	Resistividade elétrica	NBR 9204:2012
	Cone de Marsh	NBR 7681-2:2013
	Espalhamento e t_{500}	NBR NM 33:1998 (obtenção das amostras) NBR 15823-2:2010 NBR 15823-1:2010 (avaliação dos resultados)
Concretos endurecidos	Resistência mecânica à compressão	NBR 5738:2003 NBR 5739:2007
	Difusão de íons cloreto	ASTM C1202:1997
	Absorção de água por capilaridade e ascensão capilar	NBR 9779:2012
	Resistividade elétrica	RILEM TC154-EMC (2003) CEB Bulletin D'Information no 192 (1989)
	Índice de vazios	NBR 9778:2009
	Carbonatação acelerada	RILEM TC056-CPC-18 (1988)



► **Figura 3**
Aparato para realização dos ensaios



► **Figura 4**
Diagrama elétrico esquemático

mostram o aparato e o esquema do diagrama elétrico aplicado.

3. RESULTADOS

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de Agulha de Vicat, Resistividade elétrica e Cone de Marsh. Esses ensaios permitiram avaliar a trabalhabilidade do CAA através do desempenho da pasta CAA (C+MK+SP+P+A) com o aumento da temperatura e do tempo decorrido após início da mistura. A Tabela 5 apresenta ainda os resultados dos ensaios de Espalhamento (*slump-flow*) e Abatimento (*slump*),

onde foi possível avaliar diferenças de trabalhabilidade entre o CAA e CC (composições das Tabelas 2 e 3) com o aumento da temperatura, para o mesmo tempo inicial de medição após mistura.

As Figuras 5 a 8 apresentam gráficos de resistividade elétrica da pasta CAA ao longo do tempo, obtidos através dos ensaios de Vicat, Resistividade e Cone de Marsh, nas temperaturas de 25°C, 32°C, 38°C e 45°C.

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam gráficos de perda de desempenho em função da temperatura, calculados a partir dos resultados de espalha-

mento, abatimento e t_{500} , respectivamente. Apresentam-se, também, as perdas percentuais de desempenho relativamente à temperatura padrão, considerada igual a 32°C.

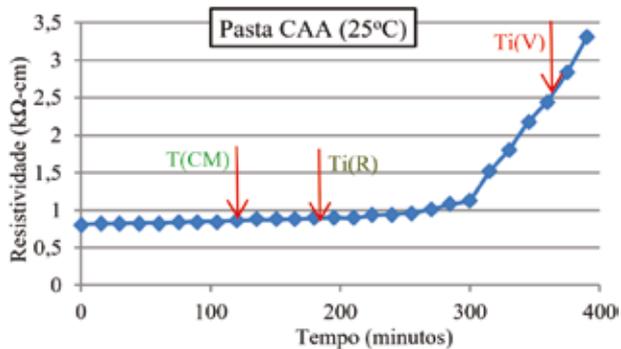
A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de Resistência mecânica à compressão (RC), e dos ensaios de durabilidade: Difusão de íons cloreto (IC), Absorção de água por capilaridade (AB), Ascensão capilar (AC), Resistividade elétrica em concreto (REc), Índice de vazios (IV) e Carbonatação acelerada (CA), para concreto endurecido, conforme Tabela 2.

A Figura 12 apresenta o gráfico

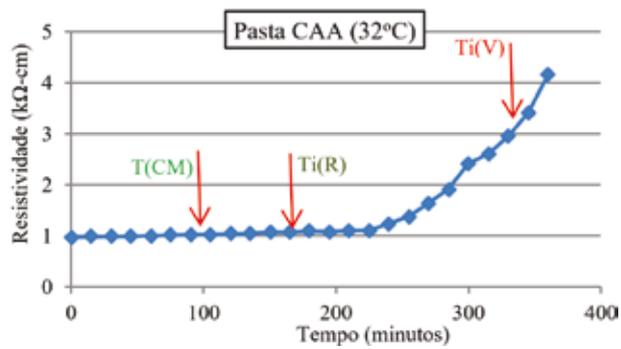
► **Tabela 5 – Resultados de Vicat, Resistividade, Cone Marsh, Espalhamento e Abatimento**

Resultados	Composição	Unid	Temperatura (°C)			
			25	32	38	45
Ti(V)/Tf(V)	Pasta CAA	(h)	6,15/8,92	5,54/8,07	3,88/5,74	3,31/4,89
Ti(R)/Tf(R)	Pasta CAA	(h)	3,1/4,7	2,72/3,91	2,41/3,26	2,40/3,24
T(CM)	Pasta CAA	(h)	2,0	1,5	1,25	1,25
V(Es)	CAA	(mm)	728	725	717,5	713
V(At)	CC	(mm)	120	118	115	112
V(t_{500})	CAA	(s)	1,80	1,78	1,72	1,69

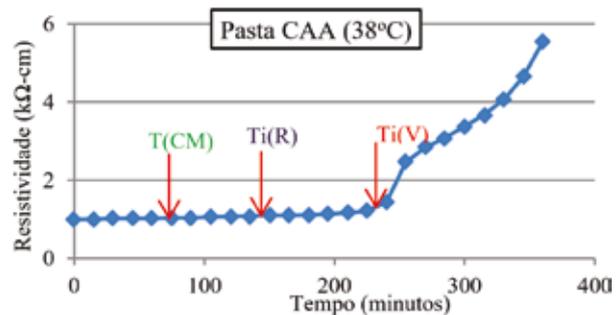
Ti(V) = tempo de início de pega por Vicat; Tf(V) = tempo de fim de pega por Vicat; Ti(R) = tempo de início de pega por Resistividade; Tf(R) = tempo de fim de pega por Resistividade; T(CM) = tempo de ensaio em que a pasta deixou de fluir pelo Cone Marsh; V(Es) = valor medido do espalhamento; V(At) = valor medido do abatimento; V(t_{500}) = valor medido do tempo t_{500} .



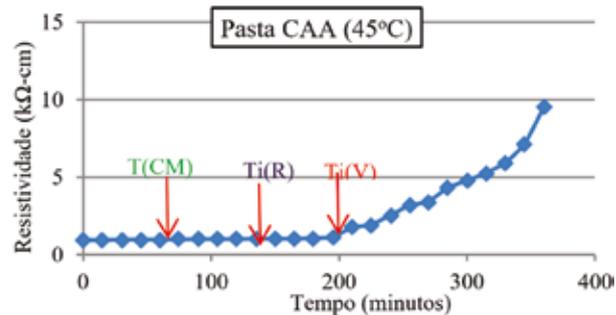
► **Figura 5**
Resultados pasta CAA para 25°C



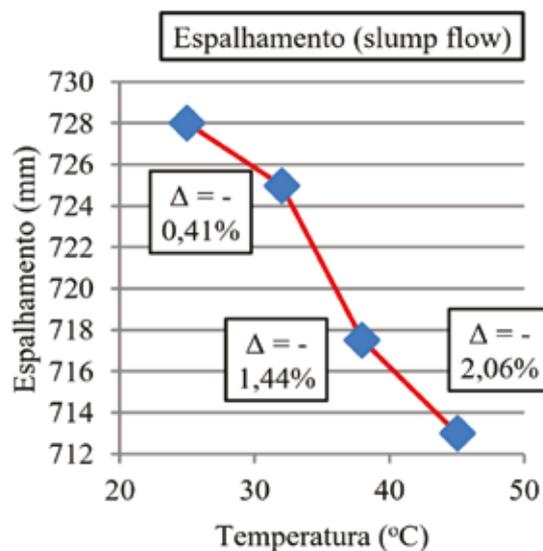
► **Figura 6**
Resultados pasta CAA para 32°C



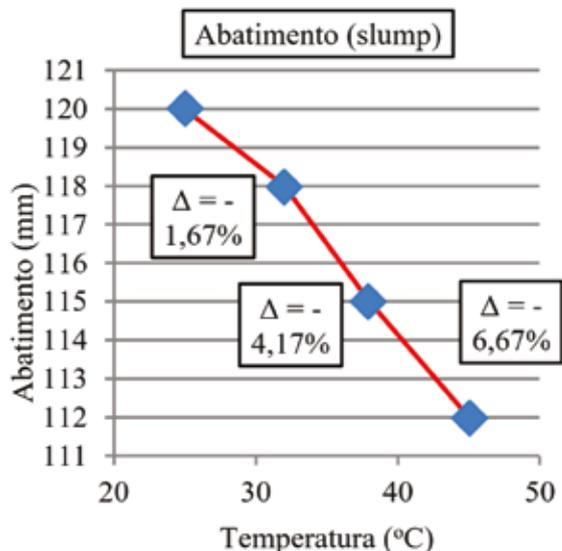
► **Figura 7**
Resultados pasta CAA para 38°C



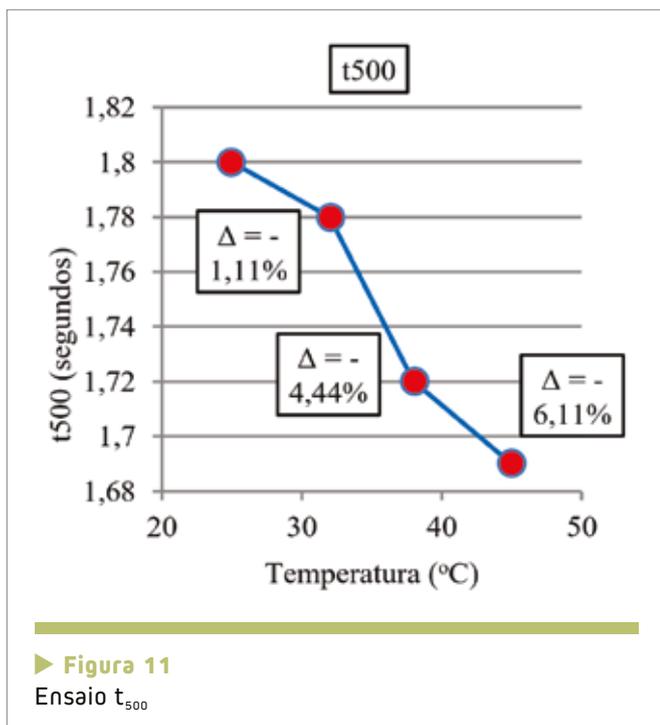
► **Figura 8**
Resultados pasta CAA para 45°C



► **Figura 9**
Espalhamento



► **Figura 10**
Abatimento



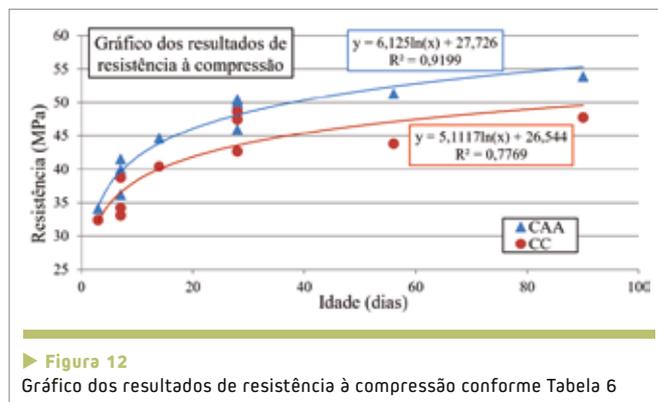
dos resultados de resistência à compressão dos sete tipos de composições de concreto, quatro de CAA e três de CC, conforme os ensaios de resistência aplicados ao concreto endurecido. As curvas de tendência foram obtidas simplesmente ajustando-se aos resultados experimentais apresentados na Tabela 6.

O gráfico da Figura 13 apresenta a correlação dos resultados de resistência à compressão com os resultados de resistividade elétrica nas mesmas idades ensaiadas: 3, 7, 28, 56 e

as mesmas idades ensaiadas de 28 e 90 dias, conforme apresentado na Tabela 6. Observe-se que a relação CC/CAA foi superior a 1,0 para todos os ensaios de durabilidade, tanto aos 28 dias quanto aos 90 dias, com exceção do ensaio de resistividade elétrica.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados na Tabela 5 e visualizados nos gráficos apresentados nas Figuras 5 a 11 permitiram concluir que, efetivamente,



90 dias, conforme apresentado na Tabela 6.

O gráfico da Figura 14 apresenta o comparativo dos resultados de ensaios de durabilidade para

houve redução do tempo de trabalhabilidade disponível. Essa redução se deu pelo aumento da temperatura e também do tempo decorrido após mistura dos constituintes. A pasta de CAA aplicada nos ensaios era uma pasta com uso conjunto de aditivos químicos plastificante e superplastificante, com adição de metacaulim, com relação água/ligante de 0,451 e (água+aditivo químico)/ligante de 0,471. Seria possível considerar que a redução dos tempos disponíveis de trabalhabilidade da pasta e dos concretos se deu por consequência da perda de desempenho dos aditivos químicos com o tempo e com o aumento da temperatura.

Verificou-se, também, que os resultados de tempo de início de pega por Vicat se aproximaram mais dos

► **Tabela 6 – Resultados dos ensaios de resistência e durabilidade para concreto endurecido**

Comp.	Idade (dias)	Ensaio						
		Resist.	Durabilidade					CA (mm)
			RE (MPa)	IC (Coulomb)	AB (%)	AC (%)	REc (kΩ.cm)	
CAA – L-P	3	33,98	–	–	–	11,0	–	–
CAA – L-P	7	36,19	–	–	–	17,8	–	–
CAA – L-P	14	44,69	–	–	–	–	–	–
CAA – L-P	28	45,86	900	8,22	10,7	37,3	13,07	8,75
CAA – L-P	56	51,24	–	–	–	53,6	–	–
CAA – L-P	90	53,88	828	4,88	7,5	64,8	8,86	5,75

► Tabela 6 – Resultados dos ensaios de resistência e durabilidade para concreto endurecido (continuação)

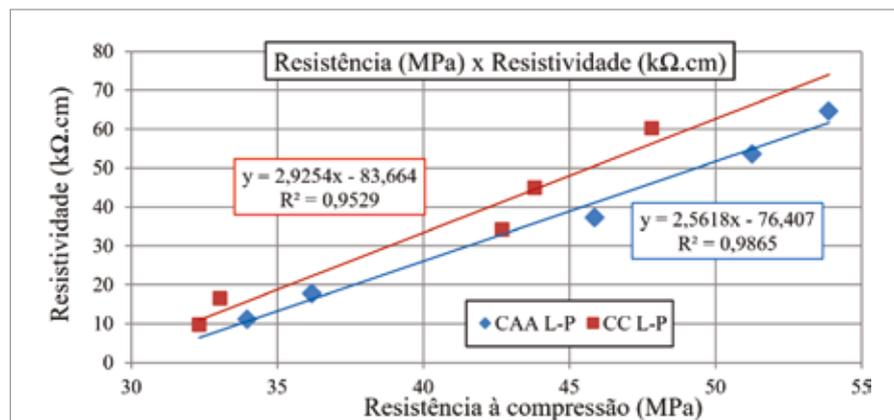
Comp.	Idade (dias)	Ensaios							
		Resist.	Durabilidade					IV (%)	CA (mm)
			RE (MPa)	IC (Coulomb)	AB (%)	AC (%)	REc (kΩ.cm)		
CC – L-P	3	32,32	–	–	–	9,7	–	–	
CC – L-P	7	33,03	–	–	–	16,5	–	–	
CC – L-P	14	40,39	–	–	–	–	–	–	
CC – L-P	28	42,69	1517	8,36	20,0	34,2	14,97	13,97	
CC – L-P	56	43,80	–	–	–	45,0	–	–	
CC – L-P	90	47,83	1250	5,85	13,3	60,4	10,24	8,87	
CAA	7	40,0	–	–	–	–	–	–	
L-AP1	28	50,0	–	8,50	–	–	8,99	–	
CAA	7	39,4	–	–	–	–	–	–	
L-AP2	28	49,8	–	–	–	–	–	–	
CAA	7	41,6	–	–	–	–	–	–	
L-AP3	28	50,5	–	–	–	–	–	–	
CC	7	38,7	–	–	–	–	–	–	
L-AP4	28	48,6	–	8,92	–	–	10,59	–	
CC	7	34,2	–	–	–	–	–	–	
L-AP5	28	47,5	–	–	–	–	–	–	

indicadores de perda de trabalhabilidade obtidos por Resistividade (mudança acentuada de declividade da curva nos gráficos das Figuras 5 a 8) e Cone de Marsh (tempo T(CM), onde a pasta deixou de fluir) para as temperaturas mais elevadas, de 38 e 45°C. O indicador de desempenho do Cone de Marsh foi o de menor tempo com relação aos indicadores de Vicat e Resistividade para as quatro temperaturas ensaiadas. O segundo menor tempo foi obtido pelos indicadores de Resistividade, ficando por último os indicadores de Vicat. Os tempos de início e fim de pega do ensaio de Agulha de Vicat são referenciados para pastas de consistência normal, cimento e água. A presença dos aditivos químicos demonstrou que esses tempos são afetados, o que foi confirmado pelos indicadores de Resistividade e Cone de Marsh. Ressalte-se que a correlação entre os resultados

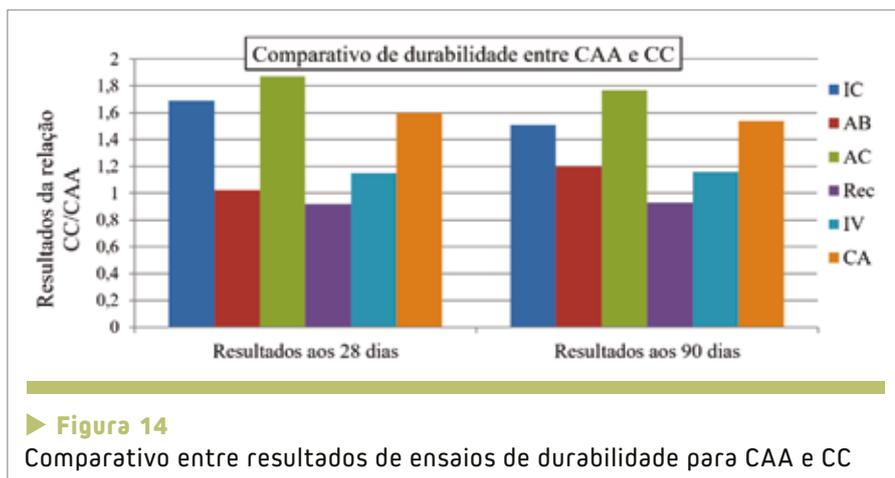
de início e fim de pega obtidos através de Vicat com os resultados de resistividade elétrica em pasta, usando um aparato original e simples, passível de aplicação em laboratório de canteiro de obra, mostrou-se compatível com os demais resultados de ensaios em pasta, a exemplo do Cone de Marsh. Dessa forma, comprovou-se o es-

tudo desenvolvido por Zongjin *et al.* (2007) [8].

As Figuras 5 e 6 mostraram que, para as temperaturas de 25 e 32°C respectivamente, os indicadores de fluidez por Marsh e início de pega por Resistividade aconteceram quando a pasta ainda não havia manifestado a alteração marcante na mudança de



► Figura 13
Correlação entre resistividade elétrica e resistência à compressão



► **Figura 14**
Comparativo entre resultados de ensaios de durabilidade para CAA e CC

comportamento da resistividade, enquanto que o início de pega de Vicat aconteceu quando a curva de resistividade já havia sofrido forte alteração de comportamento. Por outro lado, as Figuras 7 e 8 mostraram que, para as temperaturas de 38 e 45°C respectivamente, os indicadores de fluidez por Marsh e início de pega por Resistividade mantiveram o mesmo comportamento, enquanto que o início de pega por Vicat aconteceu exatamente no tempo em que a curva de resistividade sofreu a forte alteração de comportamento, passando para trecho ascendente de elevada inclinação.

As Figuras 9, 10 e 11 mostraram graficamente que, para o tempo inicial, sem acréscimo do tempo após mistura, variando apenas a temperatura, houve indicativo de pequena perda de desempenho nos ensaios de Espalhamento, Abatimento e t_{500} . Possivelmente os aditivos químicos não haviam perdido desempenho apenas com o acréscimo de temperatura.

Dessa forma, verificou-se que a temperatura reduziu o tempo disponível de trabalhabilidade. No entanto, a variável tempo decorrido após mistura, associada ao acréscimo da tem-

peratura, de fato provocou as maiores reduções dos indicadores de desempenho de trabalhabilidade. Assim, pode-se recomendar aos construtores que adequem o tempo necessário para a realização de todas as etapas de concretagem ao tempo efetivamente disponível, com base nos estudos de composições de pastas de concretos para uso no estado fresco.

Quanto à Tabela 6 e à Figura 12, considerando-se a idade de referência de 28 dias, foi possível estabelecer a média $f_{c28} = 49,04$ MPa para as quatro composições de CAA e a média $f_{c28} = 46,26$ MPa para as três composições de CC, representando melhor desempenho de resistência de 6% do CAA em relação ao CC. Analisando-se as sete composições apresentadas na Tabela 3, verificou-se que as composições adotadas para CAA e CC guardaram certa similaridade e utilizaram os mesmos constituintes, tendo evidência a maior quantidade de aplicação dos aditivos químicos no CAA com relação ao CC. Assim, poderia ser estabelecida a hipótese de que os aditivos tenham contribuído para uma maior densificação da matriz ligante ou tenham melhorado a hidratação do cimento, além do fato do CAA conter maior quantidade de

agregados finos, provocando aumento no resultado final da resistência do CAA com relação ao CC.

Como expõe a Tabela 6, em todos os ensaios de durabilidade o SCC apresentou desempenho um pouco superior ao CC.

As Figuras 13 e 14 confirmaram a expectativa do aumento da resistência com o aumento da idade do concreto, bem como dos indicadores de durabilidade, devido à diminuição da porosidade, associada à contínua hidratação do cimento.

Para difusão de íons cloreto, quanto maior a carga passante em Coulombs, maior será a penetração de íons cloreto, o que acarretará redução da durabilidade do concreto e suas armaduras. Esse melhor desempenho do SCC pode ser explicado pelo material apresentar-se melhor selado internamente que o CC. Os ensaios de absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios mostraram que o CAA ou SCC se apresentou mais denso, homogêneo, e menos poroso que o CC nas primeiras idades, com possibilidade de manutenção dessa tendência ao longo da vida útil dos concretos nas idades mais avançadas.

O melhor desempenho do SCC no ensaio de Resistividade Elétrica pode ser também explicado pela microestrutura mais densa ou por uma maior perda de umidade ao longo do tempo, decorrente de uma maior porosidade interconectável (menor durabilidade). Já o ensaio de carbonatação acelerada, ao demonstrar melhor indicador de durabilidade para o CAA, poderia confirmar que o SCC apresenta maior empacotamento das partículas, resultando em menor porosidade e estrutura de poros mais finos, como

também faz com que a rede de poros seja mais intrincada, dificultando a penetração do CO₂.

Finalmente, os estudos, ensaios e resultados obtidos, demonstraram

que houve indicadores positivos de viabilidade técnica da aplicação de SCC em lugar de CC, mesmo em regiões costeiras de clima quente, que representam ambiente naturalmen-

te mais agressivo, tanto nos aspectos de trabalhabilidade do concreto fresco, quanto nos aspectos de resistência e durabilidade do concreto endurecido. ➤

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] RICH, D., WILLIAMS, D., GLASS, J., GIBB, A. and GOODIER, C., To SCC or Not To SCC? UK Contractor's Views. Theme: Production and Placement of SCC - 6th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete and the 4th North American Conference on the Design and Use of SCC, 26 to 29 September, 2010, Montreal, Canada. (Pg. 669 – 676).
- [02] Soroka, I. (2004) Concrete in Hot Environments, Published by E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK, pp. 179-200.
- [03] Camões, A. (2005) Influência da presença de adições minerais no comportamento do betão fresco em composições com incorporação de superplastificantes. Revista de Engenharia Civil-Universidade do Minho, N. 23, pp. 19-30.
- [04] Ghafoori, N.; Diawara, H. (2010) Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, N. 24, pp. 946-955.
- [05] De Schutter, G. (2012). Durability. Proc. of Joint IBRACON-RILEM Course on SCC. 54^o IBRACON, Maceió, Brazil, October.
- [06] Pade, C.; Kaasgaard, M.; Jönsson, U.; Munch-Petersen, C. (2013) Comparison of durability parameters of self-compacting concrete and conventional slump concrete designed for marine environment. Proc. of Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Illinois, USA, May 12-15.
- [07] Boggio, A. J. (2007) Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: PPGE/UFRGS.
- [08] Zongjin, L.; Xiao, L.; Wei, X. Determination of Concrete Setting Time Using Electrical Resistivity Measurement. Journal of Materials in Civil Engineering 2007.19:423-427.
- [09] Tutikian, Bernardo & Dal Molin, Denise. CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL. São Paulo, Pini, 2008, ISBN 978-85-7266-211-6, catálogo remissivo 08-08836CDD-620.136, código engenharia: 620.136.



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



Prêmio Saint-Gobain de Arquitetura – Habitat Sustentável anuncia vencedores

Em sua terceira edição, o Prêmio Saint-Gobain de Arquitetura – Habitat Sustentável anunciou os melhores projetos em arquitetura, urbanismo, design de interiores, engenharia e tecnologia da construção, entre os 796 projetos inscritos.

Criada em 2013, a premiação reconhece os trabalhos de maior destaque que focam aspectos econômicos, sociais e ambientais, constituindo-se em soluções e práticas inovadoras. “Esta premiação reforça para o mercado a importância dos materiais

de construção para estimular a criatividade e as possibilidades técnicas dos profissionais do setor em desenvolver projetos que combinam eficiência energética, consumo responsável de recursos naturais, assim como o bem-estar e conforto dos seus usuários”,

► Categoria Profissional/ Modalidade Empresarial



1º lugar e Melhor dos Melhores

Projeto: Aliah Hotel
Profissional: João Paulo Payar
Escritório: Arkiz

2º lugar

Projeto: Complexo Multiuso
Profissional: Celso Rayol
Escritório: Cité Arquitetura

► Categoria Profissional/ Modalidade Residencial



1º lugar

Projeto: Habitação Estudantil
Profissional: Marcelo Consiglio Barbosa
Escritório: Barbosa & Corbucci Arquitetos
Associados

2º lugar

Projeto: Habitat Belagua
Profissional: Christian Renato D’Abruzzo
Escritório: Intrió Arquitetos

► Categoria Profissional/ Arquitetura de Interiores

CRÉDITO: DIVULGAÇÃO



1º lugar

Projeto: Reforma Residência Urbana
Sustentável Manduri
Profissional: Lucas Buitoni

2º lugar

Projeto: Restaurante Olga Nur
Profissional: Paula Zasnicoff Cardoso

► Categoria Profissional/
Modalidade Institucional



1º lugar

Projeto: Edifício anexo do BNDES
Profissional: Daniel de Barros Gusmão
Escritório: Daniel de Barros Gusmão Arquitetos Associados

2º lugar

Projeto: Uma Escola Urbana Sustentável
Profissional: João Batista Martinez Corrêa
Escritório: JBMC Arquitetura e Urbanismo

► Categoria Estudante



Projeto: Habitação Emergencial para Refugiados em Clima Quente e Seco
Estudante: Fábio Jessé Manuela
Orientadora: Cristienne Magalhães Pereira Pavez
Instituição: Centro Universitário Tupy (Unisociesc)

avaliou o presidente da Saint-Gobain para Brasil, Argentina e Chile, Thierry Fournier.

A premiação é dividida nas categorias Profissional e Estudante. Na categoria Profissional, pode participar escritórios ou profissionais graduados, de forma individual ou em equipe, nas modalidades Residencial (projetos de arquitetura para edificações de uso residencial ou misto), Empresarial (projetos de arquitetura para edificações de uso comercial, serviço ou industrial), Institucional (projetos de arquitetura para edificações institucionais, como hospitais, museus, órgãos públicos, entre outras, e projetos de urbanismo ou infraestrutura para áreas urbanas) e Arquitetura de Interiores (projetos de arquitetura de interiores desenvolvidos para

novas edificações ou reformas de quaisquer tipo). Já, na categoria Estudante, pode participar universitários dos cursos brasileiros de graduação em arquitetura e engenharia civil, com trabalhos finais de graduação ou trabalhos de conclusão de curso, aprovados ou não em banca examinadora.

O julgamento dos projetos inscritos aconteceu em duas etapas. Na primeira, a Comissão de Seleção, que foi integrada pelo arquiteto premiado pelo IBRACON em 2015 como destaque do ano, Nadir Mezerani, selecionou sete projetos finalistas para cada modalidade, totalizando 28 projetos para a Categoria Profissional e sete para a Categoria Estudante. Na segunda etapa, a Comissão escolheu e classificou os dois melhores projetos finalistas em cada moda-

lidade da Categoria Profissional e o melhor projeto na Categoria Estudante. Por fim, entre os projetos que classificados em primeiro lugar, a Comissão de Premiação escolheu o mais representativo sob o aspecto da inovação para a sustentabilidade, para ser eleito como o “Melhor dos Melhores”.

A premiação aconteceu no último dia 05 de março, oferecendo aos primeiros colocados da Categoria Profissional R\$ 20 mil, troféu e diploma, e R\$ 10 mil para os segundos colocados nesta categoria. O ganhador da Categoria Estudante recebeu um MacBook Pro, troféu e diploma. Já, o Melhor dos Melhores foi premiado com uma viagem para a França, para conhecer o Domolab, centro de inovação do Grupo Saint-Gobain.

Avanços na Normalização Técnica Brasileira de Concreto e Construções

ENG^a INÊS BATTAGIN

SUPERINTENDENTE DO ABNT/CB-18 E DIRETORA TÉCNICA DO IBRACON

Nesta primeira edição de 2016 da Revista Concreto e Construções do IBRACON apresenta-se um resumo dos trabalhos de normalização concluídos em 2015 e o estágio de desenvolvimento de alguns projetos de normas de interesse.

Vale sempre lembrar que as Normas Técnicas são elaboradas pela sociedade para uso dessa mesma sociedade, consistindo em valiosas ferramentas de trabalho, pois textos de normas padronizam procedimentos, facilitam a verificação de requisitos, diminuem a variabilidade, promovem a segurança e também a melhoria da qualidade, com consequente redução de custos e aumento da produtividade, gerando condições ideais para o entendimento entre produtores, consumidores e demais intervenientes no processo construtivo.

Para atingir a meta de mais de 500 Normas Brasileiras publicadas em 2015, muitas pessoas se mobilizaram e atuaram nas Comissões de Estudo da ABNT, representando empresas, entidades e organismos que acreditam que a sociedade se fortalece ao estabelecer os requisitos técnicos para produtos e serviços.

Os interessados podem participar dos trabalhos de normalização em dois momentos principais:



Teste de permeabilidade de bloco de concreto

- no desenvolvimento dos Projetos de Norma, no âmbito das Comissões de Estudo da ABNT;
- pelo envio de sugestões aos Projetos de Norma na Consulta Nacional, no site da ABNT (<http://www.abntonline.com.br/consultanacional/>).

De forma a apresentar um resumo dos principais temas tratados no âmbito do concreto e suas aplicações, a relação de Normas Brasileiras apresentada a seguir é apenas um extrato do total de documentos publicados em 2015, das quais se faz uma síntese com comentários para incentivar o meio técnico a conhecê-las e aplicá-las.

Mais informações podem ser ob-

tidas no site da ABNT (<http://abnt.catalogo.com.br/>), valendo lembrar os convênios firmados entre a entidade com outros organismos, como SEBRAE, CREA e CAU, que possibilitam a aquisição das Normas Técnicas com descontos expressivos (50% a 66%, dependendo do convênio).

I. NORMAS BRASILEIRAS PUBLICADAS EM 2015

ABNT NBR 16416:2015 Pavimento permeável de concreto

Essa Norma estabelece os requisitos mínimos exigíveis às atividades de

projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto, construídos com revestimentos de peças de concreto intertravadas, placas de concreto ou pavimento de concreto moldado no local.

Trata-se de importante contribuição ao planejamento de áreas de circulação de pedestres e veículos, visando atender a demandas de órgãos públicos na busca de soluções para problemas de drenagem nas cidades.

ABNT NBR 15805:2015

Pisos elevados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos

Essa Norma estabelece os requisitos, os métodos de ensaio e as condições de recebimento do sistema de piso elevado de placas de concreto. Aplica-se a pisos em áreas externas e internas, sendo que nesta última condição (áreas internas), deve também ser verificada a ABNT NBR 11802.

No desenvolvimento da ABNT NBR 15805 foram considerados os requisitos de desempenho da ABNT NBR 15575 (Edifícios habitacionais – Desempenho), de forma a gerar um conteúdo atual e compatível com as exigências de projetistas e construtores.

Cumprir ressaltar que o sistema de pisos elevados permite a melhor compatibilização de instalações (elétrica, hidráulica, telefonia, internet e outros), facilitando sua manutenção.

ABNT NBR 12655:2015

Concreto de cimento Portland – Preparo, controle de recebimento e aceitação

Esta Norma estabelece os requisitos para composição, preparo e controle das propriedades do concreto

fresco e endurecido, bem como determina como devem ser realizados os procedimentos de recebimento e aceitação do concreto.

A Norma é aplicável a concretos normais, pesados e leves, destinados à execução de estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para construções.

A versão de 2015 traz os seguintes aperfeiçoamentos:

- ▶ identifica de forma mais clara os procedimentos de recebimento do concreto na obra no estado fresco e a aceitação definitiva do concreto a partir dos resultados de ensaios realizados no estado endurecido;
- ▶ inclui referência a normas novas, como a ABNT NBR 7680-1 (Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto);
- ▶ atualiza referências antigas, que estabelecem adequadamente as características e propriedades dos insumos para preparação do concreto;
- ▶ contém recomendações e cuidados a serem considerados para elementos estruturais sujeitos à ação de águas agressivas (notadamente fundações), complementando os requisitos de durabilidade já incluídos em versões anteriores da Norma.

ABNT NBR 7680:2015

Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto

Essa Norma estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. É dividida em duas Partes, sendo a primeira



Equipamento extrator de testemunhos de estruturas de concreto

destinada à determinação da resistência à compressão e a segunda à resistência à tração na flexão dos testemunhos extraídos de estruturas de concreto.

A versão de 2015, traz os seguintes aperfeiçoamentos:

- ▶ estabelece como deve ser realizada a análise detalhada dos resultados de resistência à compressão dos testemunhos de estruturas, prevenindo correções nos resultados para possibilitar sua comparação com os dados obtidos a partir de corpos de prova moldados, em função das alterações sofridas pelo testemunho devido ao processo de extração;
- ▶ determina como calcular a resistência à compressão a ser considerada para a avaliação da segurança estrutural, referenciando normas de projeto para essa verificação;
- ▶ estabelece como calcular a resistência à compressão a ser considerada para verificação do atendimento aos critérios estabelecidos nos pedidos de concreto;

- ▶ traz diretrizes para aceitação definitiva do concreto, conforme prevê a ABNT NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto).

ABNT NBR 16372:2015

Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)

Essa Norma estabelece o método de ensaio para a determinação da superfície específica do cimento Portland e outros materiais em pó por meio do permeabilímetro de Blaine.

A nova versão, prevê a possibilidade de calibração da célula do aparelho de ensaio sem a utilização do mercúrio (metal pesado), considerando as exigências legais e as limitações para seu uso em laboratórios, em todo o território nacional.

2. PROJETOS DE NORMAS EM DESENVOLVIMENTO

Projeto ABNT NBR 9452 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento

Já aprovado para ser publicado como Norma Brasileira, este Projeto foi elaborado pela ABNT/CEE 169 (Comissão de Estudo Especial de Inspeções de Estruturas de Concreto), com o apoio do ABNT/CB-18 (Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados), e especifica os requisitos exigíveis na realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto e na apresentação dos resultados dessas inspeções.

O trabalho considerou os procedimentos adotados pelos órgãos nacionais que realizam a inspeção das es-



Ponte Itapaiúna sobre o Rio Pinheiros, recém-construída: a inspeção contínua e manutenção preventiva são requisitos normativos para manter seu bom desempenho. Construtora Noberto Odebrecht

truturas viárias, bem como normas de outros países e normas brasileiras que estabelecem critérios de durabilidade das estruturas de concreto.

A partir do cadastro inicial da obra de arte de engenharia (OAE) foi estabelecido um roteiro para o acompanhamento de sua vida útil, com inspeções rotineiras que visam possibilitar a realização de intervenções para correção de processos degenerativos ainda em estágio inicial e também avaliações e intervenções específicas para casos de ações extraordinárias.

O aumento da vida útil das estruturas e a redução dos custos de manutenção corretiva são alguns dos benefícios que certamente virão da implementação dos procedimentos previstos neste documento.

Projeto ABNT NBR 14885 Segurança no tráfego – Barreiras de concreto

Essa Norma especifica os requisitos mínimos exigíveis para o projeto cons-

trutivo e a implantação de barreiras de concreto para segurança no tráfego.

O Projeto ABNT NBR 14885 faz parte de um conjunto maior de documentos, relacionados na ABNT NBR 15486 (Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes de projeto e ensaios de impacto), que está em fase final de aprovação no âmbito do ABNT/CB-16 (Comitê Brasileiro de Transporte e Tráfego).

Esse trabalho teve como base Normas de outros países (especialmente Comunidade Europeia, Estados Unidos e Chile), estando alinhada às premissas internacionais de construção e implantação de barreiras de concreto e atende às exigências de segurança impostas pelos órgãos brasileiros.

Projeto ABNT NBR 9062 Projeto e execução de estruturas pré-moldadas de concreto – Procedimento

A revisão da ABNT NBR 9062



Estruturas pré-moldadas de concreto na construção de shopping

estabelece os requisitos para o projeto, a execução e o controle de estruturas de concreto pré-moldado, armado ou protendido e se aplica também às estruturas mistas ou compostas. Distingue os elementos pré-moldados dos pré-fabricados, estabelecendo condições específicas de projeto, produção e controle de execução. O Projeto de Revisão está em Processo de Consulta Nacional (<http://www.abntonline.com.br/consultanacional/>).

Projeto IB:600.19-001
Painéis pré-moldados de concreto

Estabelece os requisitos e procedimentos a serem atendidos no projeto, na produção e na montagem de painéis de parede pré-moldados de concreto, com ou sem função estrutural, classificados em função de sua seção transversal em maciços, alveolares, reticulados mistos, sanduíche, nervurados ou de pa-

rede dupla. Esse Projeto está em Consulta Nacional (<http://www.abntonline.com.br/consultanacional/>).

Projeto ABNT NBR 15116
Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos

A necessária atualização do conteúdo desta Norma, em função da nova legislação e do acentuado crescimento do setor de reciclagem, tem trazido importantes questões para a mesa de discussões. A Comissão de Estudo, que congrega representantes de todas as classes de representação, tem buscado um entendimento harmônico dos problemas e caminhado no sentido do desenvolvimento de um trabalho que premie a técnica e possibilite a melhoria contínua do aproveitamento dos resíduos.

Projeto ABNT NBR 19783
Aparelhos de apoio de elastômero fretado – Especificação e métodos de ensaio

Esta Norma estabelece os requisitos para aceitação ou rejeição de aparelhos de apoio de elastômero fretado e os métodos de ensaios de compressão, distorção e deslizamento.

Encontra-se em fase adiantada de desenvolvimento o Projeto de Revisão da Norma, considerando novas tecnologias e avanços no campo dos aparelhos de apoio para estruturas de concreto, com base especialmente na Norma Europeia EN 1337 sobre o tema.

Projeto IB:600.04-001
Alvenaria de blocos de concreto – Métodos de ensaio

Este Projeto de Norma estabelece o procedimento de preparo e os métodos de ensaio de elementos em alvenaria construídos com blocos de concreto (prisma, pequena parede e parede), submetidos a esforços de



Ensaio em parede de blocos de concreto

compressão axial, cisalhamento, flexão e flexo-compressão.

A decisão de agrupar os ensaios de alvenarias de blocos de concreto visa facilitar o controle de obras e homogeneizar procedimentos, além de atualizar o conteúdo técnico das normas atualmente em vigor.

Alguns pontos foram revistos nos procedimentos de ensaios, como a inclusão da apresentação de gráficos de tensão vs deformação, e não força vs deslocamento, em diferentes ensaios. No ensaio de prisma foi incluída a necessidade de molhar os vazados dos blocos antes de eventual grauteamento e de cobrir a face superior de cada exemplar com filme plástico logo após sua execução.

Projetos de Norma de Ensaios Químicos e Físico Químicos de água visando a Durabilidade do Concreto

A durabilidade das estruturas de concreto é tema de diversas Normas Brasileiras, mas deve ter seu escopo ampliado nos próximos anos de-



Teste da capacidade passante do concreto autoadensável

vido especialmente às questões da sustentabilidade.

O conhecimento das características do meio onde será implantada uma construção permite medidas de prevenção mais efetivas e a garantia de prazos de vida útil elevados.

Especialmente no caso de estruturas enterradas, sujeitas à ação de águas agressivas, a ABNT NBR 12655 traz requisitos de composição para o concreto e indica ensaios ainda não normalizados no Brasil.

Os ensaios em desenvolvimento pela Comissão de Estudo de Ensaios Químicos e Físico-Químicos (CE 18:100.03) do ABNT/CB-18, visam cobrir a lacuna existente e aplicam-se principalmente a águas externas à estrutura, que podem intensificar desgastes prematuros ou reações deletérias.

Projeto ABNT NBR 15823 Concreto autoadensável

Após cinco anos de sua publicação, as Normas Brasileiras de concreto autoadensável estão em processo inicial de revisão no âmbito do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, ABNT/CB-18.

Com a publicação da Prática Recomendada IBRACON de Concreto Autoadensável em 2015 (trabalho desenvolvido pelo Comitê Técnico de Concreto Autoadensável do IBRACON, CT 202), muitas informações foram já compiladas, facilitando o processo de revisão da ABNT NBR 15823, composta atualmente por seis Partes.

Projeto ABNT NBR 11768 Aditivos para concreto

Tendo completado cinco anos de

sua publicação, a Norma Brasileira de aditivos para concreto teve seu processo de revisão iniciado neste primeiro trimestre de 2016 e deve ser atualizada com base nas novas tecnologias.

Paralelamente, a Comissão de Estudo do ABNT/CB-18, responsável por esse trabalho, tem a incumbência de analisar e preparar sugestões para o Projeto de Norma Internacional (ISO) sobre o tema, também em fase inicial de elaboração.

Projeto 18:600.25-001 Galeria técnica pré-fabricada em concreto para compartilhamento de infraestrutura e ordenamento do subsolo – Requisitos e métodos de ensaios

Este Projeto de Norma, em fase inicial de desenvolvimento, estabelece os requisitos mínimos exigíveis para fabricação, controle da qualidade e aceitação de peças pré-fabricadas em concreto para execução de galerias técnicas visando o ordenamento compartilhado ou não do subsolo, pela implantação de infraestrutura de serviços públicos ou privados, relacionados com telecomunicação, telefonia, fibra ótica, água fria, eletricidade e demais serviços correlatos.

Vale salientar a importância de considerar, na fase de elaboração do projeto, a compatibilidade de compartilhamento em uma rede ou galeria técnica dos diferentes serviços e seus respectivos espaços ocupados (posicionamento), de forma a facilitar processos de implantação e, especialmente, manutenção. 

Workshop sobre concreto reforçado com fibras

O Comitê Técnico IBRACON/ABECE 303 - Uso de Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras vai realizar o 1º Workshop sobre Concreto Reforçado com Fibras (CRF) para aplicações estruturais no dia 08 de abril, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Seu objetivo é aprofundar o conhecimento sobre as tendências em normalização do CRF e divulgar as atividades desenvolvidas pelo Comitê.

O evento é voltado aos profissionais de empresas envolvidas com projeto, execução de obras e fornecimento de materiais, bem como pesquisadores interessados no CRF. Veja programação na tabela 1.

O evento é gratuito e as inscrições devem ser feitas no site www.abece.com.br.

► Tabela 1 – Programação

Palestra	Ministrante
Caracterização e especificação de fibras destinadas ao reforço de concreto	Antonio Figueiredo POLI/USP
O CRF como material estrutural e diretrizes de projeto	Marco Carnio FEC/PUC CAMPINAS – EVOLUÇÃO Engenharia
Métodos de ensaio para a caracterização do CRF como material estrutural	Renata Monte POLI/USP
A experiência normativa do CRF na América do Norte	Carlos Máximo Aire UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
A experiência normativa do CRF na Europa	Giovanni Plizzari UNIVERSITY OF BRESCIA/ITÁLIA
Perspectivas do uso de macrofibras poliméricas para reforço do concreto	Dean Forgeron VIAPOL
Perspectivas do uso de fibras de vidro para reforço do concreto	Fábio Saráo OWENS CORNING
Perspectivas do uso de fibras de aço para reforço do concreto	Gelmo Chiari BELGO BEKAERT
Horizontes da normalização do CRF no Brasil	Mesa-redonda

Atividades na Bahia

A Regional do IBRACON na Bahia vai realizar, por meio do Laboratório de Argamassas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, de 16 a 20 de maio, a 4ª Semana “Pensando em Concreto”, que vai discutir e divulgar as pesquisas relacionadas à tecnologia do concreto, com ênfase na especificação e no controle

tecnológico do concreto com vistas a assegurar a qualidade, resistência e durabilidade das estruturas de concreto armado.

No evento será promovido um concurso entre estudantes de Engenharia Civil na Bahia nos moldes do Concurso Técnico COCAR do IBRACON – Concurso Concreto Colorido de Alta Resis-

tência, cujo objetivo é testar a habilidade dos competidores na preparação de concretos coloridos e resistentes.

Na Regional está programado também o 6º Seminário de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Católica de Salvador (UCSAL), que objetiva divulgar aos estudantes e profissionais a importância da correta e sustentável aplicação dos materiais de construção, bem como disseminar o conhecimento de normas técnicas relacionadas.

O local do 6º Seminário será no campus Pituauçu da UCSAL. A data será em breve divulgada.

Os eventos são voltados para empresários e profissionais de Engenharia Civil e Arquitetura, técnicos e estudantes da área.



Seminário Paranaense de Obras Civis

Com a participação de mais de 1200 profissionais e estudantes, a Regional do IBRACON no Paraná realizou a segunda edição do Seminário Paranaense de Obras Civis (2º SPOC), de 01 a 04 de março, no auditório do Instituto de Engenharia do Paraná. O 2º SPOC foi idealizado pelo Grupo IDD e contou com o apoio do Instituto de Engenharia do Paraná, Sinduscon do Paraná e IBRACON.

Foram 12 palestras, três debates e duas mesas-redondas voltados aos temas “Estruturas”, “Concreto e Patologia”, “BIM” e “Arquitetura”, que trouxeram palestrantes de renome nacional e internacional, para compartilhar ideias e debater temas atuais da construção civil. Ponto alto no evento

foi a demonstração pelo arquiteto norte-americano, Julio Collado, da Trimble, do “Laser Sanner – As Built”, equipamento que mapeia e analisa informações complexas rapidamente, melhorando a eficiência do processo construtivo.

“Foram quatro dias intensivos nos quais foram tratados temas polêmicos e atuais da engenharia e da arquitetura. Estiveram presentes renomados profissionais do mercado e da academia, que apresentaram e



Prof. César Daher em momento de sua palestra no 2º SPOC

debateram sobre as possibilidades técnicas para o enfrentamento da crise que estamos passando”, avaliou o diretor de planejamento do IDD e diretor técnico regional do IBRACON, Eng. César Daher.



Segmento Infraestrutura

**Mais do que obras,
construímos parcerias
para toda vida.**

Uma parceria de verdade é construída com confiança. No conhecimento que gera alta performance, no compromisso do início ao fim da obra, no desenvolvimento de produtos para sua necessidade, na segurança do resultado, na presença onde você precisa e na experiência em vencer desafios.

*Esses são os pilares da **Votorantim Cimentos** para atender **grandes obras de infraestrutura** e construir parcerias para toda vida.*



Votorantim
Cimentos



- TRANSPORTE
- ENERGIA
- MOBILIDADE URBANA
- PAVIMENTAÇÃO
- SANEAMENTO
- SOLUÇÕES CUSTOMIZADAS

Concursos Técnicos IBRACON

O Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON organiza anualmente Concursos Técnicos para os estudantes de Arquitetura, Engenharia Civil e Tecnologia. Seu objetivo é incentivar os alunos a pôr em prática o que aprenderam nas salas de aula por meio de uma

competição saudável entre os cursos de engenharia do Brasil e do exterior.

Em breve serão disponibilizados no site www.ibracon.org.br os Regulamentos do 23º Concurso Aparato de Proteção ao Ovo (APO), 13º Concrebol, 3º Concurso Colorido de Alta Resistência (Cocar) e 9º Concurso Ousadia.

O APO desafia o estudante a projetar e construir um pórtico de concreto armado, que seja capaz de resistir ao impacto vertical de uma carga dinâmica crescente. Já, o Concrebol espera que os alunos construam uma bola (esfera) de concreto leve, com dimensões pré-estabelecidas, resistente, homogênea e que role em tra-

jetória retilínea. Por sua vez, o Cocar testa a habilidade dos competidores na preparação de concretos resistentes e coloridos de corpos de prova cúbicos com 10 cm de aresta. Por fim, o Ousadia provoca os estudantes a elaborarem um projeto básico de uma obra que seja um marco arquitetônico para a região onde acontece as edições do Congresso Brasileiro do Concreto, fórum nacional de debate sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos.

A premiação dos vencedores neste ano vai acontecer no Minascentro, em Belo Horizonte, no Jantar de Confraternização do 58º Congresso Brasileiro do Concreto, que ocorrerá de 11 a 14 de outubro. ➤



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

6ª Brazil Road Expo

- Data: 29 a 31 de março
- Local: São Paulo Expo Exhibition
- Realização: Clarion
- Informações: www.brazilroadexpo.com.br

Feicon Batimat 2016

- Data: 12 a 16 de abril
- Local: Anhembi – São Paulo
- Realização: Reed Exhibitions Alcantara Machado
- Informações: www.feicon.com.br

88º Encontro Nacional da Indústria da Construção

- Data: 11 a 13 de maio
- Local: Foz do Iguaçu – PR
- Realização: CBIC
- Informações: www.cbic.org.br/enic

2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

- Data: 18 a 20 de abril
- Local: Belém – Pará
- Realização: Alconpat Brasil
- Informações: <http://alconpat.org.br/cbpat2016/>

IX Congresso de Pontes e Estruturas

- Data: 18 a 20 de maio
- Local: Rio de Janeiro – RJ
- Realização: Abece/ABPE
- Informações: www.abece.org.br

Construction Expo 2016

- Data: 15 a 17 de junho
- Local: São Paulo Expo Exhibition
- Realização: Sobratema
- Informações: www.sobratema.org.br

7º Congresso Brasileiro do Cimento

- Data: 20 a 22 de junho
- Local: Maksoud Plaza – São Paulo
- Realização: ABCP/SNIC
- Informações: www.7cbci.com.br

8ª Conferência Internacional sobre Manutenção, Segurança e Gerenciamento de Pontes

- Data: 26 a 30 de junho
- Local: Foz do Iguaçu – PR
- Realização: IABMAS
- Informações: www.iabmas2016.org

International Conference on alkali-aggregate reaction

- Data: 3 a 7 de julho
- Local: São Paulo – SP
- Realização: IBRACON
- Informações: <http://ibracon.org.br/icaar/>



58 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

BELO HORIZONTE . MG . 11/10 a 14/10 . 2016

Ponto de encontro dos profissionais e das
EMPRESAS BRASILEIRAS DA CADEIA PRODUTIVA DO CONCRETO

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

Informações e prazos para submissão
www.ibracon.org.br

COTAS DE PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- ▶ Excelentes oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- ▶ Espaços comerciais na XII Feira Brasileira das Construções em Concreto (Feibracon)
- ▶ Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- ▶ Inscrições gratuitas no evento

Sobre os Planos de Investimento, informe-se: Tel. (11) 3735-0202 ou e-mail:
arlene@ibracon.org.br

REALIZAÇÃO



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olimpia
CEP 05542-120 – São Paulo – SP – Brasil
Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

 www.ibracon.org.br

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice