



## PAVIMENTOS DE CONCRETO

# DIMENSIONAMENTO, DESEMPENHO E DURABILIDADE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO COM FIBRAS



### PERSONALIDADE ENTREVISTADA

LUIZ GUILHERME  
RODRIGUES DE MELLO:  
ANÁLISES ASSERTIVAS  
PARA APLICAÇÃO  
DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### 66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

SAIBA OS TEMAS MAIS  
DISCUTIDOS E AS PRINCIPAIS  
ATIVIDADES DO MAIOR FÓRUM  
TÉCNICO SOBRE O  
CONCRETO NO PAÍS

### ENTIDADES PARCEIRAS

CONHEÇA OS  
DEZ PROJETOS  
PREMIADOS PELA  
ABCIC EM 2025

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

## ADITIVOS



BUILDING TRUST



## ADIÇÕES



## PROTENSÃO



## ARMADURA



## RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



## EQUIPAMENTOS



## ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



## ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



# JUNTE-SE A ELAS

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

## PRÉ-FABRICADOS



## CONCRETO



## CONTROLE TECNOLÓGICO



## FIBRAS



## FÓRMAS



## CONSTRUTORAS



## CIMENTO



## GOVERNO



## EVENTOS



# SUMÁRIO

## 66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

12 Profissionais apontam caminhos para a emergência climática



23 Premiações profissionais

27 Concursos estudantis

31 Lançamentos editoriais

34 Eleição do Conselho Diretor e da Diretoria do IBRACON

## ESTRUTURAS EM DETALHES

38 Dimensionamento de pavimentos de concreto reforçado com fibras

43 PUC como solução técnica e sustentável em loteamentos: caso Smart Urban Vila Profeta



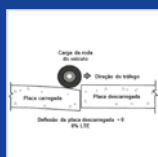
47 Evolução dos Métodos de Classificação de Pavimentos Aeroportuários: do Sistema ACN/PCN ao ACR/PCR

## PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

55 Compósitos cimentícios e whitetopping: estratégias para reabilitação de pavimentos urbanos

60 Inovação na pavimentação: aplicação de placas pequenas de concreto em vias urbanas

64 Desempenho de Pavimentos concreto reforçado com fibras: Análise da Transferência de Carga com Métodos Não Destrutivos



### CAPA

VISTA DA RODOVIA 101 NE ENTRE O RIO GRANDE DO NORTE E A PARAÍBA

FONTE: DNIT

## Seções

- 5 EDITORIAL
- 6 COLUNA INSTITUCIONAL
- 7 CONVERSE COM O IBRACON
- 8 PERSONALIDADE ENTREVISTADA: LUIZ GUILHERME R. DE MELLO
- 35 ENTIDADES DA CADEIA
- 51 MANTENEDOR
- 71 ENCONTROS E NOTÍCIAS
- 73 ACONTECE NAS REGIONAIS



### REVISTA OFICIAL DO IBRACON

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

ISSN 1809-7197

Tiragem desta edição: 2.500 exemplares | Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

#### EDITOR-CHEFE

→ Prof. Enio Pazini Figueiredo

#### JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luis Pedroso — MTB 41.728  
fabio@ibracon.org.br

#### PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

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

As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

© Copyright 2025 IBRACON

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



### INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Fundado em 1972

**Declarado de Utilidade Pública Estadual**

Lei 2538 de 11/11/1980

**Declarado de Utilidade Pública Federal**

Decreto 86871 de 25/01/1982

#### JULIO TIMERMAN

DIRETOR PRESIDENTE

#### PAULO HELENE

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

#### ENIO PAZINI FIGUEIREDO

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

#### CLÁUDIO SBRIGHI NETO

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

#### JOSÉ VANDERLEI ABBREU

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

#### NELSON COVAS

DIRETOR 1º TESOUREIRO

#### PAULA LACERDA BAILLOT

DIRETORA 2ª TESOUREIRA

#### ERICIO THOMAZ

DIRETOR TÉCNICO

#### MAURÍCIO BIANCHINI

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

#### PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira — MTB 21.353  
gill.pereira@gmail.com

#### ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

#### GRÁFICA

Elyon  
Preço: R\$ 12,00

#### ELYSON ANDREW POZO LIBERATI

DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

#### MARCO ANTONIO CARNIO

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES

#### TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT

DIRETOR DE EVENTOS

#### JÉSSICA MARIANA PACHECO MISKO

DIRETORA DE CURSOS

#### CÉSAR HENRIQUE SATO DAHER

DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

#### RAFAEL TIMERMAN

DIRETOR DE MARKETING

#### JÉSSICA ANDRADE DANTAS

DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

## IBRACON

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

#### PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

Enio Pazini Figueiredo

#### COMITÊ EDITORIAL MEMBROS

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

#### PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO

Ricardo Couceiro Bento (projeto estrutural)

#### PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

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

#### PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

- Marcelo Ferreira (UFSCAR)
- Marcelo H. Farias de Medeiros (UFPR)
- Margot Fabiana Pereira (UFSCAR)
- Maria Tereza da Silva Melo (UFCAT)
- Mariana Posterliti (UFMT)
- Nadia Carazim (PUC-Campinas)
- Ricardo Carrazedo (USP/São Carlos)
- Roberto Christ (UNISINOS)
- Rodrigo de Melo Lameiras (UNB)
- Rogério Carrazedo (USP/São Carlos)
- Sérgio Roberto da Silva (PUC-RS)
- Wallison Medeiros (UFCAT)
- Wellington Andrade da Silva (UFCAT)

# Tendências em pisos e pavimentos de concreto

Caro leitor,



**Q**uando se fala em pavimentação urbana ou rodoviária, a durabilidade dos pavimentos de concreto é inquestionável, como, exemplo, podemos citar a interligação das rodovias Anchieta e Imigrantes, bem como o trecho em serra da rodovia dos Imigrantes, com mais de 40 anos de uso; no meio urbano, há inúmeros exemplos de obras de sucesso como corredores de ôni-

bus, onde é aplicado rotineiramente nas paradas, mas também em toda a sua extensão. Pela sua qualidade, durabilidade e baixa manutenção, seu emprego é ainda modesto, ações vem sendo tomadas recentemente na tentativa de alavancar essa solução, por exemplo, o Pavi+ (ABCP) e ação do IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas e da ABESC - Associação Brasileira das empresas de Serviços de Concretagem, que capitanearam juntamente com a ABNT e com apoio da ABCP, a elaboração da Prática Recomendada para Pavimentos Urbanos de Concreto (ABNT PR 1011), que consolida as mais modernas técnicas de dimensionamento de pavimentos de concreto, com ênfase no pavimento Urbano, abrangendo tanto os de concreto simples como os reforçados, com telas soldadas ou fibras estruturais. Há inclusive software de dimensionamento disponibilizado gratuitamente para os usuários, em um processo simples e que, se utilizado em estrita obediência da norma, pode impulsionar o uso do pavimento de concreto no ambiente urbano.

Outra tendência que está chegando no Brasil são os pavimentos de placas curtas. Já, os pisos industriais, ou pavimentos industriais, têm apresentado notável melhoria nas últimas décadas, devido às exigências das empresas de logísticas, que passaram a operar, a partir da década de 1990, com equipamentos sofisticados, como empilhadeiras elétricas de rodas rígidas, como as trilaterais, sistemas de armazenagem auto-

portantes, que exigem elevados níveis de planicidade e nivelamento e, recentemente, sistemas robotizados tornaram os arcaicos sistemas com argamassas de alta resistência largamente utilizados até fins do século passado, quando passaram a ser predominantes os pisos monolíticos, executados com concretos adequadamente dosados e que são capazes de resistir não só aos elevados carregamentos, mas também às solicitações abrasivas desses equipamentos, por vezes com a resistência superficial incrementada com aspersões de agregados de dureza elevada e líquidos endurecedores. Modernos equipamentos executivos - as laser screed, desempenadeiras de disco duplo, espargidores a laser - começaram ser comuns na execução desse novo modelo de piso e com eles a melhoria da qualidade executiva experimentou incrementos notáveis, principalmente com a popularização do ensaio dos *F-Number*, que permite aferir a qualidade da geometria superficial em termos de dois índices: planicidade,  $F_F$  - ligada a ondulação superficial - e o nivelamento  $F_L$ , que é a relativa conformidade superficial com o plano horizontal. Hoje, várias empresas brasileiras já receberam prêmios de excelências nesse quesito, promovidas pela empresa americana que desenvolveu o sistema de medição.

Também tivemos progressos expressivos na área de dimensionamento, que permitiram a execução de projetos empregando fibras estruturais de aço ou poliméricas e otimizar o dimensionamento de pisos com tela de aço com armadura simples ou dupla; passamos de projetos empíricos para conceitos teóricos precisos. Como resultado, nossos projetos começam a se destacar em países que antes só empregavam concreto simples e, na busca de soluções sustentáveis, estão passando a ser considerados em obras no exterior. Segundo a ANAPRE - Associação nacional de pisos e revestimentos - estima-se que, em 2025, o mercado formal, aquele que a execução do piso requer projeto estrutural, concreto usinado, executado por empresas especializadas e aplicados em empreendimentos médios e de grande, será de 26,5 milhões de metros quadrados, consumindo cerca de 3,7 milhões de metros cúbicos de concreto.

**PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES**

EDITOR ASSOCIADO

## Compromisso com a ciência, a qualidade construtiva e o diálogo técnico



O 66º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Curitiba entre 28 e 31 de outubro, constituiu o maior fórum técnico nacional dedicado ao debate sobre tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos. A programação abordou temas centrais para a prática e a pesquisa na área, com ênfase em inovação, sustentabilidade, materiais avançados, durabilidade estrutural e práticas construtivas contemporâneas. A agenda incluiu Palestras Magnas e Seminários Temáticos e ministradas por conferencistas de reconhecida atuação nacional e internacional, que contribuíram para a atualização técnica e o intercâmbio entre pesquisadores, estudantes e profissionais.

A Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento assumiu a coordenação das sessões científicas e de pôsteres, a gestão das submissões, a organização dos anais e a condução dos processos de avaliação que resultaram na seleção e publicação dos trabalhos apresentados. Coube também à Diretoria a coordenação do Prêmio de Dissertação Destaque nas áreas de Estruturas e Materiais e do Concurso Artigo do Ano 2025.

Os números finais do Congresso evidenciam sua amplitude e relevância: 452 artigos aprovados; 81 trabalhos apresentados em plenárias, distribuídos em 13 sessões científicas; e 242 trabalhos apresentados em formato de

pôster, organizados em 6 sessões. O evento reuniu trabalhos de diferentes naturezas e origens, incluindo estudos técnicos, pesquisas de graduação e investigações de pós-graduação, provenientes de instituições nacionais e internacionais, o que reforçou o caráter integrador e multidisciplinar do encontro.

As Comissões Científicas responsáveis pela avaliação dos trabalhos e pela condução dos concursos ressaltaram de forma reiterada a qualidade técnica e a relevância das pesquisas submetidas. Foram igualmente registrados elogios por parte dos participantes quanto à organização do Congresso e ao nível das apresentações, evidenciando o empenho dos avaliadores e da equipe organizadora na manutenção de um ambiente científico rigoroso e acolhedor.

A programação paralela de seminários e Palestras Magnas ampliou as oportunidades de debate sobre sustentabilidade, inovação e práticas construtivas, promovendo trocas de conhecimento que fortalecem a pesquisa aplicada e a excelência técnica no setor da construção.

Expressa-se agradecimento aos autores, avaliadores, coordenadores de sessão e demais parceiros cujo comprometimento tornou possível o êxito desta edição. A Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento reafirma o compromisso com o aprimoramento contínuo dos processos de submissão, avaliação e divulgação científica, com o objetivo de promover excelência técnica e impacto social nas próximas edições do Congresso.

**PROF. DR. ELYSON ANDREW POZO LIBERATI**

**DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO, IBRACON** 

# CONVERSE COM O IBRACON

## **COMO SUBMETER SEU ARTIGO PARA A REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES?**

A Revista CONCRETO & Construções divulga pesquisas técnico-científicas, práticas de análise e projeto estrutural, atividades de normalização, sistemas construtivos inovadores, obras emblemáticas, técnicas ecoeficientes de produção, dosagem e aplicação do concreto, técnicas de reabilitação e reforço de estruturas, entres outros assuntos relacionados à tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos.

Com periodicidade trimestral, abrangência nacional e dirigida, acesso gratuito na Web, a Revista CONCRETO & Construções recebe aberta e continuamente contribuições de artigos de pesquisadores e profissionais da cadeia produtiva do concreto.

Acesse o hotsite da Revista (<https://concreteoconstrucoes.org.br/index.php/revista>) e faça a submissão de seu artigo.

No hotsite, além de poder acessar o conteúdo das edições, você encontra informações sobre o processo de avaliação, as condições para submissão, as diretrizes para os autores, inclusive a template para a formatação correta do artigo, e pode conhecer o Regulamento, os integrantes dos Comitês Editorial e Científicos, e a Política Editorial da Revista.

### **SUBMISSÃO DO ARTIGO**

Para submeter artigos ou acompanhar seu estágio no processo de avaliação,

os autores devem fazer seu cadastro e, em seguida, preencher formulário aceitando as condições para submissão e publicação.

Ao clicar no botão Nova submissão, o processo de envio do artigo é iniciado. O autor deve aceitar os requisitos para envio do manuscrito, os termos da Declaração de Direito Autoral e as condições de coleta e armazenamento de dados da Política de Privacidade do IBRACON.

Em seguida, o autor transfere o artigo no formato requerido (Word), insere os metadados do seu trabalho (título, dados dos autores, palavras-chave, resumo) e confirma o envio.

O artigo deve seguir a formatação indicada no template disponível em: [https://concreteoconstrucoes.org.br/public/Template\\_Concreto\\_construcoes.docx](https://concreteoconstrucoes.org.br/public/Template_Concreto_construcoes.docx)

### **PASSO A PASSO DO FLUXO EDITORIAL**

Uma vez no sistema, o Editor-gerente da Revista pode fazer comentários quanto à padronização linguística e ao formato do artigo antes de encaminhá-lo para avaliação técnica dos revisores.

Cabe aos presidentes dos Comitês Editorial e Científico definir um ou mais integrantes de seus comitês para revisar cada artigo submetido.

A avaliação é do tipo cega simples, na qual os autores não sabem quem são os revisores.

A avaliação do artigo pode ter mais de uma rodada, a depender da decisão editorial tomada. Em cada rodada, os autores recebem o parecer de avaliação e devem realizar os ajustes solicitados, encaminhando ao artigo revisado para nova rodada de avaliação.

A avaliação se encerra quando o presidente do Comitê Editorial ou do Científico, com respaldo do Editor-gerente, entender que todas as questões foram adequadamente respondidas e o artigo atende aos requisitos para publicação.

Os artigos aprovados seguem para a etapa de edição, quando são preparados para a etapa de editoração e diagramação. Nesta etapa, o Editor-gerente pode solicitar novos ajustes no texto e arquivos complementares, como imagens, tabelas, gráficos etc.

Por fim, os artigos diagramados são encaminhados para aprovação final dos autores, que fazem a revisão final, preenchem e assinam a Licença de Direitos Autorais, autorizando a publicação do artigo na edição.

### **EDITAIS DE CHAMADAS DE SUBMISSÃO**

Apesar de adotar um fluxo contínuo de submissão, avaliação e editoração, a revista CONCRETO & Construções faz periodicamente chamadas para submissão de artigos. Nessas chamadas são explicitados o tema de capa e as datas do processo editorial da edição em produção.



## Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

**L**uiz Guilherme é engenheiro civil pela Universidade de Juiz de Fora, mestre e doutor em geotecnia pela Universidade de Brasília, onde fez seu pós-doutorado e é professor desde 2016, ministrando disciplinas tais como: pavimentação, laboratório de geotecnia e de materiais.

Foi engenheiro nas empresas Terraplenagens Obras Rodoviárias e Construções (TORC), onde executou 2 mil metros de rede de drenagem pluvial, e Empresa de Planejamento e Logística (EPL), onde foi responsável pelo estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental

de quatro concessões rodoviárias, com participação do Banco Mundial, entre outras obras, antes de entrar no Departamento Nacional de Infraestrutura Rodoviária (DNIT), em 2004.

No DNIT, como analista em infraestrutura em transportes, participou das atividades de planejamento, gerenciamento, pesquisas e estudos, projeto e fiscalização da construção e restauração da duplicação e restauração da BR-101/NE, ponto de virada para os pavimentos de concreto em rodovias, como conta nesta entrevista.

No órgão federal, foi presidente da comissão especial de licitação para o Regime Diferenciado de Contratações (RDC), quando de sua implementação (2012/2013), gerenciou 500 contratos diretos e 50 convênios como coordenador-geral de construção rodoviária (2013-2014), e geriu contratos e convênios de R\$ 40 bilhões como diretor de infraestrutura rodoviária, maior execução financeira alcançada pelo DNIT (2014), entre outros cargos e funções.

Desde 2019, é diretor de planejamento e pesquisa no DNIT.

### **IBRACON** CONTE-NOS BREVEMENTE SOBRE SUA FORMAÇÃO E CARREIRA PROFISSIONAL.

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | Sou engenheiro civil, formado pela Universidade Federal de Juiz de Fora, em 1999. Neste mesmo ano, entrei no programa de pós-graduação em geotecnia da Universidade de

Brasília (UnB). Terminando o Mestrado em 2001, entrei no mercado de trabalho como engenheiro em empreiteiras, focado na área de construção e manutenção de rodovias. Em 2004, entrei no doutorado na UnB e passei parte do período na Arizona State University (ASU). Entrei no DNIT



“

A QUESTÃO ECONÔMICA FOI UM DOS GRANDES MOTIVADORES PARA O AUMENTO DA PRESENÇA DA SOLUÇÃO EM PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND NO DNIT

”

(Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) em 2007, já na parte final do meu doutorado, finalizado em 2008. Estou no Departamento desde então, ocupando diversos cargos como Coordenador de Obras Diretas, Coordenador-Geral de Construção Rodoviária, Diretor de Infraestrutura Rodoviária e atualmente Diretor de Planejamento e Pesquisa. Também sou professor da Universidade de Brasília desde 2016. Sou ainda Conselheiro do Conselho Rodoviário do Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal.

**IBRACON** QUANDO A PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO COMEÇOU A GANHAR DESTAQUE NOS PROJETOS DO DNIT?

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | A pavimentação em concreto no DNIT iniciou de forma mais significativa quando da construção da rodovia BR-101/NE, onde foram duplicados mais de 600 km em pavimentos de concreto nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Logo depois, os estados de Alagoas, Sergipe e Bahia continuaram com

a mesma técnica.

**IBRACON** DESTAQUE NOS PROJETOS DO DNIT? HOJE, COMO FOI A EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO NAS ENTREGAS DE OBRAS RODOVIÁRIAS FEITAS PELO DNIT?

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | O histórico demonstra que a solução em pavimento de concreto tem crescido de forma consistente desde então. Nos últimos anos tem crescido de forma muito rápida em função dos preços dos insumos asfálticos.

**IBRACON** QUAIS OS CRITÉRIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS CONSIDERADOS PELO DNIT PARA A ESCOLHA DO PAVIMENTO DE CONCRETO NAS RODOVIAS FEDERAIS?

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | O critério técnico não mudou, pois sempre adotamos modelos constantes dos nossos manuais. Contudo, a questão econômica foi um dos grandes motivadores para o aumento



Vista da Rodovia 101 NE entre o Rio Grande do Norte e a Paraíba. Fonte: DNIT

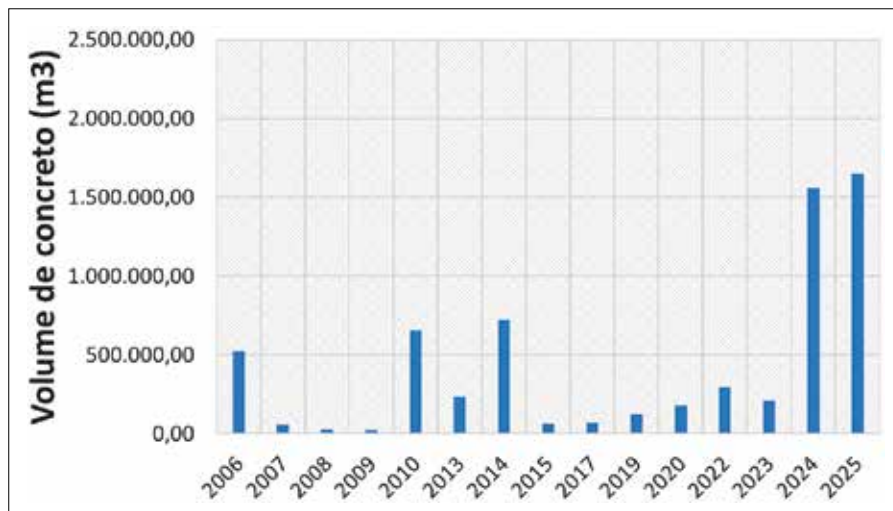
da presença da solução em pavimento de concreto de cimento Portland no DNIT.

**IBRACON** EXISTE ALGUMA DIRETRIZ NACIONAL DO DNIT PARA FOMENTAR O USO DO PAVIMENTO DE CONCRETO EM DETERMINADAS REGIÕES OU PARA CERTOS TIPOS DE TRÁFEGO? JUSTIFIQUE.

| LUIZ G. R. DE MELLO | Não existe uma diretriz formal, mas apenas a adoção de critérios técnicos e econômicos que demonstrem que, ao longo do ciclo de vida do pavimento, tenhamos soluções com menor custo total. Assim, considerando os estudos que estão sendo realizados em diferentes projetos, grande parte dos novos projetos estão tendo viabilidade para o uso de pavimentos de concreto de cimento Portland. Além disso, atualmente várias empresas executoras possuem equipamentos adequados à solução, o que não era realidade há 15 anos atrás.

**IBRACON** QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS LINHAS DE PESQUISA ATUALMENTE EM ANDAMENTO NO DNIT/IPR, RELACIONADAS A PAVIMENTOS DE CONCRETO? ESSAS PESQUISAS SÃO REALIZADAS EM PARCERIAS COM UNIVERSIDADES E ASSOCIAÇÕES?

| LUIZ G. R. DE MELLO | Temos uma linha de pesquisa



Evolução dos pavimentos de concreto em rodovias federais administradas pelo DNIT. Fonte: DNIT

junto à Universidade de São Paulo (USP). Nesta pesquisa, iremos revisitar os métodos de dimensionamento existentes para que possamos avaliar uma atualização do método que será adotado pelo DNIT. Além disso, iremos buscar novos conceitos mecânicos ligados ao impacto da temperatura nos pavimentos, por exemplo. Outras linhas estão relacionadas à atualização de documentos técnicos que deverão ser incorporados ao DNIT.

**IBRACON** QUAIS OS CÓDIGOS E NORMAS TÉCNICAS SÃO USADOS COMO REFERÊNCIA PARA O PROJETO, EXECUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO, INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DAS OAEs SOB JURISDIÇÃO DO DNIT?

| LUIZ G. R. DE MELLO | O DNIT



Fissuras longitudinais em pavimento de concreto em rodovia federal. Fonte: DNIT

“

ATUALMENTE VÁRIAS EMPRESAS EXECUTORAS POSSUEM EQUIPAMENTOS ADEQUADOS À SOLUÇÃO [PAVIMENTO DE CONCRETO], O QUE NÃO ERA REALIDADE HÁ 15 ANOS ATRÁS.

”



A PROPOSTA É AVANÇAR, CADA VEZ MAIS,  
COM O USO DE IA PARA QUE POSSAMOS  
REALIZAR ANÁLISES MAIS ASSERTIVAS  
NO PLANEJAMENTO E NA AVALIAÇÃO  
DOS NOSSOS ATIVOS



possui um banco de normas e manuais publicados em seu site (<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/normas-e-manuais/>), permitindo amplo acesso a todos os usuários. São documentos técnicos que permitem orientar os estudos e projetos desenvolvidos. Temos mais de 500 documentos técnicos publicados em nosso site.

**IBRACON** **QUAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS TÊM MAIS AFETADO AS RODOVIAS E OAES SOB JURISDIÇÃO DO DNIT? QUAIS AÇÕES TÊM SIDO TOMADAS PELO ÓRGÃO PARA EVITAR ESSAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ENTREGAS FUTURAS?**

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | As rodovias federais têm, em sua imensa maioria, camadas em revestimentos asfálticos. Por esse motivo, dois grandes defeitos aparecem, seja deformação permanente, seja algum tipo de fissura. Em relação a pavimentos de concreto, os principais problemas são: esborcinamentos, irregularidade longitudinal e alguns tipos de fissuras. Em qualquer tipo de pavimentos, o DNIT busca cumprir as melhores práticas de dimensionamento e execução, evitando os riscos de aparecimento dos defeitos.

**IBRACON** **QUAIS OS MÉTODOS DE ENSAIO PARA INSPEÇÃO DA CORROSÃO DE CABOS DE PROTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS PROTENDIDOS? QUAL É O INVESTIMENTO DO DNIT /IPR NO DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS MODERNOS DE INSPEÇÃO?**

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | Não posso contribuir com esse ponto, infelizmente.

**IBRACON** **O DNIT TEM USADO A IA NAS SUAS ATIVIDADES?**

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | Sim, o Departamento está iniciando pesquisas com o uso de IA para avaliação da qualidade de dados de planejamento. A proposta é avançar, cada vez mais, com o uso de IA para que possamos realizar análises mais assertivas no planejamento e na avaliação dos nossos ativos.

**IBRACON** **O DNIT TEM PROGRAMA IMPLANTADO DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS E OAES DE CONCRETO? QUAL É A PORCENTAGEM DE RODOVIAS MONITORADAS NO PAÍS? EXISTE PREVISÃO PARA EXPANSÃO DESSE MONITORAMENTO?**

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | Sim, o Departamento está em tratativas para contratação de produto voltado ao monitoramento em tempo real de estruturas. Existem obras pontualmente monitoradas no momento, então não podemos falar de extensão.

**IBRACON** **QUAIS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS SERÃO ESTRATÉGICAS PARA OS PRÓXIMOS 5 A 10 ANOS NA ÁREA DE PAVIMENTAÇÃO?**

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | O uso de novos equipamentos com tecnologia robótica, sem a necessidade de um operador. Acredito que teremos veículos autônomos muito em breve nas obras do DNIT. Além disso, o uso cada vez maior de ensaios e testes não destrutivos, com uso de sensores pré-instalados visando avaliações contínuas e à distância. Outra proposta que vem ganhando espaço é o uso da modelagem BIM nos projetos e obras. Certamente, esse será um processo que estaremos inseridos nos próximos anos.

**IBRACON** **QUAL SEU HOBBY NAS HORAS VAGAS?**

| **LUIZ G. R. DE MELLO** | Jogar futebol com os amigos e ir ao cinema com minha família. 🎮

# PROFISSIONAIS REUNIDOS NO 66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO **APONTAM CAMINHOS PARA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

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



Público presente na Solenidade de Abertura do 66º Congresso Brasileiro do Concreto acompanha o Hino Nacional executado pela Banda da Guarda Municipal de Araucária

**A** urbanização e a emergência climática colocam o desenvolvimento econômico e social entre dois limites: por um lado, é preciso assegurar o bem-estar da população mundial,

atualmente em 8 bilhões de habitantes, com o mínimo de recursos materiais e energéticos; por outro, não se pode ultrapassar os limites máximos de uso de recursos naturais da biosfera, para

não comprometer a manutenção da vida humana.

Para o setor construtivo, o balanço sustentável de uso de recursos naturais se

traduz pela pressão para a construção de mais moradias e obras de infraestrutura nas cidades, desde que haja diminuição progressiva de emissões de gases de efeito estufa, de outros poluentes e rejeitos, bem como de uso mais eficiente de energia e materiais.

Com este panorama de fundo, o Instituto Brasileiro do Concreto realizou a 66ª edição do Congresso Brasileiro do Concreto, em Curitiba, de 28 a 31 de outubro, com o mote “Concreto: o material do passado, do presente e do futuro”.

O Congresso bateu o recorde de inscritos, chegando a 1352 participantes de todos os estados brasileiros e de 13 países estrangeiros.

A programação do evento contou com conferências plenárias, seminários, curso de qualificação profissional, visita técnica, concursos estudantis, feira de exposição, além de apresentações de trabalhos técnico-científicos de estudantes e professores de universidades.

### MUDANÇAS CLIMÁTICAS DOMINARAM AS DISCUSSÕES

No Seminário de Sustentabilidade, o professor da Escola Politécnica Federal de Lausanne, na Suíça, David Ruggiero, apontou que a demanda prevista por moradias no mundo é equivalente à construção de uma cidade de Nova Iorque a cada mês até 2060. Por sua vez, atualmente o setor construtivo é responsável por 40% das emissões globais de carbono, considerando a produção de materiais construtivos, a execução de obras e, principalmente, sua operacionalização.

Por sua vez, a produção e execução de estruturas responde por 10% das emissões de carbono, mas, à medida que fontes fósseis forem substituídas por fontes renováveis na operação das edificações, sua participação deve cair e a da produção e execução de materiais e estruturas aumentar. Por isso, os palestrantes do 66º Congresso Brasileiro do Concreto foram unânimes em apontar a



Prof. David Ruggiero em momento de sua apresentação no Seminário de Sustentabilidade

escolha de materiais e de tipologias estruturais como crítica para descarbonizar as construções agora e no futuro.

Segundo estimativas preliminares do GBDI (*Global Building Data Initiative*), plataforma aberta para coleta, gerenciamento e análise de dados de emissões de carbono durante o ciclo de vida completo de estruturas de edificações, criada recentemente pelo *Globe Consensus on Sustainability in the Built Environment*, iniciativa interinstitucional estabelecida em 2021 para fazer avançar a sustentabilidade no ambiente construído, duas tendências aparecem nos dados: na média, os diferentes sistemas construtivos (aço, concreto, madeira e mistas) emitem cerca de 500 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>; mas há variação significativa dentro de cada sistema. Essas tendências reforçam a importância de se estabelecer bons fornecedores de materiais e de serviços de engenharia dentro de cada sistema construtivo.

Por isso, a importância de plataformas de contabilidade ambiental, como o “Benchmarking Iterativo para projetos de baixo carbono (BIPc), apresentado no Seminário de Sustentabilidade. O BIPc é uma plataforma que estima o consumo de materiais e a pegada carbono embutido de projetos de moradias (<https://bipc.org.br>). Por meio dele, projetistas e construtoras podem comparar seus projetos com o benchmarking de projetos já executados no mercado da construção. Basta importar os arquivos de softwares de

projetos ou de modelagem de informação da construção (BIM), ou inserir manualmente os dados de projeto. Assim, projetistas e construtoras podem simular versões de projeto, aproximando-as do benchmarking para seu sistema construtivo.

Na plataforma, desenvolvida pela Universidade de São Paulo, Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia e Caixa Econômica Federal, já estão cadastrados mais de 300 projetos de cerca de 2500 edificações, de mais de 70 construtoras, que usam os sistemas mais comuns no mercado nacional, como alvenaria estrutural, paredes de concreto e pórticos viga-pilar, categorizados por diferentes tipologias construtivas.

Em suas palestras no Seminário de Sustentabilidade e no IV Seminário de Edifícios Altos e Estruturas Protendidas, o diretor do escritório de projetos França & Associados, Ricardo França apresentou algumas soluções em pórticos para edifícios que reduzem a pegada de carbono. Os dados compilados por seu escritório em décadas de atuação mostram que quanto mais comprido o pórtico, melhor é seu desempenho estrutural, reduzindo consumo de concreto e, consequentemente, diminuindo emissões de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o número de pavimentos impacta no dimensionamento dos pilares e no contraventamento, aumentando as emissões de carbono. Por sua vez, lajes cogumelos com pilares-paredes são



Prof. Ricardo França em sua palestra no IV Seminário de Edifícios Altos e Estruturas Protendidas

soluções de maior impacto ambiental. “A mitigação de emissões de carbono depende fundamentalmente das tipologias arquitetônicas e estruturais”, concluiu.

França expôs como a simulação em túnel de vento de maquetes de edificações com sensores de pressão ao longo da altura é um aliado para melhores soluções estruturais. Segundo ele, a obtenção de valores precisos de esforços horizontais permite tirar pilares e diminuir a altura de vigas no projeto estrutural, redundando numa estrutura mais econômica e com menos carbono embutido. “O investimento em túnel de vento se paga”, argumentou.

Ele mostrou ainda casos de edifícios nos quais diferentes pegadas para uma mesma tipologia construtiva deveu-se aos diferentes materiais usados.

## ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Estratégias, soluções e processos para descarbonizar as estruturas foram apresentadas em outros momentos do 66º Congresso Brasileiro do Concreto.

A pesquisadora da Organização dos Países Baixos para a Pesquisa Científica Aplicada (TNO) e vice-presidente da Federação Internacional do Concreto Estrutural (*fib*), Agnieszka Bigaj-van Vliet, mostrou no 66º Congresso Brasileiro do Concreto como o *fib* Model Code 2020 e os documentos que lhe dão suporte se constituem em um arcabouço normativo que alinha a engenharia estrutural com a sustentabilidade, a circularidade e o pensamento orientado para o desempenho.

Diferentemente das versões anteriores, o *fib* Model Code 2020 considera a sustentabilidade como um requerimento de projeto, definido no capítulo 3, avaliado quanto a critérios de desempenho estrutural, social, ambiental e econômico nos capítulos 26 ao 33, e consolidado por meio de um



Profª Agnieszka Bigaj-van Vliet em momento de sua palestra no Seminário “Temas Centrais relacionados ao Código Modelo da *fib*, normas internacionais e sustentabilidade”

processo otimizado de decisão delineado no capítulo 34.

O Código-Modelo da *fib*, elaborado por meio do esforço coletivo de mais de 1400 especialistas de 67 países, se propõe a ser o texto-base para futuras normas técnicas para estruturas de concreto em todo mundo e uma referência para a pesquisa científica e tecnológica e para a educação profissional. “Esperamos que esta palestra sirva de inspiração aos participantes deste evento para o melhoramento das estruturas de concreto em seus aspectos de projeto, execução e gerenciamento de seu ciclo de vida”, finalizou Agnieszka Bigaj-van Vliet.

O ex-presidente da *fib* e professor da *University of New South Wales*, em Sidney, na Austrália, Stephen Foster, exemplificou caminhos para descarbonizar a construção. Em relação ao reuso de antigas edificações, adaptando-as para novos usos, com economia de energia e materiais, ele apresentou o caso do *Quay Quarter Tower*, o edifício readaptado mais alto do mundo. Com 45 anos, o edifício de concreto armado teve partes demolidas e a adição de novas estruturas para ser completamente remodelado.



Palestrantes Andrea Imbrenda (esq.) e Emilio Takagi (dir.) respondem perguntas da audiência, sob mediação do coordenador Enio Pazini Figueiredo no III Seminário sobre Reabilitação de Estruturas de Concreto

A reutilização de uma edificação deve começar pelo levantamento e análise de dados concernentes a ela, cuja quantidade e qualidade irão influenciar decisivamente o projeto estrutural de reuso quanto ao custo e quanto ao acerto das intervenções. No entanto, mesmo no cenário mais otimista, onde grande parte dessas informações estão disponíveis, não é possível ter um quadro completo relativo à edificação. O tema do retrofit de edificações foi exaustivamente abordado pelo diretor técnico da Proges Engineering, empresa italiana de consultoria em projeto e supervisão de estrutu-

ras complexas, Andrea Imbrenda, no III Seminário sobre Reabilitação de Estruturas de Concreto.

Segundo Imbrenda, a fase de investigação preliminar ao projeto estrutural de reabilitação envolve levantamentos geológicos, geométricos e estruturais, pesquisas de documentos relativos ao projeto original, ensaios destrutivos e não destrutivos dos materiais construtivos empregados na edificação, principalmente o concreto, além de organização, análise e interpretação dos resultados. Ele ressaltou que o concreto se degrada com o tempo de serviço e que, por isso, a investigação de seu estágio atual de deterioração é essencial, principalmente quanto à espessura de cobertura de armadura e sua porosidade, características que afetam a vida útil da edificação, pois, dependendo de seu estado, podem franquear o acesso de agentes agressivos, como gás carbônico e cloretos, para dentro da estrutura e afetar a integridade das armaduras, promovendo sua corrosão, perda de adesão ao concreto e perda de seção.

Por sua vez, a intervenção numa edificação existente varia desde o reparo de materiais deteriorados ou degradados por situações de incêndio, explosões e impactos, passando pelo ajuste de seus sistemas aos requerimentos normativos atualizados, até sua completa transformação e nova funcionalidade, como foi o caso do *Quay Quarter Tower* apresentado pelo Prof. Foster.



Prof. Stephen Foster em sua palestra na Conferência Plenária no 66º Congresso Brasileiro do Concreto

# 66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

Foster apresentou também diversos estudos de caso com uso de concretos de baixo carbono, outra estratégia de descarbonização, como o Pixelcrete, edifício construído em Melbourne com agregados reciclados e concreto de 60 MPa com menos de 40% de cimento em sua composição. “Cerca de 90% do peso do concreto provém de materiais reciclados e de rejeitos industriais”, arrematou.

Quanto à desmaterialização da estrutura, Foster trouxe o estudo da construção e avaliação do tabuleiro da Ponte sobre o Rio Langat, com 105 m de vão e em concreto de ultra-alto desempenho. Nele, foram apontados a economia de material empregado (73% menos que o concreto convencional), de energia consumida (49% menos) e de emissões de carbono (49% menos).

Em sua palestra, Foster repetiu a perspectiva comungada por outros palestrantes de que a aspiração por emissões líquidas nulas até 2050 só poderá ser alcançada

com comprometimento de pesquisadores, engenheiros, empresários e governantes com pesquisas científicas e tecnológicas de novos produtos, procedimentos e sistemas, e com sua rápida internalização em códigos e normas técnicas.

Sua exposição prezou pelo estímulo de manter sua audiência apaixonada e inventiva, em busca de novas ideias e inovações.

Outros profissionais integrantes da *fib* compuseram o Seminário “Temas Centrais relacionados ao Código Modelo da *fib*, normas internacionais e sustentabilidade”, coordenado pela sua presidente e presidente-executiva da ABCIC, Eng. Íria Doniak. Ela explicou que o “Seminário trouxe para o tradicional evento da engenharia do concreto no Brasil a ênfase no Código Modelo 2020 da *fib* sob os aspectos da sustentabilidade, inovação e normalização”.

As estratégias de redução de clínquer no cimento, de cimento no concreto, de

concreto nas estruturas e de reutilização de edificações foram também encampadas na palestra da pesquisadora da Escola Politécnica Federal de Lausanne, Karen Scrivener, que adicionou a elas a redução de emissão de CO<sub>2</sub> na produção de clínquer por meio de plantas de cimento mais eficientes e uso de combustíveis alternativos e rejeitos industriais.

Scrivener enfatizou que a redução da quantidade de clínquer no cimento é a estratégia mais promissora. Isto porque em suas pesquisas, ela desenvolveu um tipo de cimento com apenas 50% do clínquer, devido à sinergia encontrada entre a argila calcinada e o filer calcário, materiais cimentícios suplementares, capazes de substituir atenderem à demanda de produção mundial anual de cimento.

De acordo com seus estudos, o novo cimento composto desenvolvido por ela emite 40% menos CO<sub>2</sub> em relação ao cimento convencional e tem resistências mecânicas e módulo de elasticidade similares. Além disso, sua fissuração é similar e sua fluência é 50% superior à do cimento comum. No estado fresco, o cimento com argila calcinada e filer calcário apresenta coesão, não segrega nem exsuda e sua trabalhabilidade é bem controlada com água e aditivos. Quanto à durabilidade, os estudos apontaram resistência à reação álcali-agregado e melhor resistência a cloretos, sendo sua limitação a taxa de carbonatação, comparável aos demais cimentos compostos.

Segundo as estimativas apresentadas em sua palestra, o conjunto dessas estratégias de descarbonização ao longo de toda a cadeia de valor do concreto tem o potencial de reduzir as emissões de carbono em até 70%. “Podemos fazer muito com as tecnologias que já temos disponíveis. Precisamos que todas as partes da indústria trabalhem conjuntamente para implementar o conhecimento que temos, em seu potencial máximo”, avaliou.



Momento da apresentação da Prof<sup>a</sup> Karen Scrivener na Conferência Plenária do 66º Congresso Brasileiro do Concreto



Para esgotar esse potencial, um conjunto de medidas de incentivo e divulgação precisam ser tomadas, tais como: disseminar as estratégias e soluções à disposição e encorajar os intervenientes nos níveis de produção de cimento, de concreto e das estruturas a adotá-las; desenvolver ferramentas digitais que permitam calcular e comparar as soluções e possibilidades; e agregar essas estratégias e soluções aos códigos e normas técnicas.

No limite, será necessário que os diferentes segmentos do setor construtivo trabalhem em conjunto e, por isso, iniciativas como o Globe são bem-vindas e necessárias. "Precisamos agir agora e rápido!", concluiu Scrivener.

### IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS OBRAS DE ARTE

Tão importante quanto as estratégias para mitigação das emissões de carbono pelas estruturas de concreto é projetar, construir, monitorar e reforçar obras para resistir às mudanças climáticas. Este foi o tema do professor da Universidade Lusófona, em Lisboa, Portugal, Elói Figueiredo, no II Seminário de Inspeção e Manutenção de Obras de Arte Especiais.

As mudanças climáticas em curso podem caminhar para um aumento global médio da temperatura da Terra de até 2,7°C em 2100, no cenário atual de compromissos de corte de emissões de carbono dos 198 países integrantes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), com consequências devastadoras para as estruturas de concreto.

O aumento da frequência e da intensidade de ondas de calor ocasiona a maior expansão e retração dos materiais componentes das estruturas, levando a uma maior fissuração e deterioração de pavimentos, pontes e viadutos. Já, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e da umidade relativa do ar implica maior carbonatação e corrosão de armaduras dessas obras, reduzindo sua vida útil, frequentemente projetada para durar de 50 a 100 anos, em média. Inundações, deslizamentos de terra e elevação do nível do mar po-



Prof. Eloi Figueiredo em sua palestra no II Seminário de Inspeção e Manutenção de Obras de Arte Especiais

dem causar o deslocamento da posição de pontes e viadutos e, no limite, seu colapso.

Casos de colapso de pontes em diferentes regiões do planeta devido às fortes precipitações e deslizamentos de terra foram apresentados por Figueiredo em sua palestra no 66º Congresso Brasileiro do Concreto.

Este novo cenário climático e suas consequências não foram previstos nos projetos de obras de infraestrutura existentes. Por isso, o desafio atual da engenharia é planejar coordenada e racionalmente a aplicação de recursos financeiros para o reforço e reabilitação de obras de arte especiais (OAEs), adaptando-as às mudanças climáticas.

Para novas obras, o desafio é projetar e dimensionar estruturas com base em dados passados de temperatura, fissuração e deslocamento, e suas correlações, e em previsões futuras modeladas a partir desse levantamento histórico.

Com vistas à adaptação de obras de arte especiais às mudanças climáticas, a Universidade Lusófona participou, com outras universidades, do *ClimaBridge Project* (<http://climabridge.ulusofona.pt>), projeto europeu criado em 2021 para avaliar o impacto climático em pontes e indicar um mapa do caminho de estratégias de adaptação das OAEs para o novo cenário em curso.

O Projeto chegou à conclusão de que a adaptação de pontes existentes deve ser mais um parâmetro nos programas de

inspeção, monitoramento e manutenção de obras de arte de cidades e países. Entre as medidas preconizadas pelas conclusões do Projeto estão: o reforço ou proteção de fundações; o aumento do cobrimento das armaduras pelo concreto; maior uso de juntas de retração; e pintura da ponte de branco para aumentar seu albedo.

O alerta soado pelo Prof. Elói Figueiredo foi importante no contexto do II Seminário de Inspeção e Manutenção de Obras de Arte Especiais, pois dele participaram o diretor de infraestrutura rodoviária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Fábio Nunes, e o coordenador do Sistema de Gerenciamento de Estruturas (SGE), Rogério Calazans.

O Brasil possui cerca de 8 mil obras de arte especiais registradas no SGE, que integram a malha rodoviária federal administrada pelo DNIT. Quase 90% delas foi construída nas décadas de 1960 e 1970 e está no limite de sua vida útil, sem as devidas manutenções necessárias.

Rogério Calazans explicou que o SGE é uma evolução do antigo SGO (Sistema de Gerenciamento de Obras), banco de dados de inventários de obras de arte especiais, suas condições de conservação e as atividades e custos necessários para sua manutenção. A essas informações, o SGE agregou um sistema de análise de dados com base em modelos de deterioração e de avaliação de cenários de intervenção, para orientar a melhor política de gestão de OAEs.

Mas, o maior gargalo, segundo Fábio Nunes, está na contratação de serviços de

reabilitação, manutenção ou recuperação para o restabelecimento das condições de

serviço, durabilidade e de segurança de OAEs pelo DNIT, que demoram, em média, oito meses a partir da inspeção.



Diretor do DNIT, Fábio Nunes, apresentando reestruturação do PROARTE no II Seminário de Inspeção e Manutenção de Obras de Arte Especiais

Para buscar superar este gargalo, o Programa de Reabilitação e Manutenção de Obras de Arte Especiais (PROARTE) está sendo reestruturado em seus dez eixos estruturantes: normativo, recursos humanos, inspeção, monitoramento, plano de ataque, treinamento, uso de inteligência artificial, pronta resposta, contingência e autorização especial de trânsito.

Nunes expôs em detalhes como é feita a análise técnico-econômica, que estima custos paramétricos, isto é, valores por metro quadrado, considerando os indicadores de estado de conservação das obras, de porte da obra e de valor patrimonial do ativo. A análise adota 40 anos de idade média para estruturas sem registro da data de construção, 75 anos de vida útil para obras com manutenção adequada e 30 anos de vida útil após a reabilitação.

Por meio desta análise técnico-econômica, o DNIT estima um custo médio de reabilitação de R\$ 9.172,67, um custo de construção de R\$ 8.671,24 e um custo de demolição de R\$ 3.473,49 por metro quadrado.

Conforme admitiu Nunes em sua apresentação, neste cálculo não entraram os custos relativos à adaptação dessas OAEs às mudanças climáticas, tal como preconizou Figueiredo em sua palestra.

A Ponte Juscelino Kubistichek sobre o Rio Tocantins era uma dessas OAEs que necessitavam de intervenção urgente. A ponte colapsou em 24 de dezembro de 2024, matando 17 pessoas.

A investigação das causas do acidente está em curso, mas as hipóteses dos fatores que levaram ao colapso do tramo central foram apresentadas e discutidas pelo presidente do IBRACON, Julio Timerman, e pelo diretor de marketing, Rafael Timerman, no Seminário *Engineering Failure Analysis*.



Presidente do IBRACON, Julio Timerman, em momento de sua palestra no Seminário *Engineering Failure Analysis*

A ponte foi projetada em 1956 pelo renomado engenheiro Celso Marques de Souza, com tabuleiro central com vão de 140 metros, em seção caixão, construído em balanço sucessivos, com concreto armado. A ousadia do projeto de engenharia à época rendeu sua publicação na Revista Indústria Italiana de Cimento.

Na década de 1990, a ponte foi reforçada com protensão externa. Júlio Timerman registra que, apesar do projeto de reforço em 2016, não houve registro se ele foi implementado.

A primeira hipótese para o colapso foi a aplicação de massa asfáltica para nivelar o rebaixamento de 60 cm no meio do vão central devido à deformação lenta e relaxação do aço de protensão, o que se constituiu numa sobrecarga de 15 kN/m<sup>2</sup> para a estrutura.

A segunda hipótese foi a fadiga causada pelo comboio de caminhões de 40 toneladas, além de cargas especiais de 500 toneladas, numa ponte projetada para cargas móveis de apenas 24 toneladas, em conformidade com a norma técnica da época.

A terceira e última hipótese discutida foi a corrosão do aço, principalmente dos cabos de protensão, que não tinham a calda de proteção de cimento, cuja perda de capacidade portante não foi compensada pelo reforço externo.

As lições aprendidas com a falha, objetivo do Seminário, foram elencadas pelos palestrantes: a lição mais comezinha é a instauração de programas efetivos de inspeção e manutenção periódicas de OAEs em nível federal, estadual e municipal, sobretudo para obras projetadas antes de 2003, quando a norma estabeleceu critérios de durabilidade; a urgência de se instaurar programas de reforço de OAEs para adequá-la ao trem-tipo atual; e necessidade de disciplinar adequadamente o trânsito de veículos pesados sobre pontes.



Prof. Ricardo Couceiro Bento apresentando seu trabalho científico no 66º Congresso Brasileiro do Concreto

### SEMINÁRIOS DISCUTEM NORMAS, PESQUISAS, PARADOXOS E QUESTÕES PRÁTICAS DO DIA A DIA DO ENGENHEIRO

Além das palestras e discussões em torno da mitigação da pegada de carbono e da adaptação das estruturas de concreto às mudanças climáticas, o 66º Congresso Brasileiro do Concreto abordou outros temas de interesse da comunidade de profissionais da construção civil. O evento contou com 81 apresentações plenárias e 242 apresentações de pôsteres de artigos técnico-científicos sobre os temas materiais e suas propriedades, durabilidade e sustentabilidade, pré-moldados e pré-fabricados, análise e projeto de estruturas, proteção contra incêndio, métodos construtivos e inspeção, diagnóstico, recuperação, reforço e proteção de estruturas. Nos Anais do evento, foram publicados 452 trabalhos no total.

O artigo “Influência da autocatrização externa no potencial de corrosão por cloretos em concretos com sílica ativa”, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ganhou o Prêmio Maria Alba Cincotto por ser considerado o melhor artigo apresentado no evento, depois de ser o escolhido como melhor artigo da Região Sul, competindo pelo prêmio com outros quatro artigos das demais regiões brasileiras.

Dois seminários coordenados por comitês técnicos do IBRACON apresentaram os assuntos em discussão, suas atividades

e realizações. O IV Seminário sobre materiais não convencionais para estruturas de concreto, *fibras* e concreto reforçado com *fibras*, realizado pelo CT-303, abordou principalmente o uso de barras e sistemas de polímeros reforçado com *fibras* (FRP) para reforço de elementos estruturais e estruturas de concreto. O Seminário contou com palestra do professor da Universidade do Minho, Joaquim Barros, sobre projeto de reforço de estruturas de concreto armado segundo as recomendações do Boletim 90 da *fib*.

Barros foi também o palestrante na Conferência Plenária do dia 31, ao abordar o projeto de estruturas com concreto reforçado com *fibras* com uso de modelos numéricos avançados. O concreto reforçado com *fibras* foi também tema da palestra do professor da Universidade de Milão, na Itália, Marco Di Prisco no Seminário sobre o Código Modelo da *fib*.

O Seminário de Nanomateriais para aplicação em concreto apresentou as diretrizes de estruturação e funcionamento do Comitê Técnico 205. O Comitê quer promover conhecimento que possa viabilizar o uso de nanomateriais em compósitos cimentícios. O escopo de atuação do CT 205 é bastante largo, abrangendo nanomateriais à base de carbono (nanotubos, nanobastões e grafeno), nanossílica e nanoargilas, com funções de reforço mecânico, de adições minerais, de modificadores de reologia e de materiais funcionais.

O CT 205 pretende se dedicar a consolidar rotas adequadas de dispersão dos

nanomateriais e formas de sua avaliação, metodologias para avaliar a influência dos nanomateriais na trabalhabilidade das

pastas de cimento e de concreto, estudo das modificações promovidas pelos nanomateriais na microestrutura e nas fases

do concreto, estudo do comportamento mecânico de concreto com nanomateriais e potenciais funcionalidades fornecidas ao concreto pela adição de nanomateriais.



Plateia lotada para assistir a palestra do Prof. Joaquim Barros em sua Conferência Plenária

Seminários voltados aos problemas do dia a dia dos profissionais da construção civil foram também organizados no 66º Congresso Brasileiro do Concreto. O III Seminário de Argamassa Estabilizada debruçou-se principalmente sobre a primeira norma brasileira sobre argamassa de hidratação controlada - a ABNT NBR 17218, recém-publicada, que estabelece parâmetros para o controle tecnológico e a caracterização do material.

O II Seminário de Engenharia Estrutural de Obras de Concreto, co-organizado pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), trouxe a aplicação de ferramentas digitais avançadas em casos reais de projetos e obras, como gêmeos digitais, sensores em fixações, realidade aumentada no apoio ao projeto e execução de estruturas, modelagens avançadas em elementos finitos e tecnologias de concepção de projeto de estruturas especiais. As palestras mostraram como essas ferramentas avançadas estão impulsionando ganhos significativos em projetos e obras em termos de produtividade, segurança e sustentabilidade.



Painel da Intercement no Espaço do Conhecimento no Seminário de Novas Tecnologias

Pela primeira vez, foi realizada a disseminação de tecnologias desenvolvidas por startups da construção civil na Ilha das Startups na Feira Brasileira da Construção em Concreto (Feibracon), espaço de exposição de patrocinadores e expositores do evento, com visitação aberta ao público em geral.

O Seminário de Novas Tecnologias trouxe apresentações técnico-comerciais de novos produtos e soluções dos patrocinadores do evento, como as emendas mecânicas da Gerdau, as linhas de aditivos para concreto da Chryso Saint-Gobain, MC Bauchemie, MC Química e Aditibras, os equipamentos da Instron para caracterização do concreto, e os cimentos da Apodi.

A Intercement abordou as parcerias entre a companhia e as universidades que catalisaram a produção de um concreto de baixo carbono e a construção do Centro de Tecnologias em Nanomateriais e Grafeno.

A Votorantim realizou o painel “Pavimento Urbano de Concreto - uma solução de Norte a Sul”, no qual apresentou palestras a respeito da viabilidade técnica e econômica de pavimentos de concreto.

O diretor geral da Engemix, Ricardo Soares, palestrou sobre gestão de operação de concreto no III Seminário de Concreto Dosado em Central, espaço dedicado aos produtores de concreto e coordenado pelo gerente de desenvolvimento técnico de mercado da Votorantim, Maurício Bianchini, que é também diretor regional do IBRACON no Paraná, coordenando localmente a organização do 66º Congresso Brasileiro do Concreto.

Além deles, expuseram no 66º Congresso Brasileiro do Concreto a ABCP, ABESC, Adco, Atex, Evehx, Impacto, Multiplus, Next, Tecnosil e TQS. A Evehx promoveu também uma visita técnica à sua fábrica, para que os congressistas interessados



Presidente da Votorantim Cimentos da América do Norte, Edilson Chimilovski, responde pergunta do auditório em sessão moderada pelo coordenador do III Seminário de Concreto Dosado em Central, Maurício Bianchini (no púlpito)

conhecessem seus processos produtivos, e às obras com usos de seus sistemas de protensão. Já, a Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC) realizou uma demonstração ao vivo da execução do Pavimento Urbano de Concreto no Viasoft Experience, local de realização do Congresso.

No evento, foi oferecido também um curso de qualificação profissional sobre monitoramento da integridade estrutural, com carga horária de 20 horas, que apresentou ferramentas conceituais e práticas para

identificação de danos e gerenciamento da integridade estrutural baseada em risco.

Num tom descontraído e informal, o vice-presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, apresentou os paradoxos da engenharia de concreto estrutural, na sessão Corujão, última atividade do dia 30 do 66º Congresso Brasileiro do Concreto, voltada a motivar estudantes e jovens engenheiros a buscarem soluções audaciosas e inovadoras para questões urgentes.

Paulo Helene respondeu três questões de engenharia que parecem contrariar o senso comum: Como o concreto com alto consumo de cimento pode ser mais sustentável e econômico? Por que se ganha em economia e sustentabilidade ao se fazer o controle tecnológico do concreto com maior idade? Por que há economia e menor pegada de carbono numa estrutura carregada mais tardiamente?

Num exercício mental, partiu de duas classes de concreto ( $f_{ck}$  20 MPa e 50 MPa), com consumo de cimento CP III de 266 kg/m<sup>3</sup> e 396 Kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esses tipos de concreto foram usados para confeccionar um tramo de pilar de 2,9 m para suportar 400 toneladas, especificação típica para pilares térreos de edifícios de 20 andares. Segundo os cálculos apresentados, apesar do concreto com 50 MPa emitir 145 kg de CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup>, enquanto o concreto com 20 MPa emite 97 kg de CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup>, o tramo de pilar com 50 MPa irá emitir 200 kg de CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup>, enquanto o pilar com 20 MPa emitirá 410 kg de CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup>.



Prof. Petrus da Nóbrega questiona Prof. Paulo Helene observado pelo coordenador da sessão Corujão, Cláudio Sbrighi Neto

Este aparente contrassenso ocorre porque o pilar de 50 cm x 50 cm requer apenas quatro barras de aço de 25 mm para 50 MPa e 20 barras de 25 mm para 20 MPa.

No segundo exercício matemático, demonstrou-se que adotar um controle da resistência do concreto aos 63 dias, ao invés dos 28 dias, economiza 30 kg de cimento por metro cúbico de concreto, para se atingir a resistência especificada de 40 MPa. Por conseguinte, emite-se menos 11 kg de  $CO_2/m^3$ .

O mesmo tipo de exercício matemático foi usado para demonstrar que, quanto mais se prorrogar o carregamento da estrutura, mais o fenômeno de hidratação do cimento irá compensar o decréscimo da resistência à compressão atribuído ao carregamento.

A conclusão do Prof. Paulo Helene foi que atualizações das normas técnicas brasileiras são necessárias para fazer valer esses ganhos em termos de economia e de sustentabilidade.

O controle tecnológico do concreto foi alvo também de críticas e melhoramentos no Seminário de Temas Controversos.

Paulo Helene esmiuçou as deficiências relacionadas ao controle tecnológico do concreto realizadas pelos laboratórios: apesar de normas técnicas vigentes e do Guia Prático da Associação Brasileira das Empresas de Tecnologia da Construção Civil (ABRATEC), é usual os corpos de prova não serem adequadamente armazenados, transportados, moldados, adensados e ensaiados. Ele ressaltou que, com os procedimentos não executados segundo os requisitos das normas, os resultados do ensaio do laboratório jamais alcançarão a máxima resistência potencial à compressão do concreto, obtida em condições ideais especificadas pelas normas técnicas. E argumentou que, desta maneira, o referencial utilizado pelo projetista para avaliar a segurança da estrutura fica comprometido, o que pode gerar insegurança ao projetista e aumento de custos e medidas desnecessárias.

Na visão dos projetistas, a situação de concretos não conformes, isto é, de concretos que não atingem a resistência à compressão especificada aos 28 dias faz parte de seu dia a dia. Segundo o projetista

da SIS Engenharia de Projetos e Engenharia Estrutural, Luiz Aurélio, “é comum haver diferenças significativas de nesta resistência mesmo entre lotes de concreto entregues pela manhã e pela tarde numa obra”.

Luiz Aurélio argumentou que quando se constata que concreto não atingiu a resistência especificada, o pilar do pavimento com este concreto já está carregado com quatro ou cinco pavimentos acima dele. Em razão disso, é recomendável acompanhar a evolução da resistência à compressão do concreto por meio de ensaios realizados aos três, sete, 14, 21 e 28 dias, bem como fazer o mapeamento de cada lote de concreto na obra, para tomar as melhores decisões de reforço, demolição ou liberação do pavimento.

A não conformidade de concretos exige contraprovas, que são realizadas com a extração de testemunhos do concreto em avaliação. Em muitos casos, essas contraprovas são suficientes para liberar o escoamento de lajes, quando os resultados obtidos são maiores do que os do ensaio com corpos de prova. Em outros casos, persistindo a não conformidade, o elemento estrutural deverá ser reforçado ou demolido.

Em razão dos riscos e custos associados ao controle tecnológico do concreto, Luiz Aurélio opôs-se à proposta de fazê-lo aos 63 dias, a não ser como contraprova dos resultados obtidos aos 28 dias.

O 66º Congresso Brasileiro do Concreto premiou ainda profissionais de destaque e as equipes vencedoras dos concursos estudantis, lançou novas publicações técnicas e realizou reuniões, coquetéis, almoços e o Jantar de Confraternização, promovendo a intensa troca de informações e os relacionamentos entre os profissionais e intervenientes da cadeia de valor do concreto.

“O evento bateu mais uma vez seu recorde de participação e se mantém como maior fórum técnico-científico e profissional da construção no País”, arrematou o presidente do IBRACON, Julio Timerman, no Jantar de Confraternização do evento.



Luiz Aurélio expõe a visão dos projetistas sobre o controle tecnológico do concreto no Seminário de Temas Controversos

# PREMIAÇÕES DE PROFISSIONAIS

**F**oram entregues títulos de sócios honorários, homenageados os profissionais de destaque do ano e premiadas as teses de doutorado na cerimônia de abertura do 66º Congresso Brasileiro do Concreto.

## PRÊMIO PROFISSIONAIS DE DESTAQUES DO ANO

**O** Prêmio reconhece profissionais com contribuições significativas para o avanço do conhecimento científico e tecnológico do concreto no país. A indicação é livre para os associados, a escolha é feita por comissões e pautada por critérios técnicos, sendo a decisão final do Conselho Diretor e diretoria do IBRACON. Conheça os agraciados!

### PRÊMIO FREDERICO ARY TORRES

DESTAQUE EM TECNOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

ANTONIO CARMONA FILHO



Vice-presidente do IBRACON, Paulo Helene (esq.) entrega a honraria ao Eng. Antonio Carmona Filho

Engenheiro civil (1968), mestre e doutor (1998) em Engenharia de Materiais pela Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie.

Foi professor na Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie (1967-1969), na Fundação Armando Alvares Penteado - FAAP (1975-1994), na Faculdade de Engenharia de Sorocaba (1994-2000) e na Universidade Anhembi Morumbi (1994-2003), bem como em cursos de qualificação profissional de entidades do setor construtivo.

Em reconhecimento à sua atuação na área de patologia, controle da qualidade e recuperação de construções, recebeu, em 2024, o Prêmio Manoel Fernandez Canovas, de quem foi aluno, em 1982, no Curso de Pós-Graduação em Patologia e Terapêutica do Concreto Armado, oferecido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Participou da tradução e adaptação dos livros "Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais" (1994), "Manual para o Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão nas Armaduras" (1993) e "Controle e Garantia da Qualidade na Construção Civil" (1991), sendo autor de uma dezena de trabalhos e artigos publicados em revistas e anais de eventos.

Fundou a Associação Latino-Americana de Controle da Qualidade e Patologia da Construção Civil - ALCONPAT, de quem recebeu, em 2003, o Prêmio ALCONPAT por sua carreira técnica e científica.

## PRÊMIO GILBERTO MOLINARI

RECONHECIMENTO AOS RELEVANTES SERVIÇOS PRESTADOS AO IBRACON

### CÉSAR HENRIQUE SATO DAHER

César Daher é engenheiro civil (1998) e mestre em construção civil (2009) pela Universidade Federal do Paraná.

Foi professor nos cursos de engenharia civil da Universidade Positivo (2010-2016), da Universidade Tuiuti (2005-2009) e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2001-2003).

Sócio-fundador da Daher Engenharia Consultiva e do IDD Educação Continuada.

Conselheiro do IBRACON, onde foi Diretor da Regional do Paraná, Diretor de Eventos, de Relações Institucionais e é Diretor de Certificação de Pessoal.



Presidente do IBRACON (meio), Julio Timerman, faz entrega dos prêmios ao Eng. César Daher (esq.) e a Wagner Lopes, representando o Eng. Rafael Timerman

### RAFAEL TIMERMAN

Rafael Timerman é engenheiro civil formado na Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (2008).

Sócio-diretor da Engeti Engenharia, já coordenou diversos projetos de reabilitação, reforço e alargamento de obras de arte especiais, perfazendo 500 mil metros quadrados, como a obra de recuperação da Ponte Pênsil de São Vicente (2015).

Membro do Comitê para Reabilitação de Estruturas de Concreto ao American Concrete Institute - ACI, vice-presidente da Associação Brasileira de Patologia das Construções - Alconpat Brasil e conselheiro do IBRACON, onde é Diretor de Marketing e foi Diretor de Eventos.

## PRÊMIO ARGOS MENNA BARRETO

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÕES DE CONCRETO

### PAULO BEGHELLI CARACIK

Engenheiro civil pela Escola de Engenharia Mauá (1999), com pós-graduação na Fundação Armando Alvares Penteado - Faap.

Iniciou sua carreira profissional na Ulma Brasil Fôrmas, terceira maior empresa do segmento no mundo.

Foi gerente técnico e consultor interno na Gafisa, coordenando simultaneamente até 40 canteiros de obras em 15 estados brasileiros.



Eng. Paulo Caracik com a honraria entregue pelo diretor tesoureiro do IBRACON, Nelson Covas

Desde 2014, é sócio-proprietário da PBC Engenharia.

Com mais de 25 anos de atuação profissional, participou do desenvolvimento de mais de 2500 torres residenciais e comerciais em diferentes regiões do país.

## PRÊMIO FRANCISCO DE ASSIS BASÍLIO

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE CONCRETO NA REGIÃO DO CBC

### MAURÍCIO BIANCHINI

Engenheiro civil e mestre em produção de concreto de alta resistência pela Universidade Federal Do Paraná.

Atuou na Exame Tecnologia em controle tecnológico e recuperação de estruturas.

Foi coordenador de tecnologia do concreto na Engemix Concreto e gerente técnico na Supermix Concreto. Atualmente, é gerente de desenvolvimento técnico de mercado na Votorantim Cimentos.



Eng. Maurício Bianchini com prêmio entregue pelo diretor secretário do IBRACON, Cláudio Sbrighi Neto

Maurício Bianchini tem experiência de 30 anos na produção e controle de mais de

10 milhões de metros cúbicos de concreto em centrais em todo o Brasil, no desenvolvimento de concretos especiais, na implantação e gestão de centrais dosadoras e na gestão de dezenas de laboratórios de tecnologia do concreto.

Participou de missões internacionais em produção de concreto nos Estados Unidos, América Latina e Europa.

É coordenador e professor de cursos de pós-graduação do Idd Educação Avançada.



## PRÊMIO FERNANDO LUIZ LOBO BARBOSA CARNEIRO

DESTAQUE EM ENGENHARIA DE PESQUISA EM ESTRUTURA DE CONCRETO

### ANTONIO CARLOS DOS SANTOS



Diretor de eventos do IBRACON, Tullio Bittencourt (meio), entrega prêmios aos professores Antonio Carlos dos Santos (esq.) e Luiz Carlos de Almeida

Antonio Carlos dos Santos é engenheiro civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba (1995), mestre em engenharia civil pela Universidade Estadual de Campinas (1998) e doutor em engenharia civil pela Universidade de São Paulo (2003).

É professor titular na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, onde coordena o grupo de pesquisa sobre Durabilidade e Avaliação Estrutural e onde foi Diretor de Infraestrutura (2012-2015).

Tem experiência em mecânica da fratura, concreto e argamassa armada, avaliação e durabilidade estrutural, polímero reforçado com fibras, concreto reforçado com fibras e uso de barras não metálicas.

### LUIZ CARLOS DE ALMEIDA

Luiz Carlos de Almeida é engenheiro civil (1978), mestre (2001) e doutor (2006) em Engenharia pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, onde é professor na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e coordenador do curso de formação de especialista em projeto de estruturas de concreto armado.

Foi vice-prefeito da cidade universitária, chefe do departamento de estruturas, coordenador do curso de graduação em engenharia civil e coordenador do programa de pós-graduação em engenharia civil (2018-2021).

Tem experiência em análise e diagnóstico estrutural, patologia das estruturas de concreto armado, análise inversa e monitoração estrutural, tendo publicado 34 artigos, três livros e seis capítulos de livros, 114 trabalhos em anais de congresso e tendo 3 doutorados, 16 mestrados e 17 iniciações científicas com orientação concluída.

## PRÊMIO OSCAR NIEMEYER SOARES FILHO

DESTAQUE EM PROJETO DE ARQUITETURA DE CONCRETO

### ISAY WENFELD



Diretora de cursos do IBRACON, Jéssica Pacheco, faz entrega da honraria a Mariana Nakiri, representando o premiado Isay Wenfeld

Isay Wenfeld fundou, em 1973, o escritório que leva seu nome, sediado em São Paulo, dois anos após se formar em arquitetura pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Entre seus projetos mais emblemáticos estão os hotéis para o Grupo Fasano em São Paulo, Punta Del Este, Salvador, Trancoso e Porto Feliz; o edifício La Petite Afrique, em Mônaco; o Jardim Building, o The Elisa Building, além do Restaurante Le Pavillon, todos em Nova York.

Reconhecido nacional e internacionalmente, Isay Wenfeld recebeu diversos prêmios ao longo de sua carreira, entre eles o Mipim Architecture Future Project Awards, concedido pela revista britânica Architectural Review, pelos projetos 360° Building e Oka Building.

## PRÊMIO DE TESES E DISSERTAÇÕES

**P**ara prestigiar os trabalhos cadastrados no CONCRETO Brasil, banco de teses e dissertações dedicadas ao concreto, o IBRACON concedeu Prêmio de Teses e Dissertações

a um trabalho na área de estruturas e outro na área de materiais e técnicas, por suas contribuições para o conhecimento científico sobre o concreto.

### MELHOR DISSERTAÇÃO EM ESTRUTURAS

REABILITAÇÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM ESCALA REAL COM REFORÇO À FLEXÃO COM LAMINADOS DE CFRP PASSIVOS E PROTENDIDOS

**AUTOR:** MARCELO FERNANDES PEREIRA

**ORIENTADORA:** GLÁUCIA MARIA DALFRÉ

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR**



Marcelo Pereira com o prêmio entregue pelo diretor de pesquisa e desenvolvimento do IBRACON, Elyson Liberati, ao lado de sua orientadora, Gláucia Dalfré

### MELHOR DISSERTAÇÃO EM MATERIAIS E TÉCNICAS

DESEMPENHO ACÚSTICO DE LAJES PRÉ-FABRICADAS NERVURADAS DE VIGOTAS PROTENDIDAS: ISOLAMENTO AO RÚIDO AÉREO E RÚIDO DE IMPACTO

**AUTOR:** FELIPE SCHNEIDER DE LIMA

**ORIENTADOR:** BERNARDO FONSECA TUTIKIAN

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS**



Felipe de Lima com prêmio entregue pelo vice-presidente do IBRACON, Enio Pazini, ao lado de seu orientador, Bernardo Tutikian (esq.)

# CONCURSOS ESTUDANTIS MOVIMENTARAM O **66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**



Equipe de estudantes da FEI com a medalha CONCRETO IBRACON 2025, entregue pelo presidente do IBRACON, Julio Timerman

Os concursos técnicos entre estudantes agitam o 66º Congresso Brasileiro do Concreto, reunindo alunos de engenharia, arquitetura e tecnologia, para competirem, torcerem, aprenderem e se confraternizarem.

Participar dos concursos é, para os estudantes e professores, uma atividade extracurricular que fortalece o aprendizado em materiais e estruturas. Na avaliação da professora Maria Teresa, da Universidade Federal de Juiz de Fora, que participa das edições do Congresso Brasileiro do Concreto desde 1990 e que recentemente incentivou à formação de uma equipe de alunos para competirem, “os concursos incentivam os alunos a buscarem novos materiais e novas

tecnologias da construção civil, fortalecendo o aprendizado e a interação entre eles”.

Este aprendizado e interação vão muito além das aulas teóricas, das conversas com os professores e dos ensaios realizados nos laboratórios, extravazando para a Arena dos Concursos e para o Jantar *CONCRETE LOVERS*, oferecido pelo IBRACON aos participantes dos concursos.

Nesta edição do evento, a grande vencedora dos concursos foi a equipe Concreto FEI, que ganhou a medalha CONCRETO IBRACON 2025, por seu melhor desempenho em todas as competições.

# CONCURSO CONCRETO COLORIDO DE ALTA RESISTÊNCIA (COCAR)

Este concurso promoveu as competências dos alunos em produzir concretos de cor rosa, com resistência à compressão de 115 MPa. As equipes participantes foram pontuadas quanto às dimensões e massas do corpo de prova, à sua resistência

à compressão e à sua coloração e homogeneidade interna. Participaram da competição 311 alunos divididos 36 equipes com 107 corpos de prova. O concurso foi patrocinado pela Instron.

## PREMIAÇÃO COCAR 2025



**1º LUGAR:** UFMS | Concreto UFMS



**2º LUGAR:** UFRGS | Concretchê



**3º LUGAR:** FEI | Concreto FEI

# CONCRETO: QUEM SABE FAZ AO VIVO

O concurso avaliou os competidores quanto às suas habilidades em dosar concretos autoadensáveis coesos e translúcidos, com baixo consumo de cimento e alta resistência à compressão em 24 horas.

Cada uma das 27 equipes, totalizando 133 estudantes, recebeu cimento, adições, agregados, aditivos e água, e teve 50 minutos para realizar a dosagem do concreto, para a moldagem de dois corpos de prova cilíndricos, com 10 cm

de diâmetro e 20 cm de altura, e de uma placa com fibras translúcidas.

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

O concurso foi patrocinado pela Votorantim Cimentos.

## CONCURSO CONCRETO: QUEM SABE FAZ AO VIVO 2025



**1º LUGAR:** UFES | Concrecs



**2º LUGAR:** UnB | Concretunb



**3º LUGAR:** UTFPR | Curitibacon

## CONCURSO OUSADIA

O concurso desafiou os estudantes de arquitetura e engenharia a elaborar o projeto básico estrutural de um Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI), a ser implantado em um terreno na Rua Tenente Martinho D'Oliveira, conforme requisitos especificados no Regulamento do Concurso, e o planejamento preliminar de sua construção.

Seu objetivo foi desenvolver a aptidão dos alunos na concepção de projetos de concreto ousados, seguros, duráveis, viáveis econômica e sustentavelmente, de fácil manutenção

e harmonicamente inseridos em seus contextos local, cultural e histórico; e aumentar o entrosamento entre estudantes de arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Participaram da competição 11 equipes com 12 projetos, totalizando 170 alunos.

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

O concurso foi patrocinado pela ConcreteShow e Evehx.

### PREMIAÇÃO OUSADIA 2025



**1º LUGAR:** USP São Carlos | Econ



**2º LUGAR:** FEI | Concreto FEI



**3º LUGAR:** UTFPR | Curitibacon

# LANÇAMENTOS EDITORIAIS NO 66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

**D**urante a realização do 66º Congresso Brasileiro do Concreto, os participantes tiveram a oportunidade de se relacionar com os coordenadores e autores das publicações técnicas lançadas no evento, nas sessões de autógrafos, bem como adquirir seus exemplares a preços promocionais.

Nesta edição, além do relançamento do conjunto de Práticas Recomendadas elaboradas pelo CT 702 - Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas

de Concreto, sob coordenação do professor da Universidade Federal da Bahia, Daniel Véras Ribeiro, tivemos o lançamento das Práticas Recomendadas e Boletim Técnico do CT 305 - Segurança das Estruturas de Concreto Contra Incêndios do Instituto Brasileiro do Concreto, coordenado pelo professor da Unisinos, Augusto Masiero Gil, e da Prática Recomendada do CT 402 - Ensaios não Destrutivos, coordenado pela engenheira Juliana Ferreira Fernandes.



Professor Daniel Veras autografando exemplar de práticas recomendadas relançadas pelo CT 702



# BOLETIM TÉCNICO “ENSAIOS LABORATORIAIS DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO”

**E**laborado pelo Comitê Técnico CT 305 - Segurança das Estruturas de Concreto Contra Incêndios do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), o Boletim apresenta um panorama técnico e normativo abrangente sobre os métodos de avaliação da resistência ao fogo de elementos estruturais de concreto. O documento reúne conceitos fundamentais, procedimentos de ensaio, critérios de classificação e diretrizes aplicáveis consolidando o conhecimento técnico disponível no Brasil e no exterior.

Além de consolidar as principais práticas normativas, o Boletim revisa estudos nacionais relevantes, apresenta sugestões para futuras pesquisas e reforça a importância da padronização dos ensaios para garantir segurança, confiabilidade e comparabilidade dos resultados.



Destinado a engenheiros, pesquisadores, projetistas e profissionais da construção civil, o documento constitui uma referência essencial para o entendimento e a aplicação dos métodos de avaliação da segurança contra incêndio em estruturas de concreto, contribuindo para o desenvolvimento técnico-científico e para a evolução das normas brasileiras na área.

## FICHA TÉCNICA

**ISBN/ISSN:** 978-65-89675-22-8

**Edição:** 1ª edição

**Páginas:** 38

**Formato:** 21 cm x 29,7 cm

**Acabamento:** Capa dura

**Ano de publicação:** 2025



## NO PRUMO

Compartilhar teoria e prática da construção civil, com leveza, didatismo e criatividade. Esta é a proposta do livro “No Prumo”.

O livro é dividido em duas partes. A primeira traça a história da construção no Brasil e sua relação com a cultura. A segunda revela, na prática, os conceitos e as técnicas consolidadas ao longo dessa história.

A publicação oferece uma leitura atual de temas que vão do projeto e da análise de solo aos serviços de concretagem, sistemas construtivos e sustentabilidade.

Com textos de Paulo Helene, professor titular da USP e diretor-presidente do IBRACON, e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

**FORMATO:** 21 x 29 cm

**PÁGINAS:** 170

**ANO:** 2017

**VENDAS:** Loja virtual ([www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br))



PRODUÇÃO



PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO





# PRÁTICA RECOMENDADA “AVALIAÇÃO PÓS-INCÊNDIO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO”

**E**laborado pelo Comitê Técnico CT 305 – Segurança das Estruturas de Concreto Contra Incêndios do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), a Prática Recomendada estabelece diretrizes técnicas para inspeção, diagnóstico, verificação através de ensaios e intervenção em estruturas de concreto armado após a ocorrência de incêndios. A obra consolida fundamentos, métodos e procedimentos aplicáveis no contexto brasileiro, com foco na capacidade resistente residual e na tomada de decisão segura quanto ao reparo, reforço ou substituição de elementos afetados.

O documento apresenta: (i) introdução e campo de aplicação, com panorama de ocorrências e impactos; (ii) fundamentação sobre propriedades residuais do concreto e do aço e a resposta térmica de elementos estruturais; (iii) procedimento de inspeção em etapas (preliminar e detalhada), incluindo fluxograma decisório; (iv) ensaios de apoio ao diagnóstico, cobrindo estimativas diretas e indiretas, análises microestruturais

(DRX, TGA/DTA, MEV e técnicas complementares) e ensaios não destrutivos (ultrassom, esclerometria e afins); (v) avaliação estrutural pelos métodos simplificado e avançado; (vi) estratégias de reparo e reforço conforme níveis de dano; e (vii) estudo de caso com aplicação prática dos procedimentos e critérios propostos.



Destinado a engenheiros, peritos, pesquisadores, projetistas e profissionais da construção civil, o documento constitui uma referência essencial para o entendimento e a aplicação dos métodos de avaliação da segurança contra incêndio em estruturas de concreto, contribuindo para a padronização de procedimentos e para o aperfeiçoamento da engenharia de segurança contra incêndios no Brasil.

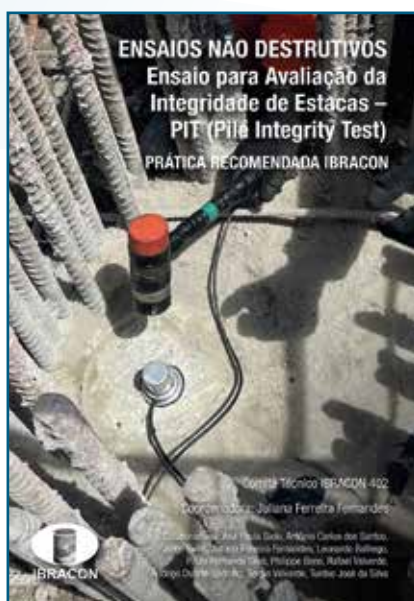
## FICHA TÉCNICA

**ISBN/ISSN:** 978-65-89675-38-9  
**Edição:** 1ª edição  
**Páginas:** 64  
**Formato:** 21 cm x 29,7 cm  
**Acabamento:** Capa dura  
**Ano de publicação:** 2025

# PRÁTICA RECOMENDADA “ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS: ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE ESTACAS - PIT (PILE INTEGRITY TEST)”

**A** Prática Recomendada, elaborada pelo Comitê Técnico 402 – Ensaios não Destrutivos, aborda os conceitos, os princípios, a descrição da execução, as anotações em campo, a interpretação dos sinais e as limitações do método de ensaio de baixa deformação (PIT), utilizado para avaliação da integridade de estacas verticais ou inclinadas de concreto.

Além disso, a Prática exemplifica a aplicação do método do pulso-eco (MPE) e do método de resposta transiente (MRT), contribuindo para o aprendizado e para a escolha correta de estacas de fundação.



Destinado a engenheiros, peritos, pesquisadores, projetistas e profissionais da construção civil, o documento constitui uma referência essencial para o entendimento e a aplicação dos métodos de avaliação da integridade de estacas, contribuindo para a padronização de procedimentos e para o aperfeiçoamento da engenharia geotécnica.

## FICHA TÉCNICA

**ISBN/ISSN:** 978-65-89675-25-9  
**Edição:** 1ª edição  
**Páginas:** 56  
**Formato:** 21 cm x 29,7 cm  
**Acabamento:** Capa dura  
**Ano de publicação:** 2025

# CONSELHO DIRETOR E DIRETORIA DO IBRACON ELEITOS

**E**m votação direta, voluntária, secreta e eletrônica, os sócios do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) elegeram os membros do Conselho Diretor para a gestão 2025/2027.

Puderam votar todos os associados, adimplentes e com mais de seis meses de filiação, excluídos os da categoria “Estudante de Graduação”. Eles assinalaram seu voto nos nomes dos filiados que desejaram concorrer ao Conselho Diretor, ou indicaram até dois associados de sua preferência no campo em branco da cédula.

O prazo de votação foi de 24 de setembro até às 12 horas de 29 de outubro (horário de Brasília).

A Comissão de Apuração, formada pelo presidente, Julio Timerman, e o vice-presidente, Paulo Helene, assessorada pela secretária-executiva, Arlene Regnier de Lima Ferreira, reuniu-se em 30 de outubro, em uma sala da Via Soft Experience, em Curitiba, local de realização do 66º Congresso Brasileiro do Concreto, para apurar os votos recebidos na plataforma eletrônica da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Aberta a plataforma eletrônica, a Comissão de Apuração verificou 406 inscritos aptos para votar e 136 votantes.

Das listas de sócios individuais, coletivos e mantenedores do IBRACON mais votados foram extraídas as listas dos eleitos para o Conselho Diretor do IBRACON. Essas listas foram apresentadas na Assembleia Geral Ordinária do IBRACON, ocorrida no dia seguinte, na ViaSoft Experience.

Confira os eleitos!

## TITULARES MANTENEDORES E COLETIVOS

ABECE - Assoc. Brasileira de Eng<sup>a</sup> e Consultoria Estrutural  
ABCIC - Associação Brasileira da Construção Ind. de Concreto  
ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland  
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP  
VOTORANTIM Cimentos  
EPUSP - Escola Politécnica da USP  
ABESC - Assoc. Brasileira das Empr.de Serv. de Concretagem  
TQS Informática Ltda  
MC BAUCHEMIE Brasil Indústria e Comércio Ltda  
PhD Engenharia Ltda

## TITULARES INDIVIDUAIS

Enio José Pazini Figueiredo  
Rafael Timerman  
Iria Lícia Oliva Doniak  
Jessika Mariana Pacheco Misko  
Alio Ernesto Kimura  
César Henrique Sato Daher  
Bernardo Fonseca Tutikian  
Claudio Sbrighi Neto  
Nelson Covas  
Jessica Andrade Dantas

Órgão máximo deliberativo do Instituto Brasileiro do Concreto, o Conselho Diretor é formado pelos 10 associados mais votados na categoria “Individual” (os empatados são considerados eleitos) e pelos 10 associados mais votados nas categorias “Coletivos” e “Mantenedores”. Também fazem parte do Conselho, os ex-presidentes do IBRACON, como conselheiros permanentes.

O Conselho Diretor reuniu-se no último dia 27 de novembro para eleger entre seus membros seu presidente. Por unanimidade, o presidente, Julio Timerman, foi reeleito para uma nova gestão dois anos frente ao Instituto Brasileiro do Concreto.

Ato contínuo, o Julio Timerman apresentou sua diretoria, referendada pelos conselheiros.

## PRESIDENTE

Julio Timerman

## 1º VICE-PRESIDENTE

Paulo Roberto do Lago Helene

## 2º VICE-PRESIDENTE

Enio José Pazini Figueiredo

## 1º SECRETÁRIO

Cláudio Sbrighi Neto

## 2º SECRETÁRIO

César Henrique Sato Daher

## 1º TESOUREIRO

Nelson Covas

## 2º TESOUREIRO

Paula Lacerda Baillot

## MARKETING

Rafael Timerman

## PUBLICAÇÕES

Bernardo Fonseca Tutikian

## EVENTOS

Túlio Nogueira Bittencourt

## TÉCNICO

Carlos Amado Brites

## RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Maurício Bianchini

## CURSOS

Jessika Mariana Pacheco Misko

## ATIVIDADES ESTUDANTIS

Jessika Andrade Dantas

## CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

Patrícia Falcão Bauer Lourenço Gasparian

## P&D

Elyson Andrew Pozo Liberati

## Dez projetos são homenageados no 14º Prêmio Obra do Ano em Pré-fabricados de Concreto

**A** Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (Abcic) anunciou os vencedores do 14º Prêmio Obra do Ano em Pré-Fabricados de Concreto. A solenidade de premiação reuniu empresários, engenheiros, arquitetos e profissionais da construção, bem como representantes de entidades setoriais e de instituições governamentais.

Nesta edição, a modernização do Estádio Municipal Paulo Machado de Carvalho, o Pacaembu (São Paulo/SP), recebeu o Destaque do Júri, que é concedido pelo Comitê do Júri para obras excepcionais por sua magnitude ou complexidade, que se sobressaem independentemente de sua categoria.

Inaugurado em 1940 e tombado pelo patrimônio histórico, o estádio passou por uma transformação estrutural em 2023, com o objetivo de modernizar suas instalações e ampliar os usos possíveis de seus espaços, preservando a geometria e a identidade arquitetônica originais. O projeto arquitetônico da modernização foi assinado por Sol Camacho, da Raddar. A Cassol Pré-Fabricados foi responsável pela execução da nova estrutura em concreto pré-fabricado, que contemplou as arqui-



Destaque do Júri em Sustentabilidade: Leben House Primeira Linha (Criciúma — SC)

bancadas leste e oeste e o Edifício Multifuncional (EDM). O projeto estrutural, de autoria dos engenheiros José Martins Laginha Neto, do GTP - Grupo Técnico de Projetos, e Vitor Faustino Pereira, da Estrutural Engenharia de Estruturas, precisou manter

a geometria original das arquibancadas, característica marcante do Pacaembu, o que exigiu um nível elevado de customização da estrutura pré-fabricada.

O Comitê do Júri também concedeu o Destaque do Júri - Sustentabilidade ao Leben House Primeira Linha (Criciúma/SC), empreendimento residencial concebido com o propósito de demonstrar o potencial estético, técnico e comercial do sistema de pré-fabricação em concreto em edificações de padrão popular e de médio padrão. A adoção do sistema pré-fabricado reduziu o desperdício de materiais, o uso de madeira e de escoramentos, e a geração de entulho em mais de 70%. O projeto exigiu um cuidadoso equilíbrio entre modulação estrutural e o projeto arquitetônico de Jeferson Aléssio, do escritório Jeferson Aléssio Arquitetura. A BPM Pré-Moldados responde pelo projeto estrutural e pelo fornecimento dos elementos pré-fabricados de concreto.

Na categoria Edificações, a obra vencedora foi o Henkel Latam Inspiration Center



Destaque do Júri: Modernização do Estádio Municipal Paulo Machado de Carvalho

(Jundiaí/SP), concebido com base em fortes princípios de sustentabilidade. O uso misto de estrutura industrializada em concreto pré-fabricado e madeira engenheirada, composta por camadas de madeira certificada de manejo responsável, tem a expectativa de capturar cerca de 500 toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera. O projeto arquitetônico foi desenvolvido por Sergio Athié, da Athie Wohnrath (AIW), responsável também pela construção do empreendimento. A estrutura pré-fabricada foi executada pela Leonardi e a de madeira, pela Crosslam. O edifício tem altura total de aproximadamente 21,5 m. O projeto estrutural é do engenheiro Carlos Melo, da CMA Engenharia.

O vencedor da categoria Fachadas Pré-Fabricadas de Concreto foi o Hotel Terroà (Americana/SP), com área total de 15.429 m<sup>2</sup>, altura de 52 m e 13 pavimentos. Os painéis empregados ocupam uma área de fachada de 4.781,8 m<sup>2</sup>. Foram utilizados 310 painéis de vedação arquitetônicos em todo o empreendimento, com dimensões máximas de 9,69 m de comprimento e 4 m de altura. Todos os painéis foram projetados com 12 cm de espessura na seção maciça. A arquitetura é de Claudia Carvalho, do escritório Claudia Carvalho Arquitetura. O projeto estrutural ficou a cargo do engenheiro Marcelo Cuadrado Marin, da Leonardi Construção Industrializada, que forneceu os painéis e as estruturas pré-fabricadas de concreto.

O Prêmio Obra do Ano, na categoria Infraestrutura, foi concedido à implantação do Viaduto de Acesso à Rodovia Hélio Smidt, localizado no km 219+900 da Rodovia Presidente Dutra, em Guarulhos (SP). Com 6.213 m<sup>2</sup> de área construída, o viaduto tem extensão total de 634 metros e largura média de 9,8 metros. A obra possui caráter singular devido à adoção de estruturas mistas, combinando concreto pré-fabricado — que conferiu maior agilidade à execução — com o sistema de balanço sucessivo, que reduziu as intervenções nas vias. O projeto estrutural de Catão Francisco Ribeiro, da Enescil Engenharia de Projetos, e os elementos pré-fabricados de concreto foram fornecidos pela Tranenge Construções.

Já na categoria Pequenas Obras, a vencedora foi MasterBlaster - Surreal, maior montanha-russa aquática do mundo, inaugurada em março de 2024 no Beach Park, que também recebeu o prêmio na categoria Votação Popular. Com 28 metros



Obra do Ano em Edificações: Henkel Latam Inspiration Center (Jundiaí — SP)



Obra do Ano em Fachadas: Hotel Terroà (Americana — SP)



Obra do Ano em Infraestrutura: Viaduto de Acesso à Rodovia Hélio Smidt (Guarulhos)

de altura e um percurso de 340 metros, percorrido em cerca de 77 segundos a até

42 km/h, o Surreal é movido pela tecnologia Master Blaster Fusion, que impulsiona

os visitantes por meio de jatos d'água de alta potência. O pré-fabricado de concreto foi essencial para otimizar o tempo de construção. A T&A Pré-Fabricados foi a indústria responsável pelo pré-fabricado de concreto. O projeto estrutural é do engenheiro Sérgio Otoch, da Sérgio Otoch Projetos Estruturais.

O Prêmio Obra do Ano em Pré-Fabricados de Concreto 2025 concedeu menção honrosa em cada categoria: Dynamic Pinheiros (Edificações), com projeto arquitetônico de Liliana Vergamini Luna de Sá (Königsberger Vannucchi Arquitetos Associados), projeto estrutural de José Herbet Faleiros Junior (Felco Faleiros Projetos e Consultoria em Engenharia) e estruturas fornecidas pela Leonardi Construção Industrializada; Almirante Green Residences (Fachadas Pré-Fabricadas de Concreto), com projeto arquitetônico de Karina Duadt (Amplio Arquitetura), projeto estrutural de Carlos Franco (Cal-Fac) e painéis fornecidos pela Stamp Pré-Fabricados Arquitetônicos; implantação do Viaduto Ramo 2000 (Infraestrutura), com projeto estrutural de



Obra do Ano em Pequenas Obras: MasterBlaster – Surreal (Fortaleza)

Claudio Toshio Watanabe (Enescil Engenharia de Projetos) e estruturas fornecidas pela Tranenge Construções; e COI PPP11 (Pequenas Obras), com projeto arquitetônico de Mauro Biselli (Biselli Katchborian Arquitetos), projeto estrutural de Carolina Alvares Camillo Raymundo (Moderna Soluções em Projeto) e estruturas fornecidas

pela Leonardi Construção Industrializada.

Criada em 2011, a premiação reconhece as empresas pré-fabricadoras e os arquitetos e engenheiros projetistas de estruturas que adotam o sistema construtivo em seus projetos. O evento teve o patrocínio da ArcelorMittal, da Belgo Arames, da Concrete Show e da MC-Bauchemie. ©

## KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto.



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

Patrocínio



Adquira o seu na Loja Virtual do IBRACON:

<http://lojaibacon.org.br>

## Dimensionamento de pavimentos de concreto reforçado com fibras – PCRFB

MARCO ANTONIO CARNIO - DOUTOR - <https://orcid.org/0000-0002-2005-8555>

VIVIANE VISNARDI VAZ - MESTRE - <https://orcid.org/0000-0001-7840-0221>

ISABELA DUARTE - MESTRE - <https://orcid.org/0000-0002-3802-6244> – EVOLUÇÃO Engenharia de Estruturas Ltda.

### RESUMO

**O** ARTIGO APRESENTA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (PCRFB), CONSIDERANDO A ANÁLISE PLÁSTICA PELO MÉTODO DAS CHARNEIRAS PLÁSTICAS (YIELD LINE) E OS PROCEDIMENTOS DA NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 16935 (2021) E DA ABNT NBR PR 1011 (2021). SÃO DESCRITOS OS ELEMENTOS QUE COMPÕEM A ESTRUTURA DO PAVIMENTO, AS PROPRIEDADES DO CONCRETO SIMPLES E DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF), BEM COMO OS ESFORÇOS SOLICITANTES E O MODELO DE ANÁLISE ESTRUTURAL. O DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU) É ABORDADO A PARTIR DA DEFINIÇÃO DOS MOMENTOS SOLICITANTES E RESISTENTES, ENQUANTO AS VERIFICAÇÕES NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS) CONTEMPLAM A FADIGA E OS DESLOCAMENTOS VERTICAIS. O TRABALHO CONSOLIDA CRITÉRIOS NORMATIVOS E FUNDAMENTOS TEÓRICOS APLICÁVEIS AO PROJETO DE PAVIMENTOS DE CRF, DESTACANDO O PAPEL DAS FIBRAS NA GARANTIA DE DUCTILIDADE, SEGURANÇA E DURABILIDADE.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTOS DE CONCRETO, CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS, ANÁLISE PLÁSTICA, DIMENSIONAMENTO.

### 1. INTRODUÇÃO

O emprego do concreto reforçado com fibras (CRF) consolidou-se em placas diretamente apoiadas sobre o solo (pavimentos de concreto), contexto no qual as fibras possibilitam substituir a armadura contínua sem prejuízo de segurança ou integridade estrutural. Essa evolução decorre do entendimento de que as fibras acrescentam capacidade resistente pós-fissuração e controlam a abertura de fissuras, permitindo concepções mais racionais para pisos e pavimentos (CARNIO, 1998; CARNIO, 2009).

Do ponto de vista de projeto, essas placas trabalham sobre base elástica e são verificadas com modelos consagrados de análise, incluindo a abordagem plástica por linhas de ruptura. A literatura especializada mostra a comparação entre teorias elástica e plástica e adaptações necessárias para aplicar o método ao CRF, com vistas a fornecer procedimentos práticos ao dimensionamento de placas de pavimentos (CARNIO, 1998; CARNIO, 2009).

No comportamento do material, ganhou força a aplicação de baixos teores de fibras (até 0,5% em volume) justamente por manter a moldabilidade do concreto, ao mesmo tempo em que aumenta significativamente a tenacidade do material e a ductilidade da seção – atributos decisivos para pavimentos, cuja solicitação predominante é cíclica. Assim, mesmo sem incrementos expressivos nas resistências, o CRF agrega capacidade de absorver energia e controlar a propagação de fissuras, características compatíveis com as demandas de tráfego repetido (CARNIO, 2009).

Além da evolução recente dos pavimentos de concreto reforçado com fibras, é fundamental destacar que existem diferentes soluções técnicas para pavimentos de concreto, cada uma com particularidades estruturais e funcionais. Os Pavimentos de Concreto Simples (PCS) correspondem às placas moldadas sem a utilização de reforço, sendo dimensionados exclusivamente com base na resistência à tração do concreto. Os Pavimentos de Concreto Reforçados constituem uma família mais ampla, na qual se enquadram: os PCRFB – Pavimentos de Concreto Reforçado com Fibras, que utilizam fibras descontínuas para conferir resistência residual ao concreto; os PCA – Pavimentos de Concreto

Armado, que utilizam barras de aço ou barras de FRP para absorver esforços de tração; os PCCA – Pavimentos de Concreto Continuamente Armado, nos quais a armadura longitudinal contínua controla a abertura de fissuras ao longo da extensão da placa; e os PCP – Pavimentos de Concreto Protendido, que utilizam a protensão para introduzir tensões prévias de compressão, reduzindo a solicitação efetiva de tração. Além dessa família, destacam-se ainda: os Pavimentos de Concreto Intertravado, compostos por peças pré-moldadas justapostas, e os Pavimentos de Concreto Permeável, projetados para permitir a infiltração da água no solo e atender requisitos de drenagem urbana sustentável, sendo ambos normalmente em concreto simples.

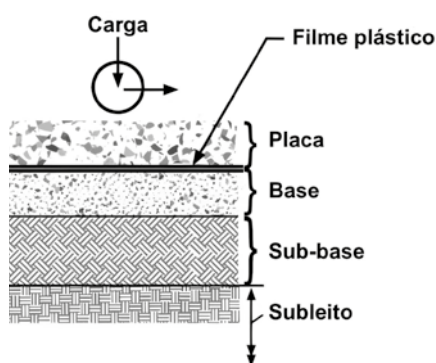
É importante ressaltar que essas designações constituem classificações técnicas de soluções construtivas, e não devem ser confundidas com a nomenclatura baseada em locais de aplicação, como “pavimento urbano”, “pavimento industrial” ou “pavimento rodoviário”. Tais termos indicam apenas o ambiente em que a solução técnica é empregada. Quando surgem denominações diferentes das apresentadas, que normalmente correspondem a designações de mercado, essas denominações não devem ser tratadas como classificações técnicas de pavimentos.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é sistematizar critérios de dimensionamento aplicáveis aos Pavimentos de Concreto Reforçado com Fibras (PCRFB) a partir da análise plástica de placas apoiadas em meio elástico, baseada na teoria das charneiras plásticas, e dos procedimentos estabelecidos pela norma brasileira ABNT NBR 16935 (2021) e da ABNT PR 1011 (2021).

## 2. ESTRUTURA DO PCRFB

Os PCRFBs são concebidos como placas retangulares apoiadas sobre fundação elástica (Figura 1). Recomenda-se que a relação entre os lados da placa não seja superior a 1,5 para evitar configurações excessivamente alongadas, que tendem a concentrar retrações e variações volumétricas em uma única direção. Essa limitação reduz a probabilidade de fissuração diferencial e contribui para uma distribuição mais uniforme dos esforços e deslocamentos ao longo da placa. As vinculações entre placas adjacentes podem ser consideradas de três formas: borda livre, quando não há transferência de esforços; borda com fibras, considerando a atuação das fibras como ponte de transferência de tensões, garantindo parte da continuidade; e borda com barras, quando há utilização de dispositivos de transferência de carga (barras de transferência). A espessura das placas pode ser usualmente definida entre 8 cm e 25 cm, a depender da aplicação, devendo ser confirmada no dimensionamento. O desempenho estrutural resulta da combinação das propriedades do concreto simples e da contribuição das fibras (resistência residual).

O suporte do pavimento é composto por três elementos principais: subleito, sub-base e interface placa-fundação. O subleito corresponde à camada de solo que recebe diretamente os esforços transmitidos pela placa, sendo caracterizado pelo módulo de reação de Westergaard ou coeficiente de recalque ( $k$ ), que relaciona



**FIGURA 1**

ESTRUTURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO

FONTE: ABNT PR 1011 (2021)

a pressão aplicada ao deslocamento resultante. A sub-base exerce função complementar, elevando a capacidade de suporte da fundação, uniformizando o comportamento mecânico ao longo da estrutura e reduzindo a possibilidade de bombeamento de finos do solo. Já, a interface entre a placa e a fundação desempenha papel relevante no tratamento dos efeitos da retração do concreto, pois o atrito nesta região condiciona a intensidade das tensões de origem volumétrica. A correta definição dessas condições de suporte é decisiva para garantir a estabilidade do pavimento, influenciando diretamente os esforços solicitantes considerados no dimensionamento (ABNT PR 1011, 2021).

### 2.1 Materiais

No dimensionamento do PCRFB, é necessário definir previamente as propriedades mecânicas dos materiais empregados.

Para o concreto simples, a resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) é determinada por meio de ensaio de compressão axial em corpos de prova cilíndricos (ABNT NBR 5739, 2018). A resistência característica à tração ( $f_{ct,fl}$  ou  $f_{ctm,k}$ ) é obtida por ensaio de tração na flexão de corpos prismáticos de seção quadrada (ABNT NBR 12142, 2010). O módulo de elasticidade utilizado nas análises elásticas, tanto para a determinação dos esforços solicitantes quanto para a verificação dos estados limites de serviço, corresponde ao módulo de elasticidade inicial ( $E_c$ ), calculado conforme a ABNT NBR 6118 (2023).

No caso do CRFB, a propriedade essencial é a resistência residual, obtida a partir da carga remanescente após a ruptura da matriz de concreto em ensaio de tração na flexão de corpos prismáticos até um deslocamento vertical estabelecido em norma (ABNT NBR 16940, 2021). Os valores dessas resistências são classificados em classes de projeto, de acordo com o *fib* Model Code (2020), em função da razão entre  $f_{R3m}$  e  $f_{R1m}$ . A classificação compreende cinco intervalos, conforme Tabela 1.

Como exemplo, a classe CRFB 2b corresponde a um valor de  $f_{R1m}$  igual ou superior a 2,00 MPa e um valor de  $f_{R3m}$  entre 1,40 MPa e 1,80 MPa.

Adicionalmente, deve-se considerar que o concreto é meio alcalino, o que

exige atenção quanto à estabilidade química das fibras nele incorporadas. Assim, a seleção do tipo de fibra deve sempre observar as especificações normativas aplicáveis. No caso das fibras de aço, a ABNT NBR 15530 (2019) estabelece os requisitos geométricos, mecânicos e de durabilidade, e a própria natureza do material — produzido com teor de carbono adequado — garante a formação de uma camada de óxidos passivantes que o torna estável em meio alcalino. Já, as fibras poliméricas devem atender à ABNT NBR 16942 (2021); para assegurar a estabilidade, é obrigatória a avaliação da resistência em meio alcalino conforme o Anexo A dessa norma, admitindo-se uma perda máxima de massa de 5% após ensaio acelerado. Por fim, as fibras de vidro devem atender à ABNT NBR 16941 (2021), devem ser do tipo álcali-resistente (AR), com teor mínimo de 16% de dióxido de zircônia ( $ZrO_2$ ), de modo a garantir estabilidade frente ao meio alcalino do concreto.

## 3. ESFORÇOS SOLICITANTES E ANÁLISE ESTRUTURAL

O desempenho estrutural dos PCRFBs é condicionado às ações a que as placas estão submetidas durante a vida útil. Essas ações podem ser classificadas em permanentes e variáveis. As permanentes correspondem aos efeitos indiretos da retração do concreto, enquanto as variáveis abrangem tanto os carregamentos diretos como as cargas de veículos, quanto os efeitos indiretos, como variações termo-higrométricas e a fadiga decorrente da repetição de solicitações. A verificação da segurança deve considerar as combinações possíveis, ponderadas por seus respectivos coeficientes, de modo a contemplar as condições mais desfavoráveis de solicitação (ABNT PR 1011, 2021).

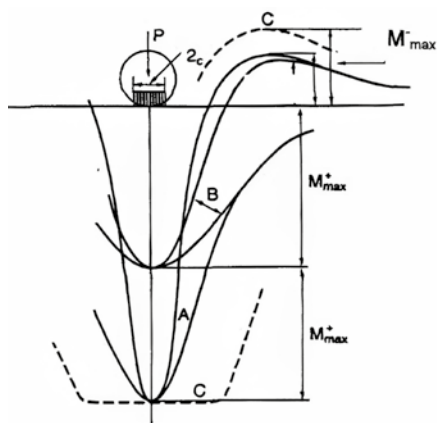
As cargas concentradas provenientes do tráfego de veículos configuram os

**TABELA 1**  
CLASSES DO CRFB

Classes	Intervalos de resistências
a	$0,5 \leq f_{R3m}/f_{R1m} < 0,7$
b	$0,7 \leq f_{R3m}/f_{R1m} < 0,9$
c	$0,9 \leq f_{R3m}/f_{R1m} < 1,1$
d	$1,1 \leq f_{R3m}/f_{R1m} < 1,3$
e	$f_{R3m}/f_{R1m} \geq 1,3$

esforços predominantes em pavimentos. A análise é conduzida a partir da teoria das charneiras plásticas (Yield Line), admitindo comportamento rígido-plástico ou elastoplástico para os materiais. Essa abordagem, baseada nos trabalhos de Losberg (1961) e Meyerhof (1962) *apud* Carnio (2009), permite avaliar situações de carregamento aplicadas no interior da placa (Caso I), em suas bordas (Caso II) ou em seus cantos (Caso III), que representam as condições críticas de solitação. A Figura 2 mostra a distribuição de momentos devido a uma carga concentrada no interior de uma placa de concreto sobre base elástica.

Na Tabela 2 são apresentadas as equações para o cálculo dos momentos fletores solicitantes devido às cargas concentradas. O cálculo da pressão de contato leva em conta a carga transmitida pela roda (P, em kN), a pressão de enchimento dos pneus (p, em MPa), o coeficiente de impacto dinâmico ( $\phi$ ) e o raio de rigidez relativo da placa apoiada sobre fundação elástica (l), sendo o raio da área de contato da carga determinado com a Equação 1 e o raio de rigidez relativo determinado com a Equação 2, onde o  $E_{ci}$  é o módulo de elasticidade tangente inicial do concreto (em MPa),  $\nu$  é coeficiente de Poisson e  $k$  é o módulo de reação vertical do sistema subleito/sub-base (em N/mm<sup>2</sup>).



**FIGURA 2**

DISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS DEVIDO A UMA CARGA CONCENTRADA NO INTERIOR DE UMA PLACA DE CONCRETO SOBRE BASE ELÁSTICA

FONTE: LOSBERG (1961) *apud* CARNIO (1998)

**TABELA 2**

EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DOS MOMENTOS FLETORES SOLICITANTES DEVIDO ÀS CARGAS CONCENTRADAS

	Caso I - Interior	Caso II - Borda	Caso III - Canto
$\frac{a}{l} = 0$	$(m + m') = \frac{P}{2 \cdot \pi}$	$(m + m') = \frac{P}{\left(\frac{\pi}{2} + 2\right)}$	$m' = \frac{P}{2}$
$\frac{a}{l} > 0,2$	$(m + m') = \frac{P \cdot \left(1 - \frac{a}{3 \cdot l}\right)}{(4 \cdot \pi)}$	$(m + m') = \frac{P \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot a}{3 \cdot l}\right)}{(\pi + 4)}$	$m' = \frac{P \cdot \left(1 - \frac{a}{l}\right)}{4}$

Obs.: INTERPOLAR LINEARMENTE PARA VALORES INTERMEDIÁRIOS ENTRE 0 E 0,2

$$[1] \quad a = \sqrt{\frac{\phi \cdot P}{\pi \cdot p}}$$

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

Os efeitos de retração são tratados como ações permanentes indiretas. A consideração desse fenômeno é feita por meio de análise linear, admitindo-se comportamento elástico-linear para os materiais. As tensões resultantes variam conforme a posição considerada – centro, borda ou canto da placa – e dependem do módulo de elasticidade secante do concreto ( $E_{cs}$ , em MPa), do coeficiente de fluência do concreto com fibras ( $\phi_f$ ), do fator de restrição associado ao atrito na interface com a fundação ( $\psi$ ) e da deformação por retração ( $\epsilon_R$ ). Na Tabela 3, são apresentadas as equações para o cálculo das tensões devido à retração. Essa avaliação é importante porque a retração pode contribuir para a fissuração precoce, comprometendo a durabilidade do pavimento (TR34, 2014). Usando a superposição de efeitos como estratégia de dimensionamento, as tensões de retração podem ser tratadas como momentos fletores equivalentes que as provocam, conforme é apresentado na Tabela 3.

As variações termo-higrométricas também geram tensões adicionais, resultantes do gradiente de temperatura e umidade entre as faces superior e inferior da placa. Esse desequilíbrio provoca empenamento diferencial, que deve ser considerado por análise linear, onde a tensão pode ser determinada com a Equação 3 e o momento equivalente que as provocam com a Equação 4, em função do módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ), do coeficiente de fluência do concreto com fibras ( $\phi_f$ ), da diferença de deformações ( $\Delta \epsilon$ ) e do coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). A superposição desses esforços com as cargas de tráfego pode agravar as condições de solitação e antecipar manifestações patológicas (TR34, 2014).

$$[3] \quad \sigma_E = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{E_{cs}}{(1 + \phi_f)} \cdot \left(\frac{\Delta \epsilon}{1 - \nu}\right)$$

$$[4] \quad m_E = \frac{\sigma_E \cdot b \cdot h^2}{6}$$

No âmbito da análise estrutural plástica, a ABNT NBR 16935 (2021) estabelece que a carga última das placas deve ser avaliada pela soma de dois momentos máximos: o momento fletor negativo ( $M_n$ ), dado pelo momento radial, e o momento fletor positivo ( $M_p$ ), associado ao momento tangencial e dependente da plastificação

**TABELA 3**

EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DOS MOMENTOS FLETORES EQUIVALENTES DEVIDO À RETRAÇÃO

	Caso I - Interior	Caso II - Borda	Caso III - Canto
Tensão	$\sigma_{Rcentro} = \Psi \cdot \frac{E_{cs}}{(1 + \phi_f)} \cdot \epsilon_R$	$\sigma_{Rborda} = \frac{\sigma_{Rcentro}}{2}$	$\sigma_{Rcanto} = 0$
Momento equivalente	$m_{Rcentro} = \frac{\sigma_R \cdot b \cdot h^2}{6}$	$m_{Rborda} = \frac{m_{Rcentro}}{2}$	$m_{Rcanto} = 0$



promovida pelo teor de fibras incorporadas ao concreto. Tendo como referências limites o momento fletor elástico ( $M_e$ ) e o momento fletor com a contribuição das fibras ( $M_f$ ), quando a soma dos momentos ( $M_p + M_n$ ) for inferior a  $M_e$ , a placa se comporta como concreto simples, apresentando ruptura frágil. A utilização das fibras torna-se então necessária para conferir ductilidade à seção, garantindo níveis adequados de segurança ao pavimento. Quando a soma ( $M_p + M_n$ ) supera o valor de  $M_e$ , o momento fletor positivo deve ser levado à plastificação, resultando na expressão ( $M_p + M_n$ ) =  $M_e + M_f$  (ABNT NBR 16935, 2021).

Por fim, a transferência de esforços entre placas desempenha papel crucial no desempenho global do pavimento. A continuidade estrutural é dependente do tipo de vinculação considerado: borda livre, borda com fibras ou borda com barras de transferência. Para cada situação, adota-se um coeficiente redutor aplicado aos momentos fletores, que representa a eficiência da transferência de cargas nas juntas. Esse fator é determinante para reduzir concentrações de tensões e distribuir os esforços entre as placas, contribuindo para o aumento da vida útil da estrutura.

#### 4. DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

O dimensionamento no Estado Limite Último (ELU) tem como finalidade garantir que as placas de CRF apresentem segurança à ruína sob as combinações de esforços mais desfavoráveis. Para isso, o modelo adotado considera a análise plástica do pavimento, conforme a teoria das charneiras plásticas, que admite o comportamento do CRF como material rígido-plástico ou elastoplástico. Essa abordagem é coerente com os trabalhos de Losberg e Meyerhof, amplamente utilizados em placas sobre fundações elásticas, e foi incorporada à norma brasileira ABNT NBR 16935 (2021).

No cálculo, o momento solicitante ( $M_{sd}$ ) resulta da combinação ponderada das cargas móveis de tráfego, dos efeitos de retração e das variações termo-higrométricas, aplicando-se os respectivos coeficientes de ponderação para ações permanentes e variáveis (Equação 5).

$$[5] \quad M_{sd} = \gamma_{Q,dir} \cdot (m + m') + \gamma_{Q,ind} \cdot m_E + \gamma_{G,ind} \cdot m_R$$

Onde:

$m$  e  $m'$  representam os momentos fletores decorrentes das cargas móveis;

$m_e$  corresponde ao momento associado às variações termo-higrométricas e;

$m_R$  ao momento devido à retração.

A resistência da seção é avaliada pela soma da contribuição do concreto simples e do concreto reforçado com fibras. O momento resistente  $M_{Rd}$  (Equação 6) é definido como a soma entre o momento fornecido pelo concreto simples  $M_{ed}$  (Equação 7), relacionado à resistência à tração do material (Equação 8), e o momento adicional devido às fibras  $M_{fd}$  (Equações 9 e 11). No caso do CRF, a norma ABNT NBR 16935 (2021) e o *fib* Model Code 2020 permitem duas formas de representação do diagrama tensão-abertura de fissura: o modelo rígido-plástico e o modelo linear (Figura 3). O primeiro utiliza diretamente o valor último da resistência residual  $f_{Ftu}$  (Equação 10), enquanto o segundo considera a média ponderada entre valores iniciais e finais de pós-fissuração (Equações 12 e 13), representando de forma mais gradual o comportamento resistente.

$$[6] \quad M_{Rd} = M_{ed} + M_{fd}$$

$$[7] \quad M_{ed} = \frac{\sigma_{ct,d} \cdot b \cdot h^2}{6}$$

$$[8] \quad \sigma_{ct,d} = \frac{f_{ct,fl}}{\gamma_{crf,t}}$$

$$[9] \quad M_{fd} = \frac{f_{Ftum}}{\gamma_{crf}} \cdot \frac{b \cdot h^2}{2}$$

$$[10] \quad f_{Ftum} = \frac{f_{R3}}{3}$$

$$[11] \quad M_{fd} = \frac{\frac{f_{Ftsm}}{2} + \frac{f_{Ftum}}{2}}{\gamma_{crf}} \cdot \frac{b \cdot h^2}{2}$$

$$[12] \quad f_{Ftum} = (0,5 \cdot f_{R3m} - 0,2 \cdot f_{R1m})$$

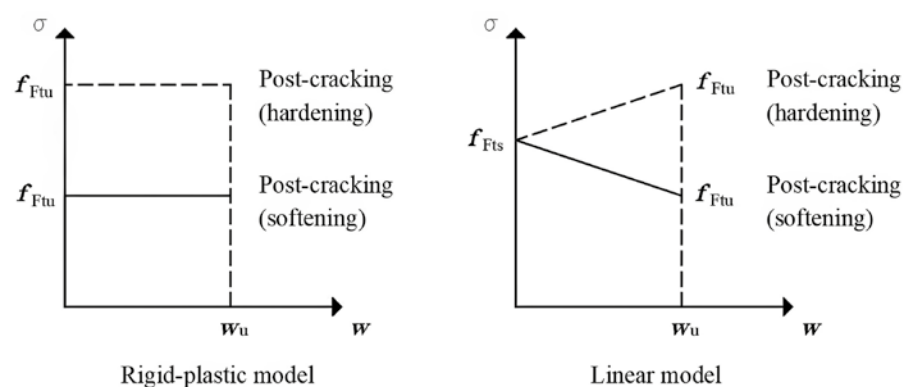
$$[13] \quad f_{Ftsm} = 0,45 \cdot f_{R1m}$$

Por fim, a ABNT NBR 16935 (2021) estabelece coeficientes de ponderação específicos para os parâmetros resistentes:  $\gamma_c=1,4$  para a resistência à compressão do CRF,  $\gamma_{crf,t}=1,5$  para a resistência à tração direta e  $\gamma_{crf}=1,5$  para as resistências residuais.

#### 5. VERIFICAÇÕES NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

As verificações no Estado Limite de Serviço (ELS) são fundamentais para assegurar que o PCRf mantenha desempenho adequado durante sua vida útil, evitando deformações excessivas e controlando a evolução de fissuras. Nesse contexto, dois aspectos principais devem ser avaliados: a fadiga e o deslocamento vertical da placa.

A fadiga está associada à repetição de solicitações ao longo do tempo, que pode comprometer a resistência residual do concreto reforçado com fibras. A ABNT PR 1011 (2021) recomenda a adoção do modelo proposto por Nayar (2014), no qual a capacidade resistente é ajustada em função dos parâmetros



**FIGURA 3**

LEIS CONSTITUTIVAS DE PÓS-FISSURAÇÃO DO CRF

FONTE: ABNT NBR 16935 (2021)

$f_{R1m}$  e  $f_{R3m}$ , calculados segundo o *fib Model Code 2020* (2023). O momento resistente de cálculo ( $M_{Rd}$ ), conforme Equação 14, passa a incluir fatores de minoração X e Y, que representam a redução da capacidade tanto para a seção não fissurada (concreto simples) quanto para a fase pós-fissuração (CRF). Esses coeficientes variam conforme o tipo de tráfego e o tipo e dosagem de fibras, podendo ser determinados a partir de estudos experimentais, como os de Carnio (2009). Dessa forma, a verificação de fadiga associada à expectativa de vida útil de projeto, pode garantir que o pavimento suporte um número elevado de ciclos de carga sem apresentar falhas.

$$[14] \quad M_{Rd} = \left[ X \cdot f_{ct,fl} + 3 \cdot Y \cdot \left( \frac{f_{Ftsm} + f_{Ftum}}{2} \right) \right] \cdot \frac{h^2}{6}$$

O deslocamento vertical da placa corresponde à avaliação das deformações em serviço. Essa verificação é realizada pela comparação entre o deslocamento calculado e um valor limite prescrito (Equação 15). O deslocamento é estimado com base na teoria da elasticidade de

Westergaard (1924) *apud* Carnio (2009), considerando placas sem vínculos e carregadas por forças concentradas, conforme Equação 16, onde c assume os valores de 0,125 para o caso I, 0,442 para o caso II e para o caso III deve ser calculado com a Equação 17. O valor máximo admissível depende do tipo de pavimento, mas uma referência possível é a limitação em L/600, conforme estabelecido na ABNT NBR 6118 (2023), onde L representa o menor lado da placa. Essa restrição tem como objetivo prevenir desconforto operacional e possíveis danos à estrutura, assegurando o desempenho funcional do pavimento.

$$[15] \quad DV \leq DV_{max}$$

$$[16] \quad DV = c \cdot \left( \frac{P}{k \cdot l^2} \right)$$

$$[17] \quad c = \left[ 1,1 - 1,24 \cdot \left( \frac{a}{l} \right) \right]$$

Portanto, as verificações no ELS complementam o dimensionamento realizado no ELU, garantindo que os PCRFs atendam não apenas aos critérios de segurança estrutural, mas também aos requisitos

de durabilidade e de utilização ao longo de sua vida útil.

## 6. CONCLUSÕES

O dimensionamento de PCRFs, fundamentado na teoria das charneiras plásticas e nos procedimentos da ABNT NBR 16935 e da ABNT PR 1011, permite projetar pavimentos seguros, duráveis e compatíveis com as condições reais de solicitação. A análise plástica oferece um modelo adequado para a determinação da carga última, enquanto as contribuições das resistências residuais do CRF asseguram maior ductilidade e controle da fissuração. As verificações no Estado Limite de Serviço, em especial fadiga e deslocamento vertical, complementam o dimensionamento ao garantir desempenho funcional e conforto em serviço. Os critérios apresentados consolidam uma base de dimensionamento que pode apoiar a difusão do uso do CRF em pavimentos, fortalecendo a prática do dimensionamento normativo no Brasil. Dessa forma, o uso do CRF em pavimentos representa uma alternativa eficiente e racional, combinando simplificação construtiva com ganhos de desempenho estrutural e durabilidade. ☺

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15530: Fibras de aço para concreto — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16940: Concreto reforçado com fibras — Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16941: Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Prática Recomendada: ABNT PR 1011: Projeto de pavimentos urbanos em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [8] CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *Eurocode 2: Design of concrete structures*. EN 1992-1-1:2004. Brussels, 2004.
- [9] CARNIO, M. A. Análise em regime plástico de placas de concreto reforçado com fibras de aço sobre base elástica. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 1998.
- [10] CARNIO, M. A. Propagação de trinca por fadiga do concreto reforçado com baixos teores de fibra. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2009.
- [10] *FIB - INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE. fib Model Code 2020*. Lausanne, Switzerland, 2020.
- [12] NAYAR, S. K., GETTU, R. A. *Comprehensive Methodology for the Design of Fiber Reinforced Concrete Pavement*. ACI - fib Internacional Workshop, 2014.
- [13] THE CONCRETE SOCIETY. TR 34: Concrete Industrial Ground Floors - A guide to design and construction. Camberley: The Concrete Society, 2014.

## PUC - Pavimento Urbano de Concreto como solução técnica e sustentável em loteamentos: o caso do Smart Urba Vila Profeta

EDUARDO GUIDA TARTUCE - Msc. Eng. - ([eduardo@mixdesign.com.br](mailto:eduardo@mixdesign.com.br)) – MixDesign Tartuce Engenheiros Associados

ALVARO SÉRGIO BARBOSA JÚNIOR - Msc. Eng. - ([alvaro@abesc.org.br](mailto:alvaro@abesc.org.br)) – ABESC

VITÓRIA ALVES CABRAL - Eng. - ([vitoria@abesc.org.br](mailto:vitoria@abesc.org.br)) – ABESC

### RESUMO

ESTE ARTIGO APRESENTA A APLICAÇÃO DO PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO (PUC) NO LOTEAMENTO SMART URBA VILA PROFETA, EM CAMPINAS/SP, COMO ALTERNATIVA AOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS. SÃO DESCRITOS OS CRITÉRIOS DE PROJETO, DIMENSIONAMENTO, EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DO SISTEMA, EM CONFORMIDADE COM NORMAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS. A ANÁLISE CONTEMPLA ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS, AMBIENTAIS E SOCIAIS, COM DESTAQUE PARA A VIDA ÚTIL ESTIMADA EM MAIS DE 20 ANOS, A REDUÇÃO DE INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO E OS GANHOS RELACIONADOS À SEGURANÇA VIÁRIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. O ESTUDO EVIDENCIA A VIABILIDADE DO PUC COMO SOLUÇÃO REPLICÁVEL EM LOTEAMENTOS URBANOS NO BRASIL.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO, LOTEAMENTOS, DURABILIDADE, SUSTENTABILIDADE, MOBILIDADE URBANA.

### 1. INTRODUÇÃO

A pavimentação urbana enfrenta desafios crescentes quanto à durabilidade, custos de manutenção e impactos ambientais. O pavimento asfáltico, amplamente utilizado, apresenta degradação acelerada em condições climáticas adversas, que culmina na limitação da sua vida útil e maiores custos no ciclo de vida do pavimento.

Nesse cenário, o Pavimento Urbano de Concreto (PUC) surge como alternativa técnica

respaldada por normas como a ABNT PR 1011:2021 - Projeto de pavimentos urbanos em concreto (ABNT, 2021), e documentos internacionais como o ACI 330R-08 (ACI, 2008). Países desenvolvidos vêm adotando esta solução em larga escala, destacando benefícios estruturais e ambientais.

O presente artigo tem como objetivo analisar a adoção do PUC no loteamento Smart Urba Vila Profeta (Figura 1), avaliando critérios de projeto, execução, desempenho esperado e benefícios em sustentabilidade, de modo a demonstrar a viabilidade da solução como modelo

replicável em loteamentos urbanos no Brasil.

### 2. DESENVOLVIMENTO

#### 2.1 Caracterização do empreendimento

O Smart Urba Vila Profeta é um bairro planejado em Campinas/SP, com 768 lotes residenciais e 5,9 km de vias internas. O conceito do empreendimento está alinhado às práticas de smart cities, priorizando mobilidade, eficiência energética e conforto térmico.

#### 2.2 Projeto e dimensionamento

O dimensionamento do pavimento de concreto foi estabelecido em função das diferentes solicitações de tráfego previstas para cada via. Para as placas arteriais, adotou-se espessura de 12 cm, compatível com uma carga de projeto de 12 t/eixo, adequada a vias de maior intensidade e peso de veículos. Já as placas secundárias foram projetadas com 10 cm de espessura, dimensionadas para 3 t/eixo, garantindo desempenho técnico satisfatório com otimização de recursos estruturais. Essa diferenciação encontra respaldo em recomendações nacionais e internacionais, como o Manual de Pavimentação do



**FIGURA 1**

PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO FINALIZADO EM VIAS INTERNAS DO EMPREENDIMENTO SMART URBA VILA PROFETA

FONTE: URBA, 2023

## QUADRO 1

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO

Item	Especificação
Placas arteriais	12 cm de espessura, carga de projeto de 12 t/eixo.
Placas secundárias	10 cm de espessura, carga de projeto de 3 t/eixo.
Dimensões modulares	Aproximadamente 2 m x 2 m, otimizando retração e controle de juntas.
Reforço	Macrofibras sintéticas (3 kg/m <sup>3</sup> ) de polipropileno, substituindo telas de aço (NBR 16942 (ABNT, 2021) e ACI 544 (ACI, 2018)).
Juntas	Serradas 1/3 da espessura do pavimento, sem preenchimento, empregado apenas nos encontros com sarjetas, de acordo com dimensionamento, conforme o ACI 330R-08.
Aditivos	Plastificantes e redutores de retração para melhorar a trabalhabilidade e minimizar micro fissuração (FERRAZ; VENANCIO, 2022).

FONTE: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE PROJETO

DNIT (2013) e o guia da ACI 325.12R-02 (ACI, 2002).

Com o intuito de minimizar os efeitos da retração e controlar a fissuração, foram adotadas placas de aproximadamente 2,0 m x 2,0 m, configuração que favorece o equilíbrio das tensões internas e contribui para a durabilidade do sistema. O tratamento das juntas foi simplificado, restringindo-se à execução de juntas serradas apenas nos encontros com sarjetas. Essa solução reduz etapas construtivas e custos de manutenção, desde que respeitados os critérios de profundidade e tempo de corte, conforme ACI 302.1R-15 (ACI, 2015) e o *Technical Report 34 (THE CONCRETE SOCIETY, 2016)*.

No que se refere ao reforço, optou-se pela utilização de macrofibras sintéticas de polipropileno na dosagem de 3 kg/m<sup>3</sup>, em substituição às fibras metálicas ou telas de aço convencionalmente empregadas. Tal escolha fundamenta-se na durabilidade do material, que não sofre corrosão, e na racionalização dos processos construtivos. Além disso, as fibras sintéticas contribuem para o controle da fissuração plástica e hidráulica, assegurando desempenho adequado. O comportamento residual do concreto reforçado com fibras foi avaliado segundo a ABNT NBR 16942:2021, em consonância com as recomendações da ACI 544.4R-18 (2018) e da ASTM C1609 (2019).

Adicionalmente, foram incorporados aditivos plastificantes e redutores de retração, visando melhorar a trabalhabilidade no estado fresco e reduzir a micro fissuração no endurecido. Estudos anteriores (FERRAZ; VENANCIO, 2022) já destacam a contribuição desses aditivos para a homogeneidade da mistura, o controle da retração e o aumento da durabilidade. Do ponto de vista normativo, os requisitos de desempenho e classificação seguem as diretrizes da ABNT NBR 11768-1:2019, da ABNT NBR 11768-3:2019 e da ASTM C494/C494M (2019).

O Quadro 1 traz um resumo das características apresentadas anteriormente.

### 2.3 Execução e controle tecnológico

A execução do pavimento foi realizada em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 14931:2023 (ABNT, 2023), complementados pelas recomendações do ACI 302.1R:2015 (ACI, 2015), que tratam das boas práticas de execução de estruturas e pisos de concreto.

O controle tecnológico foi realizado com base no traço definido pelos critérios de resistência mecânica à compressão e resistência à tração, assegurando tanto a trabalhabilidade adequada quanto o desempenho estrutural previsto em projeto. Todos os ensaios executados no âmbito do controle tecnológico apresentaram resultados superiores aos especificados.

A cura do concreto seguiu as prescrições da ABNT NBR 14931:2023 (ABNT, 2023), sendo realizada em duas etapas. A primeira consistiu na aplicação de uma cura química intermediária sobre o concreto fresco, imediatamente após o adensamento, com o objetivo de reduzir a evaporação inicial da água. A segunda etapa ocorreu após o processo de vassouramento super-

ficial, com a aplicação de uma cura final à base de parafina, garantindo a hidratação contínua do cimento e reduzindo a suscetibilidade à retração e à micro fissuração.

O controle geométrico contemplou a verificação da espessura das placas e da planicidade superficial, assegurando a fidelidade às condições de projeto. Esse procedimento foi fundamental para garantir o desempenho estrutural e a durabilidade do pavimento.

Por fim, o acabamento recebeu vassouramento superficial, técnica que confere maior atrito à superfície e contribui para a segurança na frenagem de veículos, atendendo aos requisitos de desempenho e segurança viária previstos em normas nacionais e internacionais.

### 2.4 Manutenção e vida útil requerida

A solução adotada para o pavimento foi projetada com foco em desempenho e durabilidade a longo prazo. A vida útil de projeto foi estabelecida em, no mínimo, 20 anos, conforme ART em conformidade

## QUADRO 2

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO

Característica	Especificação
1. Resistência à tração na fleção	$f_{ctm}$ , $k \geq 4,2$ MPa
2. Resistência à compressão - 28 dias ( $f_{ck}$ )	$\geq 30,0$ MPa
3. Abatimento	100 a 120 mm (!)
4. Teor da argamassa	$49\% \leq a \leq 52\%$
5. Consumo de cimento	300 a 360 kg/m <sup>3</sup>
6. Consumo de água	$\leq 190$ litros/m <sup>3</sup>
7. Adição de microfibras de polipropileno monofilamentp (*)	(*) g/m <sup>3</sup>
7. Adição de macrofibra Fr4 $\leq 1,3$ MPa - k90%	3,0 kg/m <sup>3</sup> a 4,5 kg/m <sup>3</sup>
9. Retração (8 semanas)	$\leq 300$ $\mu$ m/m
10. Teor de ar incorporado	$\leq 3\%$
11. Exsudação	$\leq 4\%$
12. Relação água/cimento	$\leq 0,55$
13. Aditivo compensador de retração	$\geq 8$ km/m <sup>3</sup>

FONTE: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE PROJETO

com as diretrizes da ABNT PR 1011 (ABNT, 2021), que trata projeto de pavimentos urbanos em concreto e estabelece parâmetros técnicos.

Como reforço à credibilidade técnica, foi concedida à Prefeitura de Campinas uma garantia estendida de 10 anos, prática pouco usual em obras viárias, que reforça a confiança na solução empregada.

Um dos diferenciais mais relevantes em relação ao pavimento asfáltico convencional está na redução da necessidade de manutenção, estimada em até 75% ao longo da vida útil da estrutura, conforme os estudos de fadiga do pavimento.

Essa característica decorre da maior resistência mecânica e durabilidade intrínseca do concreto, além da redução dos efeitos de deformações permanentes típicas de revestimentos flexíveis, como trilhas de roda e exsudação.

Outro aspecto positivo está na facilidade de intervenções localizadas. Na eventual necessidade de manutenção, o sistema permite a substituição pontual de placas, sem comprometer a integridade do conjunto e sem gerar extensos bloqueios de tráfego. Característica que permite a recuperação localizada do pavimento, com menores custos e menor impacto ao tráfego.

Assim, a combinação entre vida útil projetada, garantia estendida, redução significativa de manutenção e facilidade de reparo localizado consolida o pavimento de concreto como uma alternativa com desempenho superior em durabilidade e manutenção em relação às soluções tradicionais.

## 2.5 Aspectos econômicos

A variação significativa nos custos do material asfáltico evidencia a vantagem econômica do pavimento de concreto (PUC) ao longo de seu ciclo de vida. Considerando a maior durabilidade do PUC, a redução expressiva da necessidade de manutenção e a facilidade de reparos localizados, o PUC se apresenta como uma alternativa mais competitiva e sustentável em comparação com soluções flexíveis, como o asfalto.



### FIGURA 2

VISÃO GERAL DO CANTEIRO DE OBRAS DO SMART URBA VILA PROFETA, EM FASE DE IMPLANTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA VIÁRIA COM PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO (PUC)

FONTE: URBA, 2022/2023

## 2.6 Aspectos ambientais e sociais

Além dos aspectos estruturais e econômicos, o pavimento de concreto também oferece benefícios ambientais e de segurança viária. Um dos impactos positivos é a redução das ilhas de calor urbano, decorrente da maior refletância da superfície do concreto em comparação com pavimentos asfálticos escuros. Esse efeito contribui para a melhora do microclima urbano e para a redução de demandas de refrigeração em áreas adjacentes.

A refletância também proporciona economia de energia na iluminação pública, estimada entre 30% e 60%, devido à maior dispersão da luz natural durante o dia, reduzindo a necessidade de iluminação artificial intensa à noite e contribuindo para a eficiência energética urbana.

No quesito segurança viária, estudos indicam que os pavimentos de concreto favorecem a frenagem dos veículos, com redução de 16% na distância de parada em pista seca e 40% em pista molhada (ACI 330R-08, 2008). Esses resultados refletem o melhor coeficiente de atrito do concreto em relação ao asfalto, impactando diretamente na diminuição de acidentes e no aumento da segurança para motoristas e pedestres.

Por fim, a adoção do pavimento de concreto contribui para certificações ambientais de construções, como LEED (USGBC, 2019) e AQUA (FUNDAÇÃO

VANZOLINI, 2017), uma vez que promove a redução do consumo energético, melhora o microclima urbano e favorece o uso de materiais duráveis e de baixo impacto ambiental. Esse aspecto reforça a importância do concreto como solução sustentável para infraestrutura urbana, aliando durabilidade, desempenho e benefícios ambientais.

## 2.7 Escalabilidade

A solução adotada será replicada como modelo técnico para futuros empreendimentos da Urba, reforçando a viabilidade do PUC em loteamentos abertos e fechados em todo o Brasil.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do pavimento urbano de concreto implantado no Smart Urba Vila Profeta permite comparar seu desempenho com o pavimento asfáltico convencional (Quadro 3).

Do ponto de vista técnico, a vida útil projetada de  $\geq 20$  anos está em conformidade com a ABNT PR 1011 (ABNT, 2021) e com recomendações do ACI 325.12R-02 (ACI, 2002), superando em mais de duas vezes a durabilidade típica de revestimentos asfálticos. Isso confirma a adequação do dimensionamento empregado.

No aspecto econômico, a maior durabilidade e a menor necessidade de manutenção do PUC resultam em custos mais baixos ao longo do ciclo de vida. Essa constatação converge com análises de custo em ciclo de vida disponíveis na literatura (JOHN, 2022; ACI, 2008).

Quanto aos aspectos ambientais, os benefícios de refletância e mitigação das ilhas de calor urbano estão alinhados a estudos que relacionam pavimentos de concreto à redução da demanda energética em áreas urbanas densas (USGBC, 2019; FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2017).

Do ponto de vista da segurança viária, os dados de literatura apontam redução de até 40% na distância de frenagem em pista molhada (ACI, 2008), o que reforça a

### QUADRO 3

COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE O PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO E O ASFALTO CONVENCIONAL

contribuição do PUC para a mobilidade urbana mais segura.

Por fim, a possibilidade de replicação do modelo em outros empreendimentos confirma o potencial do PUC como alternativa viável para loteamentos em diferentes contextos urbanos no Brasil.

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo de caso do Smart Urba Vila Profeta mostrou que o Pavimento Urbano de Concreto atende simultaneamente a requisitos de desempenho estrutural, durabilidade, manutenção reduzida e ganhos ambientais.


A vida útil projetada de  $\geq 20$  anos, associada à menor frequência de intervenções, resulta em vantagem técnica e

Critério	PUC - Smart Urba Vila Profeta	Asfalto convencional
Vida útil	$\geq 20$ anos (PR 1011)	8-10 anos
Manutenção	Substituição localizada de placas	Recapeamentos frequentes
Custo no ciclo de vida	Menor (variação baixa do cimento)	Maior (alta variação do CAP)
Sustentabilidade	Redução de ilhas de calor; refletância	Superfície escura e quente
Segurança viária	Redução de 16-40% na distância de frenagem	Pista lisa e degradável

FONTE: ESTUDO DE CASO DO SMART URBA VILA PROFETA

econômica em comparação com o pavimento asfáltico.

Além disso, os efeitos positivos na refletância, eficiência energética e segurança viária reforçam a contribuição do PUC para

políticas de mobilidade e sustentabilidade urbana. A replicabilidade do modelo em novos empreendimentos evidencia o potencial do PUC como solução consolidada para pavimentação em loteamentos no Brasil. 

#### ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. PR 1011: Projeto de pavimentos urbanos em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [2] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- [3] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15530: Fibras de aço para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [4] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [5] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16938: Concreto reforçado com fibras - Controle da qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [6] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16939: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo punção - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [7] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16940: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [8] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [9] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768-3: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 3: Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [10] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. ACI 330R-08: Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots. Farmington Hills, MI: ACI, 2008.
- [11] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. ACI 360R-10: Guide to Design of Slabs-on-Ground. Farmington Hills, MI: ACI, 2010.
- [12] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. ACI 325.12R-02: Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads. Farmington Hills, MI: ACI, 2002.
- [13] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. ACI 302.1R-15: Guide to Concrete Floor and Slab Construction. Farmington Hills, MI: ACI, 2015.
- [14] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. ACI 544.4R-18: Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete. Farmington Hills, MI: ACI, 2018.
- [15] THE CONCRETE SOCIETY. Technical Report 34: Concrete Industrial Ground Floors - A Guide to Design and Construction. 4. ed. Camberley: The Concrete Society, 2016.
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. C1609/C1609M-19: Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading). West Conshohocken, PA: ASTM, 2019.
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. C494/C494M-19: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM, 2019.
- [18] FERRAZ, D. F.; VENANCIO, R. J. C.. Aditivos para concreto. In: Concreto: Ciência e tecnologia. Vol. 1. Editores: Bernardo Tutikian, Fernanda Pacheco, Geraldo Isaia, Inês Battagin. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2022, p. 411- 448.
- [19] JOHN, V. M.. Concreto Sustentável. In: Concreto: Ciência e tecnologia. Vol. 2. Editores: Bernardo Tutikian, Fernanda Pacheco, Geraldo Isaia, Inês Battagin. 3ª ed., São Paulo: IBRACON, 2022, p. 1969-1998.
- [20] UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL - USGBC. LEED v 4.1 for Cities and Communities: Existing. Washington, DC: USGBC, 2019.
- [21] FUNDAÇÃO VANZOLINI. Referencial Técnico AQUA-HQE: Construção sustentável. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2017.
- [22] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2013.

## Evolução dos métodos de classificação de pavimentos aeroportuários: do sistema ACN/PCN ao ACR/PCR

THIAGO FIORAVANTI - COORD. DE ENG. - (thiago@lpe.eng.br) – LPE Engenharia e Consultoria

### RESUMO

O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS É ESSENCIAL PARA GARANTIR A COMPATIBILIDADE ENTRE AERONAVES E PISTAS, PRESERVANDO A INTEGRIDADE ESTRUTURAL E A SEGURANÇA OPERACIONAL. DURANTE DÉCADAS, O SISTEMA ACN/PCN (*AIRCRAFT CLASSIFICATION NUMBER/PAVEMENT CLASSIFICATION NUMBER*, EM LÍNGUA INGLESA), PROPOSTO PELA *INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION*, EM LÍNGUA INGLESA, ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (ICAO) EM 1983, FOI AMPLAMENTE ADOTADO EM TODO O MUNDO. ENTRETANTO, COM O AVANÇO DAS TÉCNICAS DE MODELAGEM NUMÉRICA, DOS MÉTODOS MECANICISTAS E DA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS, VERIFICOU-SE QUE O MODELO ACN/PCN APRESENTAVA LIMITAÇÕES, ESPECIALMENTE QUANTO À REPRESENTATIVIDADE REAL DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES NAS CAMADAS DO PAVIMENTO. EM RESPOSTA, A ICAO INTRODUZIU EM 2020 O NOVO MÉTODO ACR/PCR (*AIRCRAFT CLASSIFICATION RATING/PAVEMENT CLASSIFICATION RATING*), QUE REFORMULA O CONCEITO DE CAPACIDADE ESTRUTURAL COM BASE EM ANÁLISES COMPUTACIONAIS MULTICAMADAS E CRITÉRIOS DE FADIGA E DEFORMAÇÃO PERMANENTES. ESTE ARTIGO DISCUTE A EVOLUÇÃO CONCEITUAL ENTRE OS DOIS SISTEMAS, DESCREVE SUAS BASES TEÓRICAS E APRESENTA UM COMPARATIVO TÉCNICO QUE EVIDENCIA AS VANTAGENS DO NOVO MODELO NO CONTEXTO ATUAL DA ENGENHARIA AEROPORTUÁRIA.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS, ACN/PCN, ACR/PCR, CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL.

### 1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento e a avaliação estrutural dos pavimentos aeroportuários representam um dos pilares da engenharia de transportes, dada a elevada magnitude

das cargas transmitidas pelas aeronaves e a necessidade de garantir níveis adequados de segurança e desempenho ao longo da vida útil da infraestrutura (Horonjeff *et al.*, 2010).

Até o início da década de 1980, a avaliação da capacidade de suporte das pistas era feita de forma não padronizada entre os países, o que dificultava a compatibilização entre o peso das aeronaves e a resistência dos pavimentos. Com o intuito de estabelecer uma linguagem técnica universal, a ICAO (1983) introduziu o sistema ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number*), cujo objetivo era permitir que operadores e autoridades aeroportuárias comparassem, de modo simples, a capacidade estrutural de um pavimento com o nível de solicitação gerado por uma aeronave.

Apesar de seu sucesso e ampla difusão, o sistema ACN/PCN baseia-se em simplificações significativas, como o uso de um modelo empírico para diferentes tipos de pavimento e subleito (FAA, 2009). Na prática, tais simplificações conduzem a resultados conservadores ou imprecisos, uma vez que podem não representar adequadamente o comportamento real das estruturas multicamadas submetidas a cargas repetidas.

Com o avanço dos métodos mecanicistas-empíricos e a disseminação de ferramentas de elementos finitos e teorias multicamadas elásticas, surgiu a necessidade de atualizar o método de classificação de pavimentos, refletindo melhor a realidade física e mecânica das solicitações e respostas estruturais. Assim, em 2020, a ICAO pu-

blicou o *Aerodrome Design Manual*, introduzindo o novo sistema ACR/PCR (*Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating*), substituindo gradualmente o sistema anterior (ICAO, 2020).

O objetivo deste artigo é discutir a evolução conceitual e metodológica dos sistemas de classificação de pavimentos aeroportuários, abrangendo os fundamentos teóricos que sustentam o ACR/PCR, suas diferenças em relação ao ACN/PCN, as implicações práticas de sua adoção e exemplos de aplicação. O trabalho também busca evidenciar a importância da modernização dos métodos de avaliação para o planejamento e gestão da infraestrutura aeroportuária no cenário contemporâneo.

### 2. DESENVOLVIMENTO

#### 2.1 Fundamentos do sistema ACN/PCN

O sistema ACN/PCN foi introduzido pela ICAO em 1983 com o objetivo de padronizar a comunicação entre operadores aeroportuários e companhias aéreas sobre a capacidade de suporte estrutural dos pavimentos (ICAO, 1983). O conceito baseia-se na analogia direta entre o nível de solicitação da aeronave (ACN) e a capacidade estrutural do pavimento (PCN).

Quando o  $ACN \leq PCN$ , a operação da aeronave é permitida sem restrições estruturais, assumindo que o pavimento está em boas condições e o tráfego está dentro dos limites previstos.

Existem dois modelos matemáticos que podem ser empregados para determinar o valor de ACN, variando conforme

o tipo de pavimento analisado. Para pavimentos rígidos, aplica-se a Teoria de Westergaard (Yoder, 1975), que considera uma placa elástica apoiada sobre uma fundação do tipo Winkler e adota como referência uma tensão admissível do concreto de 2,75 MPa (ANAC, 2016). Já no caso de pavimentos flexíveis ou semi-flexíveis, o cálculo depende do valor do *California Bearing Ratio* (CBR) e utiliza a solução de Boussinesq, que se baseia nos deslocamentos e esforços de um meio contínuo homogêneo e isotrópico (Oliveira, 2016).

A determinação do ACN é feita considerando uma aeronave de referência com carga máxima de decolagem MTOW (*Maximum Takeoff Weight*, em língua inglesa) aplicada a um pavimento padrão composto por duas camadas elásticas: a camada de revestimento e o subleito. O subleito é caracterizado pela resistência do subleito normalizada e classificado em quatro categorias (A a D), conforme mostrado na Tabela 1 para pavimentos rígidos e Tabela 2 para pavimentos flexíveis.

## 2.2 Limitações do sistema ACN/PCN

Apesar de ter sido amplamente aceito por quase quatro décadas, o sistema ACN/PCN apresenta limitações técnicas e operacionais importantes:

- Simplificação geométrica e mecânica, que considerada a presença de apenas duas camadas homogêneas e isotrópicas, o que ignora a interação real entre as diversas camadas e os efeitos de confinamento e tensões não lineares (Ullidtz, 1998);
- Dependência de correlações empíricas fixas, de modo que os valores de ACN são calculados para condições padronizadas de subleito, o que limita a representatividade para aeroportos com materiais locais de comportamento diferenciado (FAA, 2009);
- Ausência de critério de desempenho explícito: o ACN/PCN não está diretamente ligado a um limite de fadiga ou deformação, mas apenas a uma condição de suporte idealizada; e
- Incompatibilidade com métodos mecanicistas-empíricos modernos: o modelo é inconsistente com ferramentas analíticas como FAARFIELD, LEDFAA ou EverFE, que consideram resposta

**TABELA 1**

CATEGORIAS DE SUBLEITO PARA O MÉTODO ACN/PCN EM PAVIMENTOS RÍGIDOS

Categoria do subleito	Resistência do subleito k (MN/m <sup>3</sup> )	Resistência do subleito normalizada k (MN/m <sup>3</sup> )	Código
Alta	$k \geq 120$	150	A
Média	$60 < k < 120$	80	B
Baixa	$25 < k \leq 60$	40	C
Ultrabaixa	$k \leq 25$	20	D

FONTE: ANAC (2016)

**TABELA 2**

CATEGORIAS DE SUBLEITO PARA O MÉTODO ACN/PCN EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Categoria do subleito	Resistência do subleito CBR (%)	Resistência do subleito normalizada CBR (%)	Código
Alta	$CBR \geq 13$	15	A
Média	$8 < CBR < 13$	10	B
Baixa	$4 < CBR \leq 8$	6	C
Ultrabaixa	$CBR \leq 4$	3	D

FONTE: ANAC (2016)

multicamadas e acúmulos de dano (Kim e Tutumluer, 2016).

Essas limitações impulsionaram a ICAO (2020) e outras autoridades, como a FAA (2021) e a EASA (2024), a desenvolver um sistema mais coerente com os métodos de análise estrutural atualmente empregados.

## 2.3 Introdução ao sistema ACR/PCR

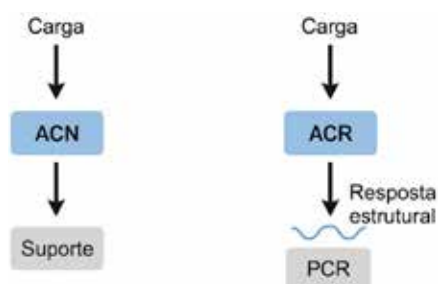
O sistema ACR/PCR, introduzido oficialmente pela ICAO em 2020, representa uma modernização substancial do proces-

so de classificação de pavimentos aeroportuários. O novo método adota conceitos mecanicistas de resposta estrutural, em que a capacidade do pavimento é avaliada considerando as tensões, deformações e fadiga acumulada nas camadas constituintes (ICAO, 2020; FAA, 2021).

Diferentemente do ACN/PCN, o ACR/PCR é baseado em modelagem multicamadas, levando em conta o número de repetições de carga admissível até a ocorrência de um critério de falha (fadiga ou deformação permanente). Assim, o ACR é o valor que representa o nível de solicitação gerado pela aeronave, enquanto o PCR indica o limite de resistência do pavimento.

A Figura 1 apresenta o conceito de equivalência entre o antigo e o nosso sistema: enquanto o ACN/PCN compara carga e suporte de forma empírica, o ACR/PCR relaciona resposta estrutural e desempenho limite com base mecanicista.

A avaliação do PCR pode ser realizada com o auxílio de softwares compatíveis com modelos multicamadas, como o FAARFIELD (*FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*), da FAA (*Federal Aviation Administration*), ou o LEAF (*Layered Elastic Analysis for Flexible*



**FIGURA 1**

RELAÇÃO CONCEITUAL ENTRE ACN/PCN E ACR/PCR

FONTE: AUTOR (2025)



*Pavements*), que calculam as tensões principais, deformações e número de repetições de carga admissíveis até falha (Huang, 2004).

A Tabela 3 resume as principais diferenças entre os dois métodos.

Em termos práticos, o ACR/PCR permite ajustar o PCR ao desempenho real do pavimento, considerando o tráfego efetivo e as condições locais de solo e clima. Isso viabiliza operações mais seguras e econômicas, reduzindo intervenções prematuras e otimizando os custos de manutenção (Kim e Tutumluer, 2016; FAA, 2021).

## 2.4 Aplicações práticas e estudos comparativos

Desde a introdução do ACR/PCR pela ICAO (2020), diversas pesquisas vêm comparando os resultados obtidos por ambos os métodos em condições reais de operação. Os estudos indicam que, embora o ACR/PCR mantenha a filosofia de equivalência estrutural entre solicitação e capacidade, ele produz classificações mais consistentes com o comportamento observado em campo.

Loizos e Charonitis (2019) analisaram pavimentos de aeródromos europeus e verificaram que os valores de PCN obtidos pelo método tradicional tendiam a divergir dos níveis reais de dano mensurados por meio de retroanálises mecanicistas. Em contrapartida, os PCRs calculados com base no FAARFIELD apresentaram correlação direta com as deflexões e fadigas acumuladas nas camadas de base, refletindo com maior precisão a condição estrutural das pistas.

Em estudo conduzido pela FAA, em cooperação com a Norwegian University of Science and Technology (NTNU/FAA,

2023), foi realizada uma comparação entre os valores de PCN e PCR em pistas de grande e médio porte nos Estados Unidos e Europa. Observou-se que o PCR tende a ser, em média, 10 a 20% inferior ao PCN previamente reportado, revelando que o método antigo subestimava o efeito acumulado de danos repetitivos em pavimentos com materiais mais rígidos.

Zhang *et al.* (2023) confirmaram essa tendência em pavimentos rígidos, demonstrando que o método ACN/PCN não captava adequadamente o comportamento de flexão das placas de concreto sob carregamentos múltiplos, enquanto o ACR/PCR, por meio da análise multicamada e da contabilização da fadiga, aproximou-se dos resultados obtidos por ensaios de campo.

Outros estudos recentes, como o de Sun *et al.* (2022), mostraram que a retroanálise de PCN por ensaios de deflectometria (FWD/HWD) apresenta grandes variações, dependendo das hipóteses assumidas, o que reforça a necessidade de um método mais mecanicista, como o ACR/PCR.

Esses resultados evidenciam que o novo sistema proporciona maior rastreabilidade, consistência técnica e reprodutibilidade, aspectos críticos para a gestão moderna da infraestrutura aeroportuária.

## 2.5 O papel do CDF (Cumulative Damage Factor)

Um dos principais avanços introduzidos pelo sistema ACR/PCR é a incorporação explícita do *CDF - Cumulative Damage Factor*, conceito que quantifica o dano acumulado no pavimento devido às repetições de carga das aeronaves (ANAC, 2023).

O *CDF* já estava implicitamente pre-

sente no raciocínio do ACN/PCN, porém, de forma empírica e sem rastreabilidade. No ACR/PCR, esse parâmetro torna-se parte central do cálculo do PCR, sendo obtido diretamente de modelos mecanicistas calibrados.

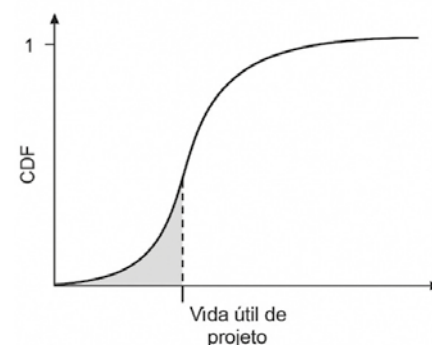
De acordo com o Manual de Cálculo de PCR de Pavimentos Aeroportuários (ANAC, 2023), o *CDF* representa a fração da vida de projeto consumida pela fadiga do material ou pela deformação permanente do subleito. A formulação segue o conceito clássico da Lei de Miner (Miner, 1945), expresso pela Equação 1:

$$[1] \quad DF = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_{fi}}$$

Onde  $N_{vi}$  = número de passagens da aeronave  $i$  no período considerado);  $N_{fi}$  = número de passagens até a falha se apenas a aeronave  $i$  atuasse; e  $n$  = número total de tipos de aeronaves no mix operacional.

Quando  $CDF = 1,0$ , significa que a vida útil de projeto foi totalmente consumida; valores menores indicam margem de vida remanescente e valores acima de 1,0 indicam esgotamento estrutural (Figura 2).

O FAARFIELD, software oficial da FAA para análises mecanicistas-empíricas, calcula o número de repetições até falha ( $N_{fi}$ ) com base nas respostas elásticas e nas equações de fadiga calibradas por ensaios em pistas experimentais. O método considera a configuração do trem de pouso, os desvios laterais de tráfego,



**FIGURA 2**  
INTERPRETAÇÃO DO CDF EM TERMOS DE CONSUMO DA VIDA ÚTIL DE PROJETO

FONTE: ADAPTADO DE ANAC (2023)

### TABELA 3

COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS ENTRE ACN/PCN E ACR/PCR

Aspecto	ACN/PCN	ACR/PCR
Base conceitual	Empírico simplificado	Mecanicista-empírico
Critério de avaliação	Reação do subleito	Fadiga e deformação
Tipo de resultado	Comparativo	Relacionado à vida útil
Representatividade	Limitada	Alta
Ferramenta de cálculo	Simplificado	Softwares especializados

FONTE: AUTOR (2025)

as condições de temperatura e o módulo resiliente das camadas. Segundo a ANAC (2023), o PCR é determinado de forma que o *CDF* total seja igual a 1,0 ao final da vida útil de projeto adotada (geralmente 20 anos). Isso assegura que o pavimento opere dentro dos limites de segurança estrutural, permitindo ainda a reavaliação periódica conforme novos dados de tráfego ou intervenções de manutenção.

## 2.6 Implicações para a engenharia e gestão aeroportuária

A introdução do sistema ACR/PCR implica mudanças significativas no processo de dimensionamento, manutenção e operação dos pavimentos aeroportuários:

- a) Integração com o gerenciamento de pavimentos. O PCR, por ser recalculável conforme o consumo de dano (*CDF*), permite o monitoramento contínuo do desempenho, auxiliando na priorização de intervenções e na previsão de vida útil residual;
- b) Maior precisão na avaliação estrutural.

O método mecanicista-empírico fornece uma relação direta entre tensões, deformações e falhas potenciais, resultando em estimativas mais realistas da capacidade do pavimento;

- c) Compatibilidade internacional e interoperabilidade. A ICAO (2020) destaca que o ACR/PCR foi desenvolvido em conjunto com a FAA e a EASA, assegurando uniformidade global e facilitando a comparação entre aeroportos; e
- d) Repercussões econômicas e ambientais. Ao reduzir o risco de intervenções prematuras e superdimensionamentos, o ACR/PCR contribui para o uso racional de materiais e a sustentabilidade na gestão da infraestrutura (NTNU/FAA, 2023).

A ANAC (2023) recomendou que a transição para o sistema ACR/PCR no Brasil fosse gradual, com a coexistência temporária dos dois métodos. Durante essa fase, os aeroportos poderiam publicar simultaneamente os valores de PCN e PCR, garantindo comparabilidade com os registros históricos e adaptação operacional.

## 3. CONCLUSÕES

A transição do ACN/PCN para o ACR/PCR representa um avanço conceitual e prático significativo na engenharia de pavimentos aeroportuários. O novo sistema baseia-se em princípios mecanicistas-empíricos, integrando critérios de fadiga e deformação, e introduz o conceito de *CDF* como parâmetro central de desempenho.

Ao permitir uma avaliação mais realista das solicitações estruturais e do consumo de vida útil, o ACR/PCR melhora a precisão das análises, a gestão de manutenção e a segurança operacional das pistas. Estudos recentes confirmam sua superioridade técnica e sua maior coerência com o comportamento real dos pavimentos.

Embora demande maior rigor técnico e conhecimento especializado, a adoção do ACR/PCR se alinha às melhores práticas internacionais e estabelece uma base sólida para o futuro da infraestrutura aeroportuária. ☺

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANAC (2016). Instrução Suplementar - IS Nº 153.103-001 - Revisão A. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.
- [2] ANAC (2023). Manual de cálculo de PCR de pavimentos aeroportuários. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.
- [3] EASA (2024) Guidance for the implementation of the new Aircraft Classification Rating (ACR) - Pavement Classification Rating (PCR) method in the EASA Member States - Revision 1. European Union Aviation Safety Agency.
- [4] FAA (2009). Airport Pavement Design and Evaluation. Advisory Circular 150/5320-6E. Federal Aviation Administration, Washington, D.C.
- [5] FAA (2021). Advisory Circular 150/5335-5D - Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength: ACR-PCR Method. Federal Aviation Administration, Washington, D.C.
- [6] Sun, J.; Chai, G.; Oh, E.; Bell, I. (2022). A Review of PCN Determination of Airport Pavements Using FWD/HWD Test. *International Journal of Pavement Research and Technology*
- [7] Horonjeff, R.; McKelvey, F. X.; Sproule, W. J.; Young, S. B. (2010). *Planning and Design of Airports*. 5th ed. McGraw-Hill, New York.
- [8] Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. 2nd ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- [9] ICAO (1983). *Aerodrome Design Manual - Part 3: Pavements (Doc 9157)*. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [10] ICAO (2020). *ACR/PCR Methodology Implementation Manual*. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [11] Kim, S.; Tutumluer, E. (2016). Evaluation of Airport Pavement Structural Capacity Using Mechanistic-Empirical Approaches. *Transportation Research Record*, 2569(1), 12-22.
- [12] Loizos, A.; Charonitis, G. (2019). Investigation of Classification Parameters and Assumptions for Rigid and Flexible Airfield Pavements. *Journal of Transportation Engineering, ASCE*.
- [13] Miner, M. A. (1945). Cumulative Damage in Fatigue. *Journal of Applied Mechanics*, 12(3), 159-164.
- [14] NTNU / FAA (2023). PCN-PCR Comparisons for Large-and Medium-Hub Airport Runways. Federal Aviation Administration / Norwegian University of Science and Technology.
- [15] Oliveira, F. H. L. (2016). Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- [16] Zhang, Y.; Sun, J.; Yang, Z.; Oh, E.; Chai, G.; Ong, D. E. L.; Bell, P. (2023). Assessment of ACR-PCR for Rigid Airport Pavements: Comparison with ACN-PCN System. *Transportation Research Information Database*.
- [17] Ullidtz, P. (1998). *Modeling Flexible Pavement Response and Performance*. Polyteknisk Forlag, Copenhagen.
- [18] Yoder, E. J.; Witczak, M. W. (1975). *Principles of Pavement Design*. John Wiley & Sons, New York.

# Considerações sobre Pavimento de Concreto Compactado com Rolo Reforçado com Fibras (CCR-F): durabilidade, sustentabilidade, economia e otimização construtiva

ADRIANO GAMALLO GONDIM - ENG. - (agondim@intercement.com) – InterCement Brasil  
CARLOS BASSAMINO - ENG. - (bassaminocarlos@gmail.com) – R9pro Engenharia  
ROMÉRIO SALES PEREIRA - ENG. - (ROMERIOSALES@GMAIL.COM) – Pedreira Um Valemix

## RESUMO

O PAVIMENTO DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) VEM SE CONSOLIDANDO COMO SOLUÇÃO ROBUSTA E ECONOMICAMENTE ATRATIVA PARA VIAS URBANAS E RODOVIÁRIAS [1]. ESTE ARTIGO APRESENTA SÍNTESE DE ESTUDOS DEDICADOS AO DESEMPENHO DO CCR APLICADO À PAVIMENTAÇÃO E DESCREVE DOIS TRECHOS EXPERIMENTAIS: UM EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO REFORÇADO COM FIBRAS (CCR-F), EVIDENCIANDO A ADAPTAÇÃO A EQUIPAMENTOS CONVENCIONAIS [2]; E OUTRO EM CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF), DEMONSTRANDO SUA VIABILIDADE ECONÔMICA.

OS GANHOS DO CCR SUPERAM OS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS, COM MAIOR DURABILIDADE, MENORES CUSTOS DE MANUTENÇÃO, MELHOR COMPORTAMENTO TÉRMICO E MITIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR PELO ALTO ALBEDO, ALÉM DE MENOR EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E ELEVADA EFICIÊNCIA CONSTRUTIVA. O USO DE FIBRAS AUMENTA A TENACIDADE E MELHORA O CONTROLE DE FISSURAÇÃO, AMPLIANDO O DESEMPENHO ESTRUTURAL. EM APLICAÇÕES RECENTES, O CCR-F MOSTROU COMPETITIVIDADE ECONÔMICA SUPERIOR EM RELAÇÃO AOS REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS, ALINHANDO-SE ÀS EXIGÊNCIAS ATUAIS POR INFRAESTRUTURA RESILIENTE, DURÁVEL E AMBIENTALMENTE RESPONSÁVEL.

**PALAVRAS-CHAVE:** CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, PAVIMENTO DE CONCRETO, PAVIMENTO RÍGIDO, SUSTENTABILIDADE, INFRAESTRUTURA.

## 1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária brasileira enfrenta desafios contínuos de durabilidade e altos custos de manutenção. Nesse cenário, o Concreto Compactado com Rolo (CCR)

surge como alternativa robusta, empregando concreto de consistência seca e equipamentos usuais de terraplenagem e pavimentação [3]. Sua elevada resistência à deformação permanente e menor sensibilidade térmica o tornam superior aos pavimentos flexíveis. Quando reforçado com fibras (CCR-F), alcança maior tenacidade [4] e melhor controle de fissuração, essenciais ao desempenho e à vida útil de pavimentos rígidos [5].

Este trabalho reúne informações técnicas sobre o CCR-F, demonstrando sua capacidade de atender às demandas atuais por eficiência estrutural, durabilidade e sustentabilidade. Inclui-se também a análise de dois trechos experimentais, com custos de implantação e aspectos executivos, fornecendo subsídios para a avaliação prática e econômica dessa solução em infraestrutura viária.

## 2. O CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) E O REFORÇO COM FIBRAS

O Concreto Compactado com Rolo (CCR) difundiu-se no Brasil em obras de barragens [6], caracterizado pelo baixo consumo de cimento e pelo controle rigoroso de lançamento e adensamento [7]. Trata-se de concreto de baixa consistência, conforme descrito por Mehta e Monteiro [8], aplicado desde a década de 1980 em estruturas essencialmente comprimidas, permitindo economia de ligante.

Para uso em pavimentação, contudo, a tecnologia requer ajustes de dosagem, espe-

cialmente no teor de cimento, para garantir desempenho mecânico adequado [9]. Sem norma específica para resistência à tração na flexão, adotam-se valores usuais entre 4 e 5 MPa para CCR e CCR-F [10]. O DNIT recentemente regulamentou sua produção para pavimentos [11]. Nessa aplicação, o CCR exige maior teor de ligante e controle refinado de consistência e compactação, assegurando resistência, durabilidade e regularidade superficial. Estudos de Neville [12] e do IBRACON [13] mostram que o aumento do ligante melhora o módulo de ruptura e resistência residual, essenciais ao desempenho estrutural.

O baixo teor de água confere abatimento de tronco de cone nulo ou muito baixo [14], viabilizando compactação com rolos vibratórios [15]. A tecnologia destaca-se pela rapidez e economia, adotando métodos similares aos de bases granulares, com agregados densamente graduados e pasta otimizada, o que resulta em elevadas resistências mecânicas [4], [9], [10], [16].

### 2.1 O papel das fibras no CCR-F: tenacidade e controle de fissuração

A adição de fibras poliméricas, metálicas ou de aramida ao CCR é fundamental para reduzir fissuração por retração e aumentar a tenacidade, atuando como pontes de transferência de tensão e elevando a resistência à fadiga e ao impacto [17]. Estudos da Portland Cement Association (PCA) e de outros

## TABELA 1

### QUADRO SINÓTICO PAVIMENTO RÍGIDO X PAVIMENTO FLEXÍVEL (CAP)

Pavimento e característica	Comportamento	Referências bibliográficas
Albedo do concreto é maior (0,25-0,45)	Concreto reflete mais radiação solar, permanecendo visualmente mais claro ao longo do tempo.	(23) (24) (25)
Albedo do CAP é baixo (0,05-0,15)	CAP absorve grande parte da radiação solar, escurecendo ainda mais com envelhecimento.	(26) (25)
Temperatura superficial menor no concreto	Geralmente 10-20 °C mais frio que CAP devido ao alto albedo.	(27) (23)
Temperatura superficial mais alta no CAP	Atinge até 70 °C em dias quentes; forte absorção térmica.	(26) (25)
Concreto tem emissões iniciais de CO <sub>2</sub> mais altas	Cimento é o maior contribuinte (250-350 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ).	(28) (29)
CAP tem emissões iniciais menores	Produção de CAP e mistura a quente tem impacto inicial menor.	(30) (31)
Concreto tem menor CO <sub>2</sub> acumulado ao longo da vida (20-30 anos)	Baixa frequência de manutenção e longa durabilidade reduzem emissões totais.	(32) (33) (34)
CAP acumula mais CO <sub>2</sub> ao longo da vida útil	Reciclagens e recomposições frequentes (5-12 anos) aumentam impactos.	(30) (31)
Concreto reduz ilha de calor urbana	Alto albedo → menor aquecimento urbano.	(26) (23)
CAP intensifica ilha de calor urbana	Baixo albedo → esquenta o ambiente ao redor.	(25) (27)
Concreto pode reduzir consumo de combustível de caminhões	Maior rigidez → menor deflexão → menor resistência ao rolamento.	(35) (36)
CAP pode aumentar consumo de combustível em altas temperaturas	Amolecimento térmico aumenta deflexão e resistência ao rolamento.	(36)

FONTE: DOS AUTORES - BASE DE DADOS DAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS INDICADAS

centros confirmam que o reforço fibroso melhora o comportamento pós-fissuração, aumentando a resistência à tração na flexão e os índices de tenacidade [18].

O controle de fissuras é especialmente importante em pavimentos rígidos, onde tenacidade e capacidade de absorção de energia determinam o desempenho sob carregamentos dinâmicos [5]. O CCR-F também apresenta maior integridade estrutural em juntas e bordas, regiões mais solicitadas. A elevação da tenacidade e da resistência à fadiga pode até permitir redução de espessura, favorecendo a otimização do dimensionamento estrutural [4], [5].

### 3. BENEFÍCIOS DE DESEMPENHO DO CCR REFORÇADO COM FIBRAS

#### 3.1 Durabilidade superior e desempenho estrutural

Pavimentos de concreto têm longa vida útil, às vezes superior a 20 anos, exigindo mínima manutenção - em contraste com os pavimentos flexíveis, que demandam intervenções mais frequentes [17], [19]. Como pavimento rígido, o CCR distribui melhor as cargas e resiste à formação de trilhas de roda, evitando deformações permanentes típicas de revestimentos asfálticos.

O CCR-F potencializa esses benefícios por meio de:

- ▶ Maior resistência à fadiga: as fibras elevam o desempenho sob tráfego pesado, reduzindo efeitos acumulados de ciclos de carga [5];
- ▶ Controle de fissuração: a limitação da abertura de fissuras diminui infiltrações e evita degradações prematuras, ampliando a durabilidade estrutural.

#### 3.2 Conforto térmico e mitigação do efeito de ilhas de calor

O concreto possui albedo muito superior ao dos pavimentos tradicionais, fator decisivo para sustentabilidade urbana e conforto térmico [20], [21].

- ▶ Mitigação de ilhas de calor: ao refletir mais radiação solar, o pavimento de concreto mantém temperaturas superficiais mais baixas, ao passo que revestimentos em CAP, de coloração escura, podem atingir até 70 °C;
- ▶ Eficiência energética: o maior albedo

reduz a necessidade de iluminação pública e diminui o consumo de ar-condicionado em edificações próximas, graças à menor absorção térmica do entorno.

#### 3.3 Sustentabilidade e Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A sustentabilidade do CCR-F é comprovada por Análises do Ciclo de Vida (ACV), que avaliam impactos desde a extração de matérias-primas até o fim da vida útil do pavimento [14]. Apesar das emissões inerentes à produção de cimen-

to, a ACV indica que o CCR-F apresenta pegada de carbono mais favorável que pavimentos flexíveis [22], em função de:

- ▶ Menor consumo de materiais: a maior eficiência estrutural dos pavimentos rígidos e o reforço com fibras, que melhora o desempenho à tração, permitem reduzir espessuras e eliminar ligantes asfálticos [5].
- ▶ Durabilidade estendida: a maior vida útil diminui intervenções e reconstruções, reduzindo energia e emissões ao longo do ciclo.
- ▶ Incorporação de materiais alternativos: o uso de cinzas volantes e escória de al-



### FOTOS 1 E 2

#### LANÇAMENTO CONCRETO NA PAVIMENTADORA

FONTE: DOS AUTORES - PEDREIRA UM VALEMIX



### FOTOS 3 E 4

#### DISTRIBUIÇÃO DE CAMADA DE PAVIMENTAÇÃO

FONTE: DOS AUTORES - PEDREIRA UM VALEMIX



### FOTOS 5 E 6

#### COMPACTAÇÃO COM ROLO SIMPLES

FONTE: DOS AUTORES - PEDREIRA UM VALEMIX



### FOTOS 7 E 8

#### COMPACTAÇÃO COM ROLO PNEUMÁTICO E ASPERSÃO QUÍMICA PARA CURA

FONTE: DOS AUTORES - PEDREIRA UM VALEMIX



### FOTOS 9 E 10

#### MARCAÇÃO DOS CORTES E PAVIMENTO FINALIZADO

FONTE: DOS AUTORES - PEDREIRA UM VALEMIX

to-forno diminui a demanda de cimento Portland e as emissões associadas [22].

### 3.4 Quadro sinótico comparativo entre os pavimentos rígidos e flexíveis

A comparação entre pavimentos de concreto e revestimentos em CAP evidencia dife-

renças marcantes em albedo, temperatura superficial e emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida, fatores determinantes na avaliação ambiental e energética. O pavimento de concreto, com albedo mais elevado, reflete maior radiação solar, mantém superfícies mais frias, contribui para mitigar ilhas de calor e reduz o consumo energético associado ao tráfego pesado. Embora apresente emissões iniciais

superiores devido ao cimento, tende a gerar menor CO<sub>2</sub> acumulado pela reduzida necessidade de manutenção.

Já o pavimento em CAP possui baixo albedo, absorve mais calor e atinge temperaturas mais altas, intensificando o aquecimento urbano e elevando o consumo de combustível, especialmente em dias quentes. Sua menor durabilidade implica intervenções frequentes, aumentando as emissões totais ao longo da vida útil. Assim, compreender a relação entre albedo, aquecimento superficial e emissões é essencial para a escolha da solução mais adequada ao contexto climático e operacional. A Tabela 1 sintetiza essas diferenças.

### 4. ESTUDO DE CASO - ACESSO PÁTIO DOS AGREGADOS DA CENTRAL DE CONCRETO (PEDREIRA UM VALEMIX - TIMÓTEO / MG) - OTIMIZAÇÃO CONSTRUTIVA: COMPATIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS

A execução do CCR caracteriza-se pela rapidez e simplicidade, pois utiliza o mesmo conjunto de equipamentos empregado em terraplenagem e pavimentação [2], [16]. No trecho experimental da Pedreira Um Valemix - Timóteo / MG, o CCR-F foi produzido conforme as normas brasileiras para dosagem, lançamento, adensamento e cura.

O material foi dosado em central na própria mineração, em conformidade com a ABNT NBR 7212:2023, e homogeneizado em caminhões betoneira, garantindo a correta dispersão das fibras - fundamental para tenacidade, controle de fissuras e desempenho pós-fissuração. A uniformidade da mistura foi controlada segundo a DNIT 460/2025 ES.

Após a descarga em caminhões basculantes, o concreto foi lançado continuamente sobre a pavimentadora (Fotos 1 e 2), que distribuiu e regularizou a camada dentro das tolerâncias de espessura, planicidade e textura (Fotos 3 e 4). A compactação foi realizada com rolo liso simples, podendo ser complementada por rolo vibratório Tandem e, em seguida, por rolo pneumático para fechar a superfície e reduzir porosidade (Fotos 5 e 6).

Finalizada a compactação, aplicou-se composto de cura para evitar perdas de água e retrações iniciais, assegurando o desenvolvimento das propriedades mecânicas (Fotos 7 e 8). Por fim, marcaram-se as juntas induzidas, indispensáveis ao controle de fissuras decorrentes de variações térmicas e

higroscópicas, resultando no pavimento concluído (Fotos 9 e 10).

#### 4.1 Detalhes da execução e compactação

A execução do CCR-F é contínua e altamente produtiva: o material é transportado por caminhões basculantes e distribuído por vibroacabadoras ajustadas à sua consistência seca. A etapa mais crítica é a compactação, realizada com rolos vibratórios de cilindro liso [1].

O processo deve iniciar imediatamente após o espalhamento e ser finalizado antes da pega do cimento, pois a energia de

compactação é decisiva para atingir a densidade e a resistência especificadas, conforme fundamentos de mecânica dos solos e tecnologia do concreto [10]. A elevada produtividade do CCR proporciona taxas de assentamento superiores às de pavimentos rígidos convencionais, reduzindo o tempo de execução e os custos indiretos da obra.

#### 5. CONCLUSÃO

O Pavimento de Concreto Compactado com Rolo Reforçado com Fibras (CCR-F) configura-se como solução capaz de conciliar desempenho estrutural, sustentabilidade e viabilidade econômica.

A combinação entre a elevada resistência do CCR e a tenacidade proporcionada pelas fibras resulta em infraestrutura durável, com baixa demanda de manutenção.

A vantagem ambiental – refletida no alto albedo e na menor emissão de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida – alinha o CCR-F às estratégias de desenvolvimento urbano sustentável e mitigação de ilhas de calor. Somam-se a isso a facilidade de execução com equipamentos amplamente disponíveis e a competitividade econômica, consolidando o CCR-F como alternativa tecnicamente robusta e ambientalmente responsável para o futuro da pavimentação no Brasil. 🌱

### ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION – PCA. Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets. 2005. Disponível em: <https://www.cement.org/wp-content/uploads/2024/08/is328.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2025.
- [2] —. Production of Roller Compacted Concrete. 2006. Disponível em: <https://www.cement.org/wp-content/uploads/2024/08/is332.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2025.
- [3] DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ – DER/PR. Pavimentação: Manual de Especificações de Serviços Rodoviários. 2023.
- [4] NANNI, A. Properties and Design of Fiber Reinforced Roller Compacted Concrete. Washington, DC: Transportation Research Board, 1989. ISSN 0361-1981.
- [5] SILVEIRA, A. J. B.; BASSAMINO NETO, C. S.; PAROLIN, F. J. T. Emprego de Macrofibras Estruturais de Polipropileno na Pavimentação Rígida com Concreto Compactado com Rolo. Belo Horizonte: 27ª ENACOR; 50ª RAPV, out. 2025.
- [6] GOMES, F. M. P.; LIDUÁRIO, A. S.; FURNAS. CCR e sua contribuição para energia renovável sustentável – aplicação na UHE Serra do Facão. Concreto & Construções, ed. 108, out./dez. 2022.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16312: Concreto Compactado com Rolo. Partes 1, 2 e 3. Rio de Janeiro, 2014-2015.
- [8] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [9] RAMBABU, D.; SHARMA, S. K.; AKBAR, M. A. Evaluation of roller compacted concrete for its application as high traffic resisting pavements with fatigue analysis. Construction and Building Materials, Elsevier, 19 out. 2023.
- [10] KHAYAT, K. H.; LIBRE, N. A.; WU, Z. Roller Compacted Concrete for Rapid Pavement Construction. Missouri Department of Transportation (SPR), Research Section – Construction and Materials Division, 2019. Projeto MoDOT # TR201518.
- [11] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. Norma DNIT 460/2025: Pavimento rígido – Concreto de cimento Portland compactado com rolo – Especificação de serviço. 2025.
- [12] NEVILLE, A. M. Properties of Concrete. 5. ed. London: Pearson Education, 2011.
- [13] INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO – IBRACON. Manual de Pavimentos de Concreto. São Paulo: IBRACON, 2018.
- [14] TELFORD, A. et al. Transport Transitions: Advancing Sustainable and Inclusive Mobility – Life Cycle Analysis of Low Carbon Roller Compacted Concrete Pavements. Dublin: Springer, 2024. v. IV.
- [15] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. Manual de Pavimentos Rígidos. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.
- [16] DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER/SP. Concreto Compactado com Rolo para Sub-base ou Base de Pavimento de Concreto de Cimento Portland. São Paulo, 2006. (A. ET-DE-P00/044).
- [17] SCETTINO, R. M. Concreto com Adição de Fibras de Politereftalato de Etileno. Volta Redonda: UniFOA, 2012. Dissertação.
- [18] OLIVEIRA, M. A.; FERNANDES, R. C. P.; PACHECCO, R. F. R. Análise comparativa de custos entre pavimentos rígidos e flexíveis. Concreto & Construção, ed. 113, 2024. DOI: 10.4322/1809-7197.2024.113.0003.
- [19] CAVALET, V. N. et al. Análise Comparativa do Custo-Benefício entre Pavimentos Flexíveis em Concreto Asfáltico e Pavimentos Rígidos em Concreto de Cimento Portland Aplicado em Rodovia de Alto Tráfego. 33ª ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, Balneário Camboriú – SC, 2019.
- [20] SOUZA, J. A. P.; MENIM, B. F.; KOWALSKI, L. F. Influência do albedo na temperatura de superfície de pavimento asfáltico urbano. Revista Tecnologia e Ambiente, v. 26, 2020. ISSN 2358-9426.
- [21] TERRA NETWORKS. Como cidades do Ceará combatem o calor pavimentando ruas com concreto. 13 jan. 2025. Disponível em: <https://www.terra.com.br/byte/ciencia/como-cidades-do-ceara...> Acesso em: 3 nov. 2025.
- [22] TELES, A. et al. Método para cálculo do consumo energético e da emissão de CO<sub>2</sub> dos serviços de infraestrutura de transportes do SICRO: análise comparativa entre pavimentos asfáltico e de concreto de cimento. 2024.
- [23] POMERANTZ, M.; AKBARI, H.; CHANG, S. The Effect of Pavements' Temperatures on Air Temperatures in Large Cities. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.
- [24] LI, H.; HARVEY, J.; KENDALL, A. Field measurement of albedo for different pavement surfaces and its impact on urban heat island. Journal of Cleaner Production, v. 52, p. 234-242, 2013.
- [25] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. Pavement Surface Characteristics: Albedo. Washington, D.C.: FHWA, 2016.
- [26] SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review. Solar Energy, v. 103, p. 68-94, 2013.
- [27] SEN, S.; ROESLER, J. Effects of pavement albedo on urban heat island. Transportation Research Record, v. 2673, n. 9, p. 448-459, 2019.
- [28] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Sixth Assessment Report (AR6): Materials and Industrial Processes – Emission Factors. Geneva: IPCC, 2021-2022.
- [29] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION – PCA. Sustainability of Concrete Pavements. Skokie, IL: PCA, 2018.
- [30] NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION – NAPA. Environmental Product Declaration for Asphalt Mixtures. Greenbelt, MD: NAPA, 2017-2023.
- [31] HARVEY, J. et al. Life-Cycle Assessment of Pavements. Davis: University of California Pavement Research Center (UCPRC), 2016.
- [32] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice. Washington, D.C.: AASHTO, 2008-2015.
- [33] SANTERO, N.; MASANET, E.; HORVATH, A. Life-cycle assessment of pavements – Part I: Critical review; Part II: Data needs and availability. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, p. 801-809; 810-818, 2011.
- [34] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. Concrete Pavement Design and Construction Manual. Washington, D.C.: FHWA, 2015.
- [35] TAYLOR, P.; VAN DAM, T. et al. Energy Use and Fuel Efficiency in Rigid vs. Flexible Pavements. Cambridge: MIT Concrete Sustainability Hub, MIT, 2012.
- [36] AKBARIAN, M. et al. Pavement-vehicle interaction and its influence on fuel consumption. Transportation Research Record, v. 2588, p. 41-52, 2016.

# Compósitos cimentícios e whitetopping: estratégias para a reabilitação de pavimentos urbanos

**PEDRO MATIAZZI DA SILVA** - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-7424-3561> – UNIFASIFE  
**HINOEL Z. EHRENBING** - ITT PERFORMANCE - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0002-0339-9825> – UNISINOS  
**BERNARDO F. TUTIKIAN** - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0003-1319-0547> – UNISINOS

## RESUMO

**E**STE ARTIGO APRESENTA UMA REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA SOBRE OS DESAFIOS E AS PERSPECTIVAS DO USO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS EM RECAPEAMENTOS DE PAVIMENTOS URBANOS, EXPLORANDO SEU POTENCIAL COMO ALTERNATIVA AO CONCRETO ASFÁLTICO (CA) E AO WHITETOPPING. O ESTUDO DESTACA AS LIMITAÇÕES DO CA, COMO BAIXA DURABILIDADE E NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO FREQUENTE, E APRESENTA O WHITETOPPING COMO UMA SOLUÇÃO MAIS EFICIENTE, EMBORA APRESENTE DESAFIOS RELACIONADOS À ADERÊNCIA E CONSIDERAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO. NESSE CONTEXTO, OS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS, EM ESPECIAL, O ECC (ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES), SURTEM COMO ALTERNATIVA TÉCNICA PROMISSORA DEVIDO SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS TAIS COMO A DUCTILIDADE, RESISTÊNCIA À FISSURAÇÃO, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E COMPRESSÃO, ALÉM DA POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO EM ESPESURAS REDUZIDAS DE 30 MM. NO ENTANTO, ASPECTOS COMO CUSTO, TRABALHABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE MATÉRIAS-PRIMAS AINDA REPRESENTAM ENTRAVES À SUA DIFUSÃO. CONCLUI-SE QUE, EMBORA AINDA EXISTAM DESAFIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS, OS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REPRESENTAM UMA ALTERNATIVA VIÁVEL PARA A INFRAESTRUTURA URBANA, DESDE QUE ADAPTADOS AO CONTEXTO NACIONAL.

**PALAVRAS-CHAVE:** DURABILIDADE, ECC, PAVIMENTO URBANO, RECAPEAMENTO, WHITETOPPING.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de manutenção da malha viária urbana traz preocupações constantes à sociedade local e aos respectivos gestores públicos, sobretudo considerando a situação das vias e as restrições orçamentárias no setor de infraestrutura urbana. Tradicionalmente, o recapeamento com concreto asfáltico (CA) é a solução mais adotada para reabilitação estrutural, apresentando vida útil superior a 15 anos quando adequadamente dimensionado (HOSSAIN *et al.*, 2010). Alternativamente, em intervenções de caráter funcional, emprega-se o microrrevestimento asfáltico, um tratamento superficial delgado com vida útil mais curta (tipicamente 2 a 4 anos) e maior suscetibilidade a mecanismos de deterioração como desgaste abrasivo e desagregação superficial (JI *et al.*, 2013; KONG *et al.*, 2025). Embora o CA apresente maior durabilidade, seu custo inicial elevado e a necessidade de espessuras consideráveis limitam sua aplicação em contextos de restrição orçamentária. Esse cenário evidencia a necessidade de soluções alternativas que conciliem durabilidade, viabilidade econômica e aplicabilidade em espessuras reduzidas para a reabilitação de pavimentos urbanos.

Nesse aspecto, há uma motivação para estudos que busquem soluções alternati-

vas, visando à durabilidade e à viabilidade econômica dos recapeamentos. Entre as técnicas pesquisadas ao longo do tempo, destaca-se o *whitetopping*, que consiste na sobreposição de uma camada delgada de 50 a 100 mm de concreto de cimento Portland, com juntas espaçadas de forma reduzidas para mitigar tensões térmicas e de carregamento. Alguns estudos recentes como o de Eberhardsteiner *et al.* (2023) indicam que essas sobreposições delgadas podem prolongar a vida útil do pavimento e reduzir os custos ao longo do tempo, porém devem ser projetadas de projetadas e executadas de maneira correta.

No Brasil, a única normativa sobre esse sistema é a DNIT 068/2004 - ES, que, embora não especifique espessura mínima, apresenta diretrizes sobre os materiais empregados e a execução, conforme demonstrado na Tabela 1. Estudos como o de Kunz (2020) evidenciam o bom desempenho desse sistema de revestimento, com ganhos de resistência e aumento da vida útil da estrutura.

Buscando soluções inovadoras para reabilitação de pavimentos, diversos estudos vêm explorando o emprego de compósitos cimentícios como alternativa promissora. A tese de doutorado de Rodríguez (2018) analisou o uso do ECC (*Engineered Cementitious Composites*),

**TABELA 1**

RECOMENDAÇÕES DNIT 068/2004 - ES

Barras de aço de transferências	Barras de ligação	Consumo mínimo de cimento kg/m <sup>3</sup>	Relação A/C	Dim. máx agregado	Ar incorporado	Exsudação
CA-25	CA - 50	≥ 320	≤ 0,50	< 1/3 esp. da placa ou 50 mm	≤ 5%	≤ 1,5 %

também conhecido como concreto flexível, em recapeamentos asfálticos. De forma complementar, Ehrenbring (2020), em sua tese de doutorado, desenvolveu ECCs autocicatrizantes com diferentes fibras poliméricas. Por apresentar elevada ductilidade e resiliência, o ECC permite aplicação em espessuras inferiores a 5 cm, o que abre novas possibilidades em termos técnicos e econômicos.

Essa abordagem abre espaço para o desenvolvimento de compósitos cimentícios especiais com propriedades intermediárias entre o ECC e o *whitertopping*, com potencial de formulação a partir de matérias-primas viáveis no mercado nacional, considerando desempenho, durabilidade e custo.

Dessa forma, este artigo busca investigar os desafios e as perspectivas do uso de compósitos cimentícios em recapeamentos urbanos, comparando custo, vida útil, e as algumas propriedades, com o CA e o *whitertopping*, por meio de uma revisão crítica da literatura. A análise contempla aspectos técnicos, operacionais e econômicos, considerando desde a formulação do material até sua aplicação e potencial de inserção em obras de infraestrutura urbana no Brasil.

## 2. CONCRETO ASFÁLTICO EM RECAPEAMENTOS URBANOS

O concreto asfáltico (CA) destaca-se por sua ampla utilização em recapeamentos de pavimentos urbanos no Brasil, sobretudo pela facilidade de aplicação e pelo baixo custo inicial. No entanto, estudos indicam limitações consideráveis quanto à durabilidade desse material. Embora as diretrizes de projeto apontem uma vida útil média de aproximadamente 10 anos, ainda assim são buscadas alternativas que mitiguem problemas recorrentes, como a degradação térmica e mecânica, conforme discutido por Mello (2022). Essas deficiências resultam na necessidade de intervenções frequentes, o que implica custos acumulados de manutenção e pressão constante sobre os orçamentos públicos. Além do impacto financeiro, as falhas nos pavimentos provocam transtornos operacionais e sociais, refletindo-se na mobilidade urbana e na qualidade de vida da população.

Entre as manifestações patológicas mais recorrentes nesse tipo de pavimen-



**FIGURA 1**

PANÉLAS NO RECAPEAMENTO ASFÁLTICO

FONTE: ROCHA; COSTA (2009)

to, destaca-se a deformação permanente, como um dos principais mecanismos de falha associados à exposição contínua ao tráfego repetitivo. Tal comportamento evidencia que a natureza viscoelástica do concreto asfáltico compromete sua durabilidade, tornando necessárias intervenções corretivas em intervalos reduzidos. De acordo com Mello (2022), a velocidade com que o pavimento se deteriora está diretamente relacionada a diversos fatores, entre eles: a capacidade de suporte da estrutura e da fundação, as condições ambientais, o volume e o tipo de tráfego, a carga por eixo aplicada ao sistema, o método construtivo adotado e as propriedades dos materiais utilizados.

Apesar dos avanços tecnológicos, como o emprego de ligantes modificados por polímeros, o concreto asfáltico ainda apresenta restrições em termos de desempenho ao longo do tempo. Essa limitação é intensificada em vias com tráfego intenso e alta frequência de frenagem, fatores que comprometem a integridade do pavimento, sendo comprovada segundo Silva *et al.* (2024) pelo alto número de veículos nos grandes centros como São Paulo com 9,6 milhões, Rio de Janeiro 3,13 milhões, aumentando, assim, a ocorrência de trincas, panelas (Figura 1), escorregamento e desagregação, que impactam diretamente a funcionalidade das vias, gerando a necessidade de manutenções constantes.

Nesse contexto, a utilização predominante do CA em recapeamentos urbanos torna-se um ponto de reflexão. As manutenções recorrentes, associadas aos custos acu-

mulados ao longo da vida útil do sistema, reforçam a urgência por soluções alternativas que garantam maior conforto aos usuários e assegurem a viabilidade financeira das intervenções viárias ao longo do tempo.

## 3. WHITERTOPPING COMO SOLUÇÃO TÉCNICA: AVANÇOS E LIMITAÇÕES

A técnica de sobreposição de concreto sobre pavimento asfáltico, denominada *whitertopping*, caracteriza-se pela aplicação de uma camada delgada de concreto de cimento Portland sobre pavimentos asfálticos deteriorados. Sua principal vantagem é a aumentada rigidez estrutural e durabilidade, tornando-se uma alternativa promissora ao concreto asfáltico (CA), sobretudo em vias com alto volume de tráfego.

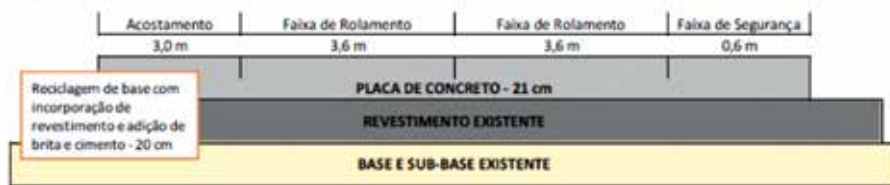
Existem três classificações principais para o *whitertopping*, definidas conforme a espessura da camada de concreto e a forma de interação com a base asfáltica:

- ▶ *Whitertopping* convencional: espessura superior a 200 mm, com ou sem conexão entre as camadas;
- ▶ *Whitertopping* delgado (*Thin Whitertopping* – TWT): espessura entre 100 e 200 mm, com aderência parcial ou total entre o concreto e o asfalto;
- ▶ *Whitertopping* ultradelgado (*Ultra-Thin Whitertopping* – UTW): espessura entre 50 e 100 mm, com forte dependência da aderência e ancoragem superficial entre as camadas.

Na Figura 2, segue o exemplo de aplicação do sistema *whitertopping* em rodovia, com camada de concreto sobre revestimento asfáltico existente, conforme projeto executivo de duplicação da BR-163/364/MT (2019). A ilustração evidencia a composição típica do pavimento com *whitertopping*, destacando a sobreposição da placa de concreto sobre o revestimento existente e a base estabilizada.

Segundo Fortes (1999) e Kunz (2020), as principais vantagens do *whitertopping* incluem: maior resistência à fadiga, menor suscetibilidade às variações térmicas e superior desempenho em frenagens. A adequada transferência de cargas entre placas de concreto é assegurada por meio de barras de transferência e dispositivos de ancoragem, os quais são essenciais para evitar desníveis e rupturas longitudinais entre as juntas.





## FIGURA 2

ESQUEMA DE WHITETOPPING NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIA BR- 163/364/MT

FONTE: PROJETO EXECUTIVO DE DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-163/364/MT (2019)

Por outro lado, a aderência entre o concreto e o asfalto é uma das variáveis críticas. Conforme destacado por Rodríguez (2018), falhas nessa interface podem provocar delaminações, comprometendo a durabilidade. Técnicas como fresagem superficial da camada asfáltica e uso de ponte de aderência com emulsões ou argamassa de ligação têm sido recomendadas para reforçar essa conexão.

Apesar do maior custo inicial, estudos como o de Gumurski e Brekailo (2025) demonstram que o whitetopping pode ter melhor relação custo-benefício a longo prazo, especialmente quando comparado ao CA em vias que exigem manutenções frequentes. No estudo de restauração da PRC-280, o custo do whitetopping foi estimado em

US\$ 1,26/m<sup>2</sup> contra US\$ 4,09/m<sup>2</sup> para o CA.

Contudo, a aplicação do whitetopping ainda enfrenta desafios operacionais, como o tempo de cura do concreto, que pode impactar a logística urbana, além da exigência por materiais e mão de obra especializada. Para ampliar sua aplicabilidade em centros urbanos, é necessário investir em tecnologias que permitam menores espessuras, melhor aderência e execução mais rápida, mantendo os níveis de desempenho estrutural exigidos.

## 4. COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS ESPECIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS: CONCEITO E POTENCIAL

Entre os compósitos cimentícios, o ECC

(Engineered Cementitious Composites) destaca-se por apresentar elevada ductilidade e excelente controle de fissuração, características que o tornam promissor para recapamentos urbanos em substituição ao concreto asfáltico (CA) e ao whitetopping tradicional. Sua formulação inclui cimento Portland, adições minerais, aditivos e fibras sintéticas, como o polivinil álcool (PVA), que contribuem para a formação de múltiplas microfissuras com abertura inferior a 100 µm.

Estudos acadêmicos com foco experimental têm investigado o comportamento do ECC aplicado ao recapamento asfáltico, explorando seu desempenho mecânico, trabalhabilidade e aderência à base asfáltica fresada. Uma das vantagens mais relevantes é a possibilidade de aplicação em espessuras inferiores a 5 cm, o que amplia seu potencial para obras de reabilitação urbana, permitindo menor consumo de material e reduzindo interferências em elementos existentes, como meio-fios, bueiros e altura livre sob pontes e viadutos.

Pesquisas também comparam o desempenho de fibras distintas, segundo Ehrenbring e Tutikian (2024) destacam: álcool polivinílico (PVA), polipropileno (PP), poliéster (POL), acrílico (PAC), nylon (NYL). As fibras de PVA apresentam maior resistência e capacidade de controle da fissuração, mas seu custo é elevado. Já, as fibras de POL e polipropileno PP têm se mostrado alternativas viáveis quando associadas a matrizes otimizadas, com propriedades mecânicas ajustadas. A Tabela 2 resume algumas propriedades típicas dos ECCs.

## TABELA 2

PROPRIEDADES DO ECC

Propriedades	Características
Ductilidade	Deformação de até 5% sem perda de resistência
Microfissuração	Fissuras < 100 µm
Resistência à tração	4 a 6 MPa após fissuração
Resistência à compressão	30 a 50 MPa, conforme matriz
Tipos de fibras utilizadas	PVA, POL, PP

FONTE: ADAPTADO EHRENBING (2020)



## FIGURA 3

PESQUISA DE RODRÍGUEZ APLICANDO O ECC COMO MATERIAL DE RECAPEAMENTO

FONTE: RODRÍGUEZ (2018)



## FIGURA 4

MICROFISSURAÇÃO OBSERVADA EM CORPO DE PROVA PRISMÁTICO DE ECC

FONTE: FREITAS JÚNIOR; GARCEZ (2017)

Para além das análises teóricas, algumas pesquisas experimentais demonstram o potencial técnico do ECC em condições reais de aplicação. A Figura 3 apresenta o registro da execução de recapeamento com ECC sobre pavimento asfáltico, destacando sua viabilidade construtiva em campo, mesmo em espessuras reduzidas.

A Figura 4 ilustra a microfissuração na face tracionada de uma peça de ECC, enquanto a Figura 5 mostra o aspecto do compósito no estado fresco, destacando sua consistência e trabalhabilidade.

Apesar das vantagens técnicas, o ECC ainda enfrenta entraves relacionados ao alto custo de produção, à disponibilidade de fibras no mercado nacional e à necessidade de controle rigoroso em sua aplicação. Como alternativa, estudos sugerem o desenvolvimento de compósitos intermediários, com desempenho ajustado à realidade brasileira e menor custo, especialmente para uso em obras públicas de recapeamento.

## 5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

A viabilidade do uso de compósitos cimentícios em recapeamentos urbanos depende diretamente do equilíbrio entre desempenho técnico e compatibilidade econômica. Embora o ECC (*Engineered Cementitious Composites*) tenha como principal vantagem o excelente controle de fissuração, que aliado a elevada ductilidade, maior durabilidade, o torna uma alternativa promissora, seu uso em larga escala no Brasil ainda é limitado, sobretudo pelo alto custo das fibras de PVA e pela complexidade dos processos construtivos envolvidos.

Apesar disso, estudos como o de Brekailo e Gumurski (2025) indicam que o sistema *whitotopping* pode ser mais competitivo que o concreto asfáltico (CA) em longo prazo. No estudo de restauração da rodovia PRC-280, por exemplo, o custo do CA foi estimado em US\$ 4,09/m<sup>2</sup>, enquanto o *whitotopping* ficou em US\$ 1,26/m<sup>2</sup>, demonstrando potencial de economia expressiva, especialmente em contextos com alta demanda de manutenção.

Outro fator determinante para a viabilidade técnica é a aderência entre cama-

das. A aplicação do ECC requer atenção redobrada à interface com a base asfáltica, sendo necessário maior controle tecnológico e cuidados com a trabalhabilidade. Além disso, aspectos como consistência do compósito, retração e durabilidade exigem soluções adaptadas à realidade brasileira. Estratégias como o uso de adições minerais de baixo custo e o emprego de fibras alternativas, como POL e PP, têm sido investigadas para reduzir custos sem comprometer o desempenho.

A consolidação desses materiais no mercado depende da integração entre planejamento urbano eficiente, formulações otimizadas e adoção de práticas construtivas economicamente acessíveis. Cabe destacar que, embora o ECC seja um material de alta tecnologia, sua composição baseia-se em materiais comuns da construção civil, como cimento Portland, agregados finos, aditivos superplastificantes e sílica ativa. O consumo médio de cimento varia entre 600 e 800 kg/m<sup>3</sup>, sendo possível adequar os traços com ajustes técnicos que favoreçam a redução de custos e o uso racional de recursos.

Portanto, a adoção de compósitos cimentícios como alternativa para recapeamentos urbanos mostra-se promissora, desde que acompanhada de estratégias que aliem desempenho, durabilidade, racionalização de materiais e compatibilidade com os orçamentos públicos.

## 6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS DE RECAPEAMENTO URBANO

A escolha do sistema de recapeamento ideal em vias urbanas está diretamente relacionada à durabilidade, ao desempenho estrutural e aos custos ao longo do ciclo de vida da pavimentação. Entre as soluções tradicionais, como o concreto asfáltico (CA), e as alternativas mais recentes, como o *whitotopping* e os compósitos cimentícios reforçados com fibras, observa-se um contraste significativo em termos técnicos e econômicos.



### FIGURA 5

#### ASPECTOS DO COMPÓSITO NO ESTADO FRESCO

Fonte: EHRENBING (2020)

O concreto asfáltico, amplamente utilizado devido à sua facilidade de aplicação e baixo custo inicial, apresenta limitações importantes, como a baixa resistência à deformação permanente, elevada suscetibilidade à variação térmica e necessidade recorrente de manutenção. Essas características comprometem sua eficiência em ambientes urbanos com tráfego intenso e aceleram o desgaste da estrutura.

Por outro lado, o *whitotopping* surge como uma solução mais robusta, com elevada durabilidade, maior resistência à fadiga e menor frequência de intervenções. No entanto, esse sistema demanda espessuras mínimas que podem ser inviáveis em alguns contextos urbanos, além de exigir maior tempo de cura e logística construtiva mais complexa.

Os compósitos cimentícios reforçados com fibras, especialmente os inspirados no ECC, representam uma alternativa entre o CA e o *whitotopping*. Sua alta ductilidade, resistência à fissuração e possibilidade de aplicação em camadas com menos de 5 cm os tornam especialmente atrativos para reabilitação de vias urbanas antigas, onde as restrições geométricas e operacionais são frequentes. Adicionalmente, o uso de fibras alternativas (como POL e PP) e adições minerais pode reduzir custos, favorecendo sua aplicação em larga escala. Segundo Barros (2023), o custo dos materiais que compõem o ECC tem apresentado redução ao longo do tempo, o que contribui para tornar esse compósito cada vez mais viável economicamente. A Tabela 3 resume as diferenças entre os sistemas comparados.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos sistemas de recapeamento urbano evidencia a necessidade de

### TABELA 3

COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE RECAPEAMENTO URBANO

Critério	Concreto asfáltico (CA)	Whitetopping	Compósitos Cimentícios (ECC e similares)
Custo inicial	Baixo	Médio/Alto	Alto (com possibilidade de redução)
Vida útil estimada	10 anos	> 20 anos	> 20 anos
Espessura mínima utilizada	4 cm	> 5 cm	< 5 cm
Frequência de manutenção	Alta	Baixa	Baixa
Tempo de execução	Rápido	Médio	Médio

alternativas mais eficientes ao concreto asfáltico (CA), cuja baixa durabilidade e alta frequência de manutenção resultam em custos acumulados e transtornos urbanos. O *whitetopping*, por sua vez, oferece ganhos estruturais relevantes, com maior vida útil e resistência, mas apresenta restrições operacionais, como a espessura mínima exigida e o tempo de cura do concreto, que dificultam sua adoção em determinadas situações.

Nesse cenário, os compósitos cimentícios reforçados com fibras, especialmente os inspirados no ECC, surgem como uma solução promissora. Suas propriedades mecânicas superiores, como elevada ductilidade, resistência à fissuração e possibilidade de aplicação em espessuras reduzidas, permitem o desenvolvimento de sistemas de recapeamento mais duráveis e adaptáveis à realidade urbana brasileira.

Apesar dos desafios ainda existentes, principalmente relacionados ao custo dos

insumos e à necessidade de ajustes tecnológicos, os compósitos cimentícios apresentam potencial para unir desempenho técnico e viabilidade econômica. A redução progressiva dos custos das fibras utilizadas, tem contribuído para tornar esses materiais mais competitivos. Avanços em pesquisas com fibras alternativas e adições minerais, aliados à adequação da mão de obra e de processos executivos, podem consolidar essa solução em escala nacional.

Portanto, a escolha entre CA, *whitetopping* ou compósitos cimentícios deve ser orientada por critérios técnicos, econômicos e operacionais, respeitando as particularidades de cada contexto urbano. O fortalecimento de estudos aplicados e a validação em obras são passos fundamentais para viabilizar a incorporação desses materiais em políticas públicas de infraestrutura urbana sustentável. 🌱

### ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HOSSAIN, M.; MANEPALLI, V. S.; RAHMAN, S.; MUSTY, H. Y. Extending pavement life using thin surfacing to counter the effect of increased truck traffic due to freight movements on highways. West Lafayette: Mid-America Transportation Center, Kansas State University, 2010. (MATC Report, 113). Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/matcreports/73/>.
- [2] JI, Y.; NANTUNG, T.; TOMPKINS, B.; HARRIS, D. Evaluation for microsurfacing as pavement preservation treatment. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Reston, v. 25, n. 4, p. 540-547, abr. 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000568. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000568](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000568).
- [3] KONG, F.; LI, Y.; WANG, R.; HU, X.; YU, M.; JIN, D. Road performance evaluation of preventive maintenance techniques for asphalt pavements. *Lubricants*, Basel, v. 13, n. 9, article 410, set. 2025. DOI: 10.3390/lubricants13090410. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/lubricants13090410>.
- [4] EBERHARDSTEINER, L. *et al.* Performance-based Design of Bonded *Whitetopping* Overlays. *Road Materials and Pavement Design*, v. 24, n. 11, p. 2699-2713, 2023.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 068 - ES - Pavimento Rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo *whitetopping* por meio mecânico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2004.
- [6] KUNZ, F.O. Estudo experimental do *whitetopping* com adição de fibras sintéticas. Dissertação (Mestrado) Campinas: PUC, 2020.
- [7] RODRIGUEZ, C.A.M. Avaliação do comportamento mecânico de um ECC (Engineered Cementitious Composites) com fibras de polipropileno no recapeamento de pavimentos. Tese (Doutorado). Porto Alegre: UFRGS, 2018.
- [8] EHRENBRING, H.Z. Desenvolvimento de Engineered Cementitious Composites (ECC) autocicatrizantes com diferentes fibras poliméricas e agentes de cicatrização. Tese (Doutorado) São Leopoldo: UNISINOS, 2020.
- [9] MELLO, M.A. Degradação térmica e mecânica de geossintéticos utilizados em restauração de pavimentos flexíveis com concreto asfáltico. Dissertação (Mestrado). Natal: UFRGN, 2022.
- [10] SILVA, F.H.N.; NEVES, A.G.; SILVA, A.M. Trânsito da cidade de São Paulo: Crescimento da taxa de lentidão e do número de veículos circulantes entre 2021 e 2023. *Mobilities-Journal of Urban Mobility, Logistics and Sustainable Smart Cities*. v. 1, n. 1, p. 18-32, 2024.
- [10] ROCHA, R.S.; COSTA, E.A.L. Patologias de Pavimentos Asfálticos e suas Recuperações - Estudo de Caso da Avenida Pinto de Aguiar. Trabalho de Conclusão de Curso: Universidade Católica de Salvador: Bahia, 2009.
- [12] FORTES, R.M. Estudo da Aderência entre Concreto de Cimento Portland e Concretos Asfálticos para Fins de Reforços Ultradelgados de Pavimentos. Tese (Doutorado). São Paulo: EPUSP, 1999.
- [13] GUMURSKI, K.T.; BREKAILO, F. O uso de *Whitetopping* na Restauração do Pavimento Flexível da Rodovia PRC-280-Estudo de Caso. *Revista Técnico-Científica*, 2025.
- [14] EHRENBRING, H.Z.; TUTIKIAN, B.F. Concreto Flexível com Fibras. Princípios, dosagem e aplicações do Engineered Cementitious Composites (ECC). São Paulo: Leud, 2024.
- [15] FREITAS JÚNIOR, A.L.; GARCEZ, M.G. Avaliação da resistência a fadiga dos Engineered Cementitious Composites (ecc), reforçados com fibra de polipropileno e produzidos com adição de cinza de casca de arroz. *Tecno-Lógica* 21.2, 2017.
- [16] BARROS, D.A. Estudo das Propriedades Mecânicas de Misturas Alternativas de ECC - Variação das Características dos Agregados. Tese (Doutorado). Porto Alegre: UFRGS, 2023.

# Inovação na pavimentação: aplicação de placas pequenas de concreto em vias urbanas

PAULO BINA - CONSULTOR - <https://orcid.org/0009-0005-2342-1910> - (paulo.bina@monofloor.com) ;

NICOLAS B. C. LOPES PESTANA - COORDENADOR DE OBRAS - <https://orcid.org/0009-0009-8974-9061> - (nicolas.beltran@monofloor.com) ;

JULIANA S. BENEDICTO - ENG. - <https://orcid.org/0009-0009-0121> - (juliana.benedicto@monofloor.com) – Monofloor Brasil

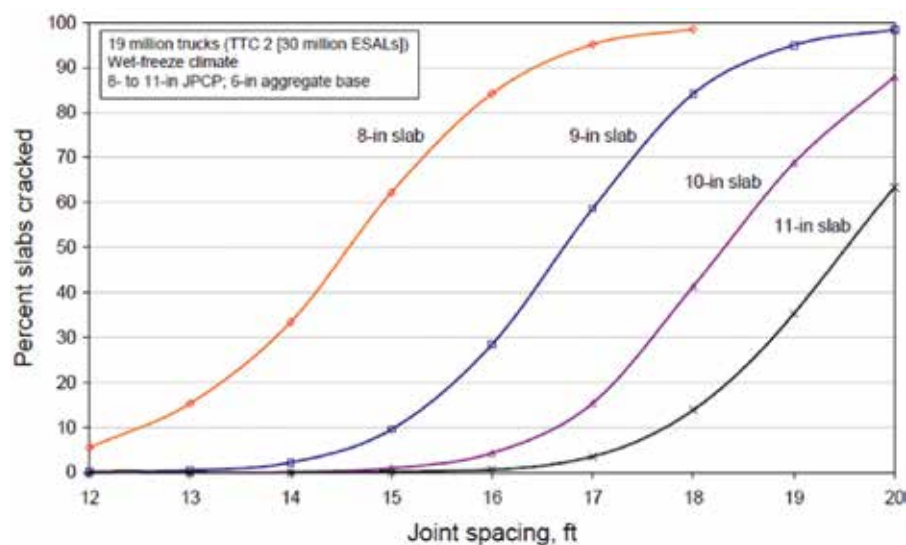
## RESUMO

**A**S DEMANDAS CRESCENTES POR PAVIMENTAÇÃO — EM OBRAS PRIVADAS, PÚBLICAS E CONCESSIONADAS — TÊM IMPULSIONADO A BUSCA POR MATERIAIS QUE PROPORCIONEM MAIOR DURABILIDADE, SEGURANÇA, FACILIDADE DE MANUTENÇÃO, REDUÇÃO DE CUSTOS E DESEMPENHO AMBIENTAL SUPERIOR EM RELAÇÃO AOS SISTEMAS TRADICIONAIS. NESSE CONTEXTO, OS PAVIMENTOS EM CONCRETO DESTACAM-SE POR SUA ROBUSTEZ ESTRUTURAL. UMA VARIAÇÃO DE CRESCENTE INTERESSE É A UTILIZAÇÃO DE GRANDES ÁREAS CONTÍNUAS MOLDA-DAS IN LOCO, SEGMENTADAS POR JUNTAS DE INDUÇÃO MAIS PRÓXIMAS, RESULTANDO EM PLACAS DE MENOR DIMENSÃO, SOLUÇÃO JÁ RECONHECIDA EM NORMAS INTERNACIONAIS. ESTE TRABALHO APRESENTA DADOS INTERNACIONAIS, DOCUMENTA TRECHOS EXECUTADOS, AVALIA SEU DESEMPENHO OPERACIONAL E APRESENTA COMPARATIVOS DE CUSTO FRENTE A SISTEMAS CONVENCIONAIS, CONSIDERANDO O MESMO NÍVEL DE EXIGÊNCIA TÉCNICA. O OBJETIVO É REGISTRAR FORMALMENTE O SISTEMA DE PLACAS PEQUENAS, ANALISANDO SEU COMPORTAMENTO E FORNECENDO BASE PARA FUTURAS PESQUISAS, APERFEIÇOAMENTOS TÉCNICOS E ESTUDOS DE VIABILIDADE.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO, PLACAS PEQUENAS, PAVIMENTAÇÃO URBANA, TCPAVEMENTS, DESEMPENHO ESTRUTURAL.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda urbana e rodoviária, aliado à necessidade de racionalização de recursos e aumento da durabilidade das infraestruturas, tem impulsionado a busca por sistemas de pavimentação mais eficientes. Nesse cenário, o TCPavements (TCP) destaca-se como uma solução consolidada por sua elevada vida útil, menor necessidade de manutenção, estabilidade



**FIGURA 1**

CORRELAÇÃO ENTRE ESPAÇAMENTO DE JUNTAS E PORCENTAGEM DE FISSURAÇÃO EM PAVIMENTOS RÍGIDOS

FONTE: NCHRP, 2004

estrutural e desempenho superior sob diferentes condições climáticas.

O TCP caracteriza-se pela utilização de placas de concreto apoiadas sobre camadas de base adequadas, com juntas estrategicamente distribuídas para controle das deformações. Por ser um pavimento rígido, apresenta menor suscetibilidade ao surgimento de trilhas de roda, reduz deformações permanentes e proporciona segurança operacional, especialmente em vias urbanas e corredores de tráfego intenso.

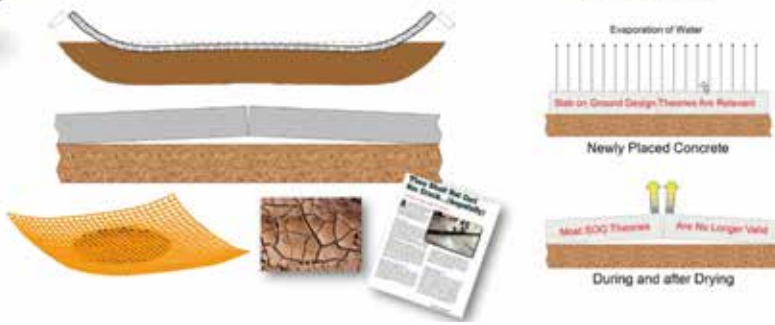
Dentro desse universo de pavimentação rígida, uma inovação que tem ganhado relevância é a adoção de placas pequenas

de concreto, também conhecidas como placas com menor espaçamento entre juntas. Essa configuração reduz o empenamento, melhora a distribuição de tensões e aumenta a vida útil do pavimento — aspectos que convergem diretamente com o conceito de TCP. Assim, este trabalho se insere no contexto da modernização do pavimento urbano, alinhando o desempenho estrutural ao uso racional de materiais.

Nesse sentido, pesquisadores como Juan Pablo Covarrubias, Lev Khazanovich, Jeff Roesler e Jerry Holland contribuíram significativamente para o avanço das técnicas de pavimentação rígida, desenvolvendo



**Jerry Holland, PE**  
 Director of Engineering Services at Structural Service Inc. (SSI)  
 > Expert on the impact of curling in flat-work design



## FIGURA 2

### RELAÇÃO ENTRE PLACAS GRANDES X PLACAS PEQUENAS

FONTE: JERRY HOLLAND, PE, STRUCTURAL SERVICE INC. (SSI), EM MATERIAL DE APRESENTAÇÃO SOBRE EMPENAMENTO EM LAJES DE CONCRETO

modelos, softwares e métodos que embasam a aplicação de placas pequenas no TCP. Com base em resultados obtidos via software *OptiPave*, os estudos demonstram forte correlação entre a redução do espaçamento entre juntas e a diminuição de fissuras, conforme apresentado na Figura 1.

A maior eficiência das placas pequenas decorre do fato de que, com dimensões reduzidas, o pavimento passa a operar sob um regime de baixa deflexão diferencial e elevada uniformidade de resposta, minimizando as tensões induzidas por gradientes térmicos, retração e esforços provenientes do tráfego. O conceito analisado indica que placas com juntas espaçadas entre 1,2 m e 2,5 m apresentam melhor desempenho estrutural, pois a menor dimensão reduz significativamente as tensões de borda e o risco de fissuração prematura.

Nessas condições, observa-se que cada placa atua como um pequeno êmbolo transmitindo esforços de forma mais uniforme ao solo de apoio, fenômeno semelhante ao observado nos ensaios de placa utilizados para avaliação de capacidade de suporte das bases. A Figura 2 ilustra esse comportamento, evidenciando que a transmissão de carga ocorre em regime mais estável, com menores concentrações de tensões e com resposta mais uniforme da base. Além disso, devido ao tamanho reduzido, cada placa tende a receber apenas a solicitação referente a meio eixo padrão, o que diminui o momento fletor crítico e reduz as tensões de tração na fibra inferior.

Esse desempenho superior está relacionado também à mitigação dos efeitos de empenamento, que são resultantes

de diversos fenômenos atuantes sobre a pavimentação rígida, tais como:

- ▶ Retração do concreto logo após a aplicação, acabamento e exposição ao ambiente, em função das variações de temperatura e umidade;
- ▶ Retração pós-endurecimento, decorrente da perda de umidade residual no concreto já endurecido;
- ▶ Variações volumétricas da superfície, associadas à insolação e às diferenças térmicas entre o dia e a noite, bem como às oscilações sazonais (calor, chuva, seca, frio);
- ▶ Impactos térmicos ou mecânicos, como aqueles provocados por insolação intensa seguida de chuva fria, ou ainda por acidentes envolvendo incêndios.

Em placas convencionais com grandes dimensões, esses mecanismos geram gra-

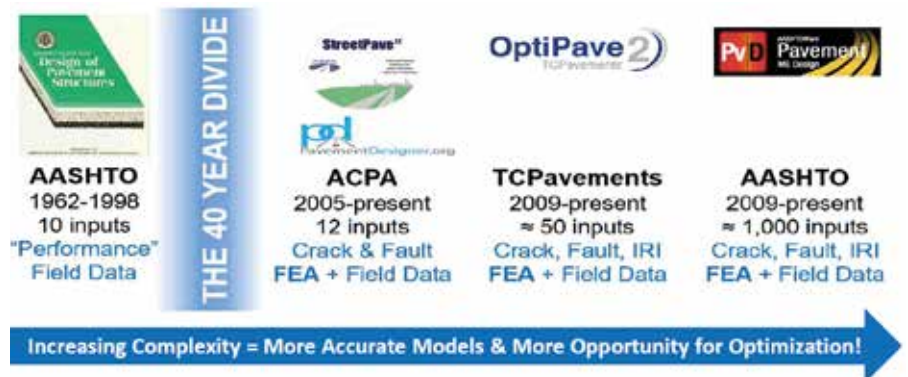
dientes térmicos consideráveis, ocasionando levantamento de bordas, fissuração e ampliação das tensões de canto. Já, nas placas pequenas, o raio de curvatura é menor e o gradiente térmico atua sobre uma área muito mais restrita, resultando em reduções expressivas das tensões térmicas e de retração, além de maior estabilidade geométrica e melhor resposta às variações climáticas.

A Figura 3 apresenta, historicamente, a evolução dos modelos computacionais de dimensionamento, desde AASHTO 1993 até metodologias mecanicistas-empíricas e a consolidação do *OptiPave*. A principal contribuição desses modelos é a capacidade de simular gradientes térmicos, distribuições de carga, comportamento das bases e interação placa-subleito com maior precisão, permitindo projetar placas pequenas com redução de espessura, sem perda de desempenho estrutural.

Em escala mundial, a aplicação desse sistema encontra-se consolidada, conforme demonstrado na Figura 4, com registros na América do Norte, Europa, Ásia e América Latina. A incorporação ao ACI 330.2R-17 (Figura 5) atesta a maturidade tecnológica do conceito, estabelecendo critérios para juntas serradas, bases drenantes, desempenho esperado e diretrizes de projeto e execução para esse tipo de pavimento.

Os benefícios observados em campo reforçam os resultados teóricos:

- ▶ Redução de fissuração longitudinal e transversal;



## FIGURA 3

### EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A COMPLEXIDADE DO PROJETO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

FONTE: ADAPTADO DE SMITH (2018, p. 42), COM BASE EM DADOS DA AASHTO



**FIGURA 4**

DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DOS SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO DE CONCRETO COM JUNTAS DE INDUÇÃO A CURTA DISTÂNCIA

FONTE: TCP INTERNATIONAL (2022)

- ▶ Quase eliminação de falhas de bordo;
- ▶ Queda significativa de ocorrências de *pumping*;
- ▶ Melhor distribuição de tensões verticais;
- ▶ Resposta mais estável sob gradientes térmicos diários.

A convergência entre as evidências experimentais e os modelos analíticos confirma que os sistemas de placas pequenas apresentam desempenho superior quando comparados a pavimentos rígidos de placas convencionais, especialmente em ambientes urbanos com tráfego multidirecional, frenagens frequentes e condições de umidade variáveis.

**2. MÉTODO DE CÁLCULO**

O dimensionamento das placas no sistema de pavimentação rígida com juntas de indução a curta distância segue os princípios estabelecidos para pavimentos rígidos tradicionais, incorporando ajustes baseados nos avanços das metodologias mecanicistas-empíricas recomendadas a partir de 2016, com destaque para o MEPDG (AASHTO, 2016) e para os estudos específicos desenvolvidos no âmbito do sistema TCP. No entanto, quando aplicadas às placas pequenas, surgem particularidades estruturais que diferem dos pavimentos convencionais e que devem ser consideradas no processo de cálculo.

Segundo Balbo (2009), as tensões decorrentes do empenamento térmico variam intensamente com o comprimento da placa (distância entre juntas), tornando-se praticamente desprezíveis para placas com dimensões inferiores a 3 m, com valores tipicamente inferiores a 0,5 MPa. Essa redução é atribuída à baixa difusividade térmica do

concreto, que limita a transferência de calor ao longo da espessura, promovendo comportamentos opostos de expansão das fibras superiores em períodos de maior insolação e retração por perda de umidade. Balbo demonstra que, ao se reduzir as dimensões da placa, esses efeitos tendem ao equilíbrio volumétrico, mitigando significativamente problemas de levantamento de bordas.

Em estudos avançados conduzidos no Chile, utilizando sensores de deformação e modelos de simulação integrados ao *OptiPave*, Covarrubias *et al.* (2013) observaram que, até o limite correspondente à aplicação de um meio eixo padrão, não ocorre torção significativa nas bordas da placa. Essa constatação está associada à baixa deflexão diferencial e ao caráter estável das placas pequenas, o que resulta em tensões de empenamento baixas e deslocamentos mínimos entre placas adjacentes. A Figura 2 ilustra esse comportamento, evidenciando que cada placa atua como um “êmbolo rígido”, distribuindo esforços à base de forma mais uniforme, comportamento também compatível com ensaios de placa descritos em Neto (2013).

A combinação entre pequenas aberturas de juntas serradas, distâncias

reduzidas entre juntas e a presença de fibras estruturais promove o imbricamento natural dos agregados, fornecendo a transferência de carga vertical — fenômeno amplamente discutido por Rodrigues (2019) ao abordar retração compensada e estabilidade dimensional. Dessa forma, torna-se desnecessário o uso de barras de transferência na maior parte das juntas, exceto nas juntas de concretagem.

A tensão de reação da base também desempenha papel crucial. Com placas menores recebendo apenas metade da carga de um eixo padrão (como destacado por Covarrubias, Roesler e Khazanovich), ocorre um regime de suporte semelhante ao de uma placa de pressão, com distribuição quase uniforme de tensões no contato placa-base. Essa condição permite a adoção de placas mais esbeltas, sem comprometer o desempenho estrutural, alinhando-se às práticas recomendadas em pavimentos industriais e aeroportuários discutidas por Balbo (2009).

As diretrizes do ACI 330.2R-17 (2017) reforçam essa abordagem, destacando a eficiência das placas pequenas, o papel da base drenante e o uso adequado de juntas de indução serradas como elementos essenciais para o desempenho de pavimentos em concreto com tráfego pesado.

Assim, o método de cálculo aplicado às placas pequenas resulta da convergência entre:

- ▶ Os fundamentos mecanicistas clássicos;
- ▶ Os estudos de comportamento térmico e volumétrico de Balbo (2009);
- ▶ As observações experimentais e computacionais de Covarrubias *et al.* (2013) no sistema TCP;



**FIGURA 5**

CAPA DA PUBLICAÇÃO ACI 330.2R-17

FONTE: ACI COMMITTEE 330 (2017)

- ▶ Os mecanismos de retração e estabilidade volumétrica apresentados por Rodrigues (2019); e
- ▶ As diretrizes internacionais de projeto descritas no ACI 330 (2017).

Essa integração técnica possibilita a redução de espessura, o controle superior de tensões e a maior eficiência estrutural, posicionando as placas pequenas como uma solução moderna, econômica e altamente adaptada ao contexto de pavimentação urbana.

### 3. IMPACTO AMBIENTAL

A redução da espessura das placas, o menor uso de aço (substituído por fibras estruturais), a diminuição das tensões de base e a facilidade de manutenção resultam em expressiva redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, o volume de resíduos gerados ao longo do ciclo de vida do pavimento é menor quando comparado aos sistemas rígidos tradicionais e, sobretudo, aos pavimentos asfálticos.

Benedicto *et al.* (2024), em estudo apresentado no Simpósio de Inovação e Sustentabilidade na Construção Civil, identificaram vantagens ambientais e operacionais relevantes, tais como:

- a) Menor custo de implantação e manutenção;
- b) Menor desgaste veicular e redução de consumo de combustíveis;
- c) Redução de emissões de CO<sub>2</sub> por menor demanda de materiais e menor necessidade de intervenções;
- d) Maior segurança, pela ausência de trilhas de roda e riscos de aquaplanagem;

- e) Menor formação de ilhas de calor, devido à maior refletância superficial do concreto.

### 4. CONCLUSÕES E TENDÊNCIAS

O sistema de pavimentação em concreto com placas pequenas aplicado ao TCP demonstra ser uma solução madura, eficiente e alinhada às exigências modernas de desempenho, durabilidade e sustentabilidade. A redução do espaçamento entre juntas resulta em placas mais estáveis, menor deflexão diferencial, menores tensões térmicas e maior uniformidade na transferência de cargas.

Modelagens mecanicistas, observações de campo e instrumentações confirmam que as placas pequenas atuam como elementos rígidos, com distribuição uniforme de tensões, reduzindo patologias típicas de pavimentos rígidos tradicionais, como fissuração, falhas de canto e *pumping*.

No âmbito ambiental, o sistema apresenta vantagens significativas: menor espessura, redução de aço, uso de fibras estruturais, maior durabilidade e menor necessidade de manutenção. Esses fatores implicam menor emissão de CO<sub>2</sub> e melhor conforto térmico urbano.

A experiência brasileira acumulada demonstra viabilidade técnica e econômica, desde que respeitados critérios de projeto, detalhamento de juntas e controle tecnológico adequado.

#### 4.1 TENDÊNCIAS FUTURAS

- a) A expansão do emprego de metodolo-

gias mecanicistas-empíricas integradas a modelagens tridimensionais e sistemas de monitoramento contínuo;

- b) O incremento no uso de materiais sustentáveis, como concretos de baixo carbono, adições minerais e fibras recicladas;
- c) A ampliação da aplicação de placas pequenas em corredores de transporte coletivo, vias de tráfego pesado e áreas industriais;
- d) O aperfeiçoamento geométrico das placas para adequação a pátios e áreas de geometrias complexas;
- e) O avanço de processos construtivos automatizados;
- f) O fortalecimento da análise de ciclo de vida (LCCA) e da mensuração de pegada de carbono como critérios de decisão em projetos de pavimentação.

Assim, conclui-se que o pavimento em concreto com placas pequenas constitui uma alternativa tecnicamente viável, economicamente competitiva e ambientalmente favorável para a infraestrutura urbana contemporânea. Sua adoção tende a expandir-se à medida que se intensificam as demandas por soluções duráveis, seguras e sustentáveis, sendo recomendada sua consideração em estudos de viabilidade e projetos de pavimentação, tanto no Brasil quanto no exterior.

### AGRADECIMENTOS

Aos autores aqui citados e outros não referenciados, porém com seu intenso esforço de publicação de dados e resultados de suas atividades de campo. ☺

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI COMMITTEE 330. ACI 330.2R-17: Guide for the Design and Construction of Concrete Site Paving for Industrial and Trucking Facilities. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2017.
- [2] AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993/1998.
- [3] AASHTO. Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide - MEPDG. Washington, D.C.: AASHTO, 2016.
- [4] BALBO, J. T. Pavimentos de Concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- [5] BENEDICTO, J. S. *et al.* Estudo comparativo da ecoeficiência entre sistemas de dimensionamento de pavimentação urbana. In: Simpósio de Inovação e Sustentabilidade na Construção Civil, 2024.
- [6] COVARRUBIAS, J. P.; ROESLER, J.; KHAZANOVICH, L.; HOLLAND, J. Publicações técnicas e documentação do sistema TCP e software OptiPave, 2013.
- [7] NCHRP. Correlation Between Joint Spacing and Cracking in Rigid Pavements. Washington: National Cooperative Highway Research Program, 2004.
- [8] NETO, J. X. Pavimentos de Concreto para Tráfego de Máquinas Ultrapesadas. São Paulo: PINI, 2013.
- [9] RODRIGUES, P. P. F. Pisos Industriais com Concreto de Retração Compensada. São Paulo: J.J. Carol, 2019.
- [10] TCP INTERNATIONAL. Documentação técnica institucional do sistema TCP Pavements™: mapa global de aplicações e evolução anual de países (2008-2022). Santiago, Chile: TCP International, 2022.

# Desempenho de pavimentos de concreto reforçado com fibras: análise da transferência de carga com métodos não destrutivos

**NÁDIA CAZARIM DA SILVA FORTI** - PROF.<sup>a</sup> - <https://orcid.org/0000-0001-9994-5546> - ([nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br](mailto:nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br)) ;  
**GIOVANNI TEODORO DE CASTRO** - MESTRANDO - <https://orcid.org/0009-0002-9880-915X> - ([giovannicastro147@gmail.com](mailto:giovannicastro147@gmail.com)) – **PUC - Campinas**  
**MARCO ANTONIO CARNIO** - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-2005-8555> - ([mac@puc-campinas.edu.br](mailto:mac@puc-campinas.edu.br)) ;  
**ANA BEATRIZ DA SILVA SANTOS** - ENG. - ([abs@evengenharia.com.br](mailto:abs@evengenharia.com.br)) – **Evolução Engenharia**

## RESUMO

**E**STE TRABALHO AVALIA O DESEMPENHO ESTRUTURAL DE UM PAVIMENTO EXPERIMENTAL DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, COM FOCO NA EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE) ENTRE PLACAS. UTILIZANDO O EQUIPAMENTO FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD), FORAM APLICADAS CARGAS DINÂMICAS PARA SIMULAR O TRÁFEGO E MEDIR DEFLEXÕES SUPERFICIAIS. A LTE FOI CALCULADA COM BASE NA RAZÃO ENTRE DEFLEXÕES EM PLACAS CARREGADAS E NÃO CARREGADAS, CONSIDERANDO VARIAÇÕES TÉRMICAS E PRESENÇA DE FISSURAS. OS RESULTADOS INDICAM LTE SUPERIOR A 80% EM TODAS AS PLACAS, COM DESTAQUE PARA O VALOR MAIS BAIXO (83,8%) ENTRE PLACAS COM FISSURA LEVE. O ESTUDO TAMBÉM ANALISOU PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO E O ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO (ICP), QUE FOI CLASSIFICADO COMO EXCELENTE. PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF) MOSTRARAM-SE PROMISSORES PARA VIAS DE BAIXO E MÉDIO TRÁFEGO, MESMO SEM

BARRAS DE TRANSFERÊNCIA, DESDE QUE AS FIBRAS SEJAM UTILIZADAS EM TEORES ADEQUADOS.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTO DE CONCRETO REFORÇADO COM MACROFIBRAS, FWD, JUNTAS DE RETRAÇÃO.

## 1. INTRODUÇÃO

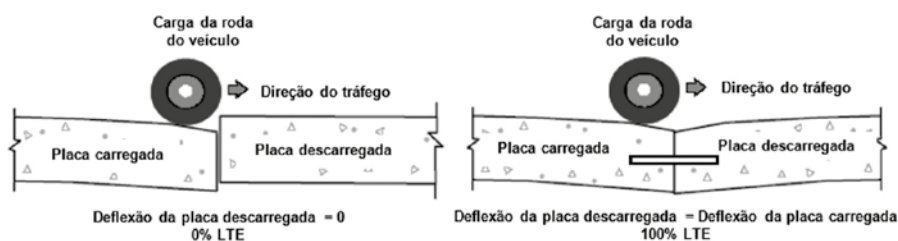
Nas últimas décadas, a malha rodoviária brasileira passou por uma significativa expansão, tanto em termos de extensão quanto de volume de tráfego. Esse crescimento tem intensificado a necessidade de avaliações mais precisas dos pavimentos, abrangendo aspectos estruturais e funcionais. Paralelamente, os métodos de dimensionamento têm evoluído, incorporando novas tecnologias, estudos experimentais e avanços científicos que buscam aprimorar o desempenho e a durabilidade das estruturas viárias.

A avaliação estrutural de pavimentos tem demandado, cada vez mais, o uso de métodos não destrutivos capazes de reproduzir com precisão as condições reais de carregamento. Entre as tecnologias disponíveis, destaca-se o equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD), que aplica cargas dinâmicas sobre a superfície do pavimento, simulando o tráfego de veículos.

De forma simplificada, uma célula de carga acoplada ao FWD mensura a força de impacto aplicada ao pavimento sob uma placa de 30 cm de diâmetro. A resposta do pavimento à carga de impulso é registrada por um conjunto de transdutores de velocidade (geofones), posicionados nas distâncias de 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 cm, sendo a posição 0 correspondente ao centro da aplicação da carga.

As leituras obtidas permitem avaliar a rigidez das camadas do pavimento, a resposta do subleito e a eficiência da transferência de carga em juntas e fissuras, fornecendo subsídios importantes para diagnóstico e planejamento de intervenções (Balbo, 2007).

Em pavimentos rígidos de concreto, a transferência de carga entre placas ocorre por meio do intertravamento dos agregados, da presença de barras de ligação e do suporte oferecido pela base e pelo subleito. A eficiência na transferência de carga, conhecida como Load Transfer Efficiency (LTE), é um fator determinante para o desempenho do pavimento, pois valores reduzidos podem ocasionar fissuras longitudinais e ressaltos na superfície.



## FIGURA 1

DIFERENÇA DO COMPORTAMENTO ENTRE PLACAS CONECTADAS E NÃO CONECTADAS

FONTE: ADAPTADO DE PHARES *et al.* (2008)



A LTE é influenciada pela rigidez das juntas, pelas condições de suporte e pelas variações térmicas ao longo do dia (Khanovich; Gotlíf, 2003).

Em temperaturas elevadas, as placas de concreto tendem a se expandir, reduzindo a abertura das juntas e fissuras, o que aumenta a rigidez aparente e o potencial de transferência de carga. Isso resulta em menores deflexões no lado carregado e maiores no lado não carregado. Em contrapartida, em temperaturas mais baixas, ocorre o efeito inverso: a abertura das juntas aumenta, reduzindo a LTE e elevando as deflexões diferenciais, especialmente na ausência de barras de transferência (Vandenbossche, 2007).

Os valores de LTE para a deflexão da junta podem oscilar entre 0% (nenhuma transferência de carga) e 100% (transferência total de carga). A Figura 1 representa a transferência de carga por deflexão em dois casos extremos: uma junta com transferência de carga completa e uma junta sem transferência de carga (Phares *et al.*, 2008).

Conforme afirma Vandenbossche (2007), pavimentos novos com barras de transferência apresentam valores de LTE superiores a 80%, enquanto aqueles sem barras situam-se acima de 70%. Valores inferiores a 70% são considerados inaceitáveis, indicando deficiência na eficiência de transferência de carga entre as placas do pavimento.

Nesse contexto, os pavimentos de concreto reforçado com fibras (CRF) surgem como alternativas econômicas para vias de baixo e médio volume de tráfego, devido ao seu reduzido custo de manutenção. As placas de CRF geralmente possuem espessura entre 10 e 15 cm e são executadas sobre base granular. Devido à menor espessura, esses pavimentos não comportam barras de transferência convencionais. No entanto, estudos indicam que fibras estruturais, quando incorporadas em teores adequados, podem melhorar significativamente a transferência de carga entre placas e reduzir o ressalto em juntas transversais (Barman *et al.*, 2024; Barman; Hansen, 2021).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho estrutural de um pavimento experimental de concreto de cimento Portland, por meio da análise de variáveis que influenciam a eficiência na transferência de carga entre placas. A investigação



**FIGURA 2**

TRECHO ESCOLHIDO PARA A CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

utiliza métodos não destrutivos, com destaque para o equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Os resultados apresentados integram um estudo mais amplo desenvolvido na dissertação do aluno Giovanni Teodoro Castro.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Caracterização do trecho

A seção analisada corresponde a um trecho de via com aproximadamente 120 metros de extensão, situado na área externa da PUC-Campinas, nas proximidades do portão 3, na Avenida Dr. Caio Pinto Guimarães (Figura 2). A execução do pavimento ocorreu durante o 1º Simpósio de Pavimento de Concreto Reforçado (SIMPACOM), com a concretagem da pista iniciada às 09h00 e concluída às 22h00, no dia 5 de junho de 2024.

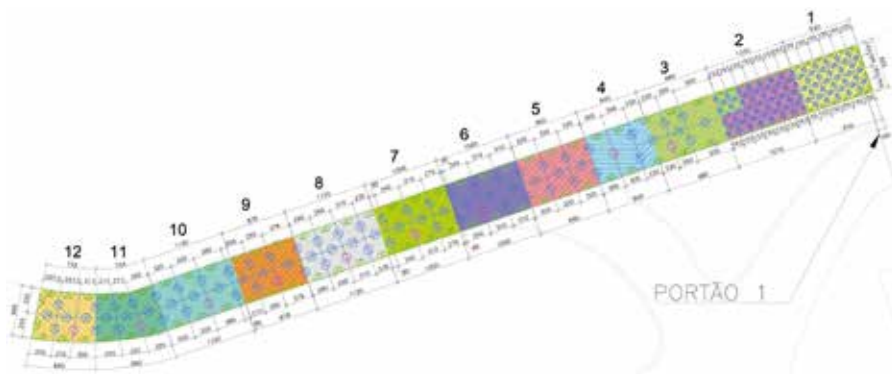
Esse segmento foi selecionado estrategicamente devido à presença de diversos

defeitos no pavimento existente, conforme DNIT-TER 005/2003: a) buraco de severidade leve; b) remendo superficial localizado; c) fissuras longitudinais; d) fissuras interligadas tipos couros de jacaré; e) buracos de severidades altas; f) costuras.

### 2.2 Preparação da sub-base

Para a preparação da sub-base, foram realizadas sondagens ao longo do trecho estudado. Seis pontos foram amostrados, com espaçamento de 20 metros entre eles. O solo identificado foi, predominantemente, uma argila silto-arenosa, sem ocorrência de lençol freático em nenhuma das sondagens. Observou-se ainda que, em determinados locais, a espessura do pavimento asfáltico existente não ultrapassava 2 cm.

Grande parte da estrutura do pavimento asfáltico existente foi reaproveitada. No entanto, a adequação exigiu a remoção do pavimento flexível com o uso de retroescavadeira, seguida pelo nivelamento da



**FIGURA 3**

DIVISÕES DAS SEÇÕES

**TABELA 1**

COMPOSIÇÃO DE REFORÇO DAS SEÇÕES

Seção	Microfibra		Macrofibra		Tela superior	Tela inferior	H (cm)	
	Tipo	Dosagem (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo	Dosagem (kg/m <sup>3</sup> )			Capa	Pav
1	PA	1,00	Polimérica	5,00	—	—	10,0	—
2	PP	0,60	—	0,00	Q138	—	10,0	—
3	PP	0,60	—	0,00	Q138	—	—	12,0
4	PP	0,60	—	0,00	Q138	Q196	—	12,0
5	PP	0,60	Aço	20,00	—	—	—	12,0
6	PP	0,60	Polimérica	4,00	—	—	—	12,0
7	PP	0,60	Polimérica	4,00	—	—	—	12,0
8	PP	0,60	Aço	20,00	—	—	—	12,0
9	PP	0,60	Polimérica	4,00	—	—	—	12,0
10	PP	0,60	Polimérica	4,00	—	—	—	12,0
11	PP	0,60	Polimérica	4,00	—	—	—	12,0
12	PP	0,60	Polimérica	4,00	—	—	—	12,0

base utilizando trator com pá niveladora. Em seguida, foram aplicadas e espalhadas duas camadas de agregados: graúdo na primeira e miúdo na segunda. Após essa etapa, realizou-se a aplicação de CBUQ e, por fim, a compactação com rolo tipo pé de carneiro.

### 2.3 Trecho experimental

No trecho experimental, as seções e as placas possuem dimensões variáveis. São compostas por trechos de reforço white-topping, concreto armado simples ou duplo, concreto reforçado com fibra metálica ou polimérica, conforme Figura 3 e Tabela 1.

#### 2.3.1 DIMENSIONAMENTO E PROCESSO DE CONCRETAGEM

Foi utilizada para o dimensionamento da espessura do trecho a prática recomen-

dada ABNT PR 1011 (2021). Foram considerados: placas 3,2 x 3,2 metros, espessura de 12 cm, sub-base granular com 10 cm de espessura, Ksistema de 0,05 N/mm<sup>2</sup>, veículos categoria IV e V, eixo tipo duplo (170 kN/eixo), (ABNT NBR 6120:2019);  $f_{ck}$  de 35 MPa,  $f_{ctf,k}$  de 4,5 MPa,  $f_{R1}$  de 1,8 MPa e  $f_{R4}$  de 1,8 MPa.

O processo de concretagem, aplicada a todos os traços, incluiu o isolamento das sarjetas por meio de barras de isopor com 1 cm de espessura. O lançamento do concreto foi seguido de espalhamento manual e adensamento com régua vibratória. Em seguida, realizou-se a cura intermediária, e a superfície foi uniformizada com o auxílio de rodo nivelador. Após essa etapa, foi aplicada a cura intermediária e o concreto foi uniformizado com o auxílio de rodo nivelador.

Após a aplicação da cura intermediária, o nivelamento da superfície foi realizado

com o uso de duas alisadoras de concreto, uma de 48 polegadas e outra de 36 polegadas. Na etapa seguinte, a textura foi aplicada utilizando “vassouramento”, seguida da aplicação da cura final.

Após 24 horas, foi realizada a execução dos cortes das juntas de retração (3,0 cm). Na Figura 4, é apresentada uma vista aérea do trecho após a concretagem.

### 2.4 Monitoramento e análise

Neste artigo, são analisadas as seções 8 e 9 (Figura 5), com foco no monitoramento do pavimento por meio da avaliação do Índice de Condição do Pavimento (ICP), de inspeções visuais para identificação de defeitos e da análise da eficiência de transferência de carga entre placas. A investigação baseia-se em dados obtidos com o equipamento *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, que permite simular o carregamento dinâmico do tráfego. As seções foram selecionadas por apresentarem diferentes tipos de reforço: a seção 8 é composta por concreto com macrofibras de aço, enquanto a seção 9 utiliza macrofibras poliméricas. Em ambas as seções, as placas foram dimensionadas com tamanhos semelhantes, permitindo uma comparação mais consistente entre os desempenhos estruturais. A seção 9 é composta por 6 placas, enquanto a seção 8 apresenta 8 placas, ambas delimitadas por juntas de retração e de ligação.

**FIGURA 4**

TRECHO EXPERIMENTAL APÓS A CONCRETAGEM

Para a análise da eficiência na transferência de cargas, foi inserida uma junta de ligação em cada uma das seções (símbolo JL2 indicado na Figura 5), com a inclusão de barras de transferência, conforme ilustrado na Figura 6.

Nas mesmas seções, as demais divisões entre placas foram executadas apenas com juntas de retração (Figura 7). O objetivo é verificar a eficiência das macrofibras na transferência de cargas nessas juntas.

A medição foi realizada com o deflectômetro de impacto modelo TBTTWD-NJ-M, do tipo trailer, composto por um disco circular de 20 cm de diâmetro e sete geofones. O procedimento consistiu no posicionamento do disco, seguido da elevação e liberação da carga em queda livre entre as juntas, a fim de determinar a taxa de transferência de carga entre as placas de concreto. No ensaio de impacto não destrutivo, aplicou-se uma carga de 4,1 kN. Foram realizados dois impactos: o primeiro destinado ao assentamento dos pratos e sensores, e o segundo utilizado para a coleta dos dados. Os geofones foram dispostos de modo que três permanecessem na placa anterior à junta e quatro na placa posterior, assegurando a adequada captação das deflexões entre placas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Propriedades mecânicas e de trabalhabilidade do concreto

O concreto, no estado endurecido, foi caracterizado por meio de ensaios normatizados. A resistência à compressão simples foi determinada conforme a NBR 5739 (2018), enquanto a resistência à tração na flexão seguiu a NBR 12142 (2010) (Tabela 2). Para esses ensaios, utilizou-se um corpo de prova aos 7 dias e dois corpos de prova aos 28 dias.

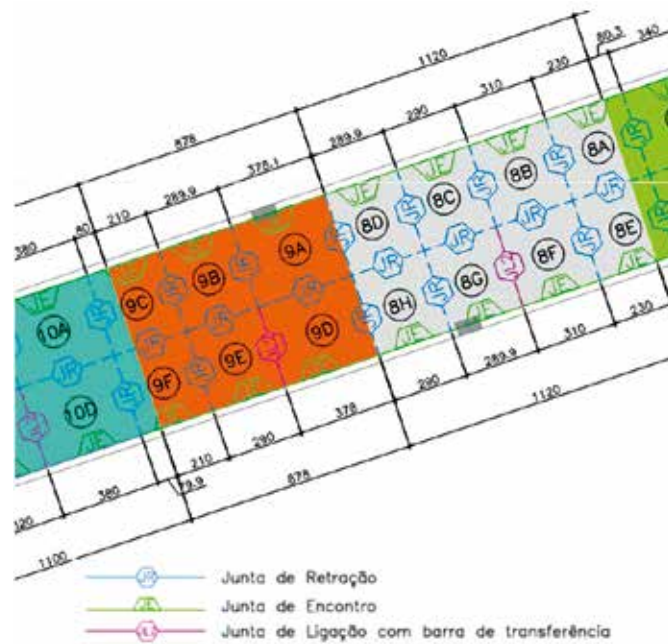
Adicionalmente, foram realizados ensaios de tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais), de acordo com a NBR 16940 (2020) (Tabela 3), empregando três corpos de prova.

Como especificações técnicas para esses pavimentos, o concreto deveria apresentar resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) igual ou superior a 35 MPa, e resistência característica à tração na flexão ( $f_{ct,fk}$ ) igual ou superior a 4,5 MPa. Na Tabela 2 é possível observar que estes valores são atendidos.

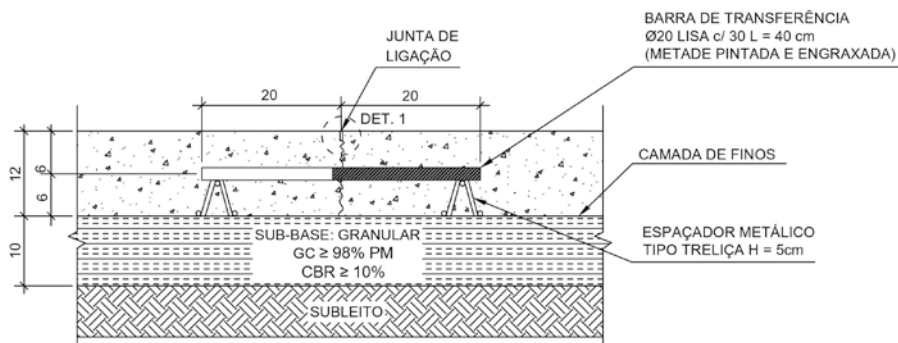
Além disso, para o concreto reforçado com fibras, os parâmetros  $f_{R1}$  e  $f_{R4}$  devem ser superiores a 1,8 MPa. Como demonstrado na Tabela 3, esses valores também foram alcançados.

#### 3.2 Índice de condição do pavimento (ICP)

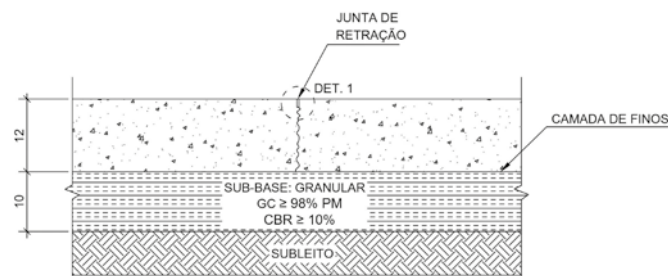
O Índice de Condição do Pavimento (ICP) é um parâmetro numérico obtido por meio de inspeções visuais ou com tecnologia a laser, que, a partir do preenchimento de um relatório contendo todas os defeitos identificados e seus respectivos



**FIGURA 5**  
DETALHAMENTO DAS SEÇÕES ESTUDADAS



**FIGURA 6**  
DETALHAMENTO DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIAS ADICIONADAS NAS JUNTAS DE LIGAÇÃO



**FIGURA 7**  
DETALHAMENTO DAS JUNTAS DE RETRAÇÃO

**TABELA 2**

PROPRIEDADES DO CONCRETO NAS SEÇÕES 8 E 9

Seção	Slump (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)		f <sub>ct,f</sub> (MPa)	
		Média 7 dias	Média 28 dias	Média 7 dias	Média 28 dias
8	130	34,7	41,1	4,2	7,4
9	140	38,1	48,0	7,7	9,6

**TABELA 3**

RESISTÊNCIAS RESIDUAIS A FLEXÃO DAS SEÇÕES 8 E 9

Seção	f <sub>L</sub> (MPa)	CV (%)	f <sub>R1</sub> (MPa)	CV (%)	f <sub>R4</sub> (MPa)	CV (%)
8	6,45	4,39	3,11	17,46	2,29	10,38
9	6,16	6,92	2,30	17,20	2,21	20,68

**TABELA 4**

ICP DO PAVIMENTO POR CONJUNTO DE SEÇÕES

Faixa	Medidor	Seção inicial	Seção final	ICP	Classe
Direita	Direita	6	12	92,4	Excelente
Direita	Esquerda	6	12	92,4	Excelente
Esquerda	Direita	6	12	86,9	Excelente
Esquerda	Esquerda	6	12	92,4	Excelente

graus de severidade, permite avaliar a condição estrutural e funcional do pavimento. Essa ferramenta é amplamente utilizada para subsidiar estratégias de manutenção e recuperação das vias, conforme estabelecido pela norma DNIT 714 (2005).

O ICP foi avaliado utilizando o equipamento RSP MK-IV e perfilômetros inerciais a laser equipados em picape. O veículo percorreu por duas vezes em cada via em uma velocidade média de

25 km/h e os dados foram compilados em uma planilha em Excel.

Este levantamento foi realizado um mês após a concretagem e os resultados dessa análise podem ser observados na Tabela 4.

De acordo com DNIT 62/2004 - PRO (2004), o ICP é considerado excelente, acima de 85%. De acordo com o levantamento de defeitos, o principal problema encontrado foi “defeito de selagem das juntas”, com grau de severidade baixo. Na ocasião, nem todas as juntas estavam seladas.

### 3.3 Defeitos no pavimento

Ao longo de um período de um ano, foram realizadas inspeções visuais mensais em todo o trecho experimental. Os

**FIGURA 8**

FISSURA LONGITUDINAL NA SEÇÃO 8

defeitos identificados, bem como sua evolução ao longo do tempo, foram registrados em planilhas e serão apresentadas a seguir. Nesse período, poucos defeitos foram registrados: esborcinamentos de juntas com graus de severidade leves, fissuras com graus de severidade leves e médios e degraus de juntas. Nas seções 8 e 9, foi registrada apenas o defeito ilustrado na Figura 8.

Ao verificar o corte das juntas nas placas 8B e 8C, onde foi identificada uma fissura de severidade média, observou-se profundidades irregulares: entre 1,5 cm e 3,0 cm nas juntas B-C, e entre 2,5 cm e 3,5 cm nas juntas C-D. Segundo o DNIT 714/2005, a profundidade ideal seria de 4 cm para placas de 12 cm. Essa variação, aliada às cargas veiculares, pode ter contribuído para o surgimento do defeito.

### 3.4 Eficiência na transferência de carga (Load Transfer Efficiency - LTE)

A LTE foi definida pela razão entre a deflexão da placa carregada ( $\delta_1$ ) e a da placa adjacente não carregada ( $\delta_2$ ), conforme a Equação 1 (Khazanovich; Gotlif, 2003). Neste estudo, consideraram-se as leituras nos pontos 0 e 30 como representativas das deflexões da placa sob carga e sem carga, respectivamente.

$$[1] \quad LTE = \frac{\delta_2}{\delta_1} \cdot 100 (\%)$$

A Tabela 5 apresenta os dados medidos e calculados referentes às placas das seções 8 e 9. Os pontos correspondentes estão geograficamente localizados conforme ilustrado na Figura 5, apresentada anteriormente.

Na Figura 9, é possível observar e comparar os valores de LTE.

Observa-se, na Figura 9, que todas as placas apresentam valores de eficiência na transferência de carga (LTE) superiores a 80%. Pavimentos novos com barras de transferência costumam registrar LTE acima de 80%, enquanto aqueles sem barras geralmente situam-se acima de 70%. As medições apresentadas foram realizadas após 10 meses de uso do pavimento. Destacam-se três pontos:

- a) A temperatura do pavimento foi monitorada durante toda a coleta das deflexões e variou entre 29 °C e 33 °C, representando um baixo gradiente térmico. Esse fator é relevante na análise da LTE, uma vez que temperaturas elevadas provocam a expansão das placas de concreto, reduzindo a abertura das juntas. Essa condição favorece a transferência de carga entre placas. No entanto, valores de LTE superiores a 100% indicam a presença de ruído nas leituras;
- b) O LTE entre as placas 8B e 8C foi de 83,8%, o menor valor registrado no conjunto. Exatamente entre essas placas, conforme apresentado no item 3.2, foi identificada uma fissura de baixa severidade, que pode ter influenciado negativamente esse resultado;
- c) O MnDOT (2019) recomenda que pavimentos de concreto de cimento Portland (PCC) com espessura inferior a 17,8 cm não utilizem barras de transferência de carga, devido ao cobrimento limitado. Nas medições

**TABELA 5**

RESULTADOS DA EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)

Placa	Força (kgf)	$\delta_1$ (D <sub>0</sub> )	$\delta_2$ (D <sub>30</sub> )	LTE (%)	T_PAV (°C)	Macrofibra	Barra de transferência
8A+B	4.000,00	26,63	23,85	89,56	29,40	Aço – 20 kg/m <sup>3</sup>	Não
8B+C	3.870,00	33,55	28,11	83,79	28,50		Não
8C+D	3.850,00	32,98	31,10	94,30	28,40		Não
8E+F	3.980,00	23,22	22,52	96,99	30,20		Não
8F+G	4.030,00	24,24	21,44	88,45	30,50		Sim
8G+H	3.960,00	21,60	21,29	98,56	29,80	Polimérica – 4 kg/m <sup>3</sup>	Não
9A+B	3.990,00	23,45	21,79	92,92	30,10		Não
9B+C	4.020,00	23,21	24,08	103,75	31,40		Não
9D+E	4.010,00	23,60	21,09	89,36	31,70		Sim
9E+F	3.950,00	30,19	30,59	101,32	33,20		Não

realizadas, os menores valores de LTE foram observados justamente nas posições onde havia barras de transferência. Considerando a espessura do pavimento de 12 cm e o uso de barras de 20 mm de diâmetro, essa tendência pode ser atribuída à redução da seção útil de concreto na região das barras, o que diminui a eficiência na transferência de carga. Por outro lado, as seções reforçadas

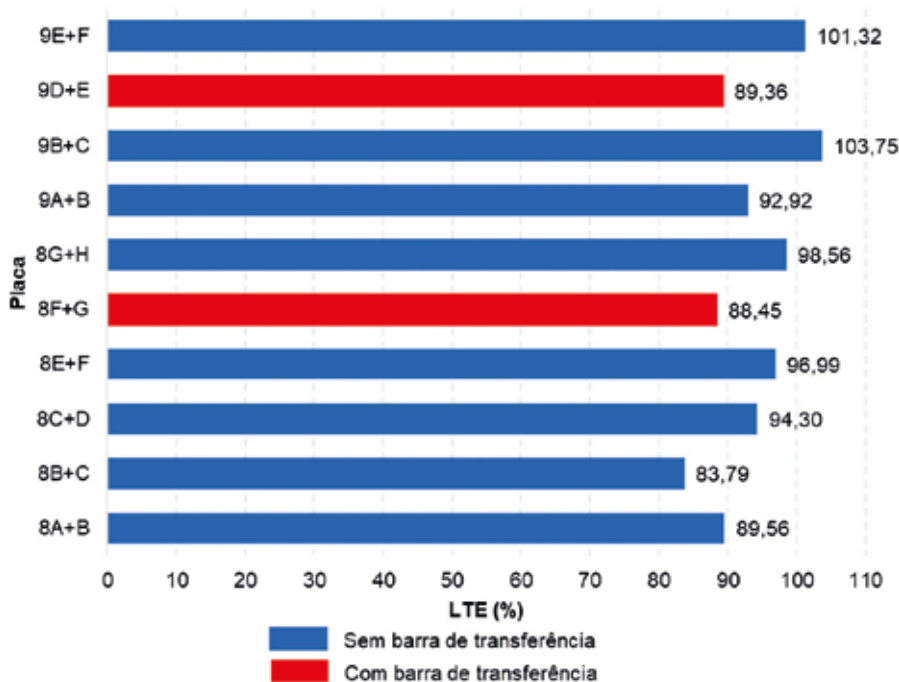
exclusivamente com fibras apresentaram melhor integridade estrutural, indicando desempenho mais favorável sob as mesmas condições.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que o pavimento experimental de concreto de cimento Portland reforçado com fibras apresentou desempenho estrutural satisfatório, com valores de LTE superiores a 80% em todas as placas avaliadas. A utilização do equipamento FWD permitiu uma análise da resposta do pavimento às cargas dinâmicas. A caracterização mecânica do concreto e o Índice de Condição do Pavimento (ICP) reforçam a viabilidade técnica do sistema, especialmente para vias de baixo e médio volume de tráfego. A presença de fibras estruturais mostrou-se eficaz na redução de defeitos e na melhoria da rigidez das juntas, mesmo na ausência de barras de transferência. Esses achados contribuem para o avanço de soluções econômicas e duráveis em projetos de infraestrutura viária.

#### AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado parcialmente pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001. Agradecemos à empresa Dynatest, representada por Adriano Márcio da Silva Júnior, pela coleta e fornecimento dos dados utilizados na análise. Também à Evolução Engenharia, na pessoa do Guilherme Sumitomo, pela viabilização e apoio ao desenvolvimento do projeto e ensaios com o concreto reforçado com fibras. ☺



**FIGURA 9**

RESULTADOS DA EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT. NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 2010. Rio de Janeiro, 2010.
- [2] ABNT. NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 2020. Rio de Janeiro, 2020.
- [3] ABNT. NBR 16940: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio, 2021.
- [4] BALBO, José Tadeu. Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- [5] BARMAN, Manik *et al.* Toward the development of pavement-specific structural synthetic fibers. St. Paul: Minnesota Department of Transportation, 2024.
- [6] BARMAN, Manik *et al.* Post-crack flexural and joint performance behaviors of fiber-reinforced concrete for pavements. Transportation Research Record, v. 2676, n. 2, p. 290-301, 2021.
- [7] DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. PRO-062/2004. Regulamentada em 25 de novembro de 2004. Pavimentos rígidos - Avaliação objetiva - Procedimento. Rio de Janeiro, 1.ed., p. 29. 2004.
- [8] DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR-714/2005. Regulamentada em 26 de julho de 2007. Manual de Pavimentos Rígidos. Rio de Janeiro, 2.ed., p. 234. 2005.
- [9] KHAZANOVICH, Lev *et al.* Evaluation of joint and crack load transfer: final report. Champaign, IL: ERES Consultants / Federal Highway Administration, 2003.
- [10] MnDOT. (2019). MnDOT Pavement Design Manual. St. Paul, MN: Minnesota Department of Transportation.
- [11] PHARES, Brent M *et al.* Development of a high speed rigid pavement analyzer: phase I feasibility and need study. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, 2008.
- [12] VANDENBOSSCHE, Julie M. Effects of slab temperature profiles on use of falling weight deflectometer data to monitor joint performance and detect voids. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 2005, p. 75-85, 2007.

## Sistemas de Fôrmas para Edifícios

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



**ANTONIO CARLOS ZORZI**

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

**Autor: Antonio Carlos Zorzi**

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

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

### DADOS TÉCNICOS

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

Patrocínio



Aquisição:  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)  
(Loja Virtual)

## IBRACON participa da COP30

Como Diretoria Internacional do *American Concrete Institute* (ACI), o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) participou da COP30, a Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas (ONU), em Belém, de 09 a 16 de novembro. O presidente do IBRACON, Eng. Júlio Timerman, participou de atividades na Zona Azul, restrita a convidados, como os painéis “Economia Circular”, promovido pela empresa Saint-Gobain, e “Conectando normas da ISO com políticas públicas”, promovida pela International Standardization Organization (ISO), além do painel “Implementando o Mercado Regulado de Carbono”, organizado pelo Banco do Brasil.

Júlio destacou o foco do IBRACON e do ACI em sustentabilidade e na redução da emissão de gases de efeito estufa no setor da construção, para justificar sua participação na COP-30.



Presidente da ABNT, Mário Willian Esper, ao lado do deputado federal Arnaldo Jardim e do presidente do IBRACON, Julio Timerman, na COP30

Na Zona Verde, aberta ao público, o presidente do IBRACON esteve no painel “*Brazil Cement Industry RoadMap Update*”, promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), cujo presidente, Paulo Camillo Penna ressaltou o papel decisivo do IBRACON para vencer o desafio de emissões líquidas nulas do setor em 2050, como entidade de inteligência agregadora da cadeia de valor do concreto.

Ainda na Zona Verde, Júlio Timerman testemunhou a assinatura do convênio entre a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e dos Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia do Amazonas e do Pará (CREA/AM e CREA/PA) para divulgação de práticas de combate à violência doméstica e ao feminicídio. Em evento do Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU), Timerman deu um depoimento sobre o projeto de responsabilidade do IBRACON de construção de uma nova sede para a associação de rendeiras de Marechal Floriano, em Alagoas.

Participou ainda da inauguração da unidade básica fluvial do Instituto de Pesos e Medidas (IPEM) e do Instituto Nacional de Certificação (INMETRO), espécie de embarcação instrumentada para realizar a fiscalização de produtos e serviços em cidades do interior do Amazônia, de acesso apenas via fluvial. E do “*Sustainable Construction Talks*”, promovido pela Saint-Gobain no Museu do Pará.

Na avaliação de Júlio Timerman, “a COP30 deixou um legado de revitalização de prédios históricos e do parque da cidade de Belém e reafirmou a meta de net zero até 2050, para a qual o IBRACON planeja contribuir efetivamente, focando em ações como a redução do consumo de cimento, o aumento da resistência do concreto para desmaterializar as estruturas e o incentivo à economia circular”.

O IBRACON já está convidado para participar da COP31, na Turquia, em 2026.



O presidente do IBRACON, Julio Timerman com o presidente da ABCP, Paulo Camillo Pena, durante as atividades da COP30

**D**iante da repercussão do colapso da Ponte Juscelino Kubitschek sobre o Rio Tocantins, na divisa entre Tocantins e Maranhão, e em resposta ao questionamento da sociedade sobre a atuação do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia, o CREA-SP organizou uma comissão especial para discutir a qualificação mínima a ser exigida de inspetores, que contam 5000 no estado de São Paulo. A Comissão, formada por representantes do Departamento Estadual de Estradas de Rodagem (DER-SP), da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana (SIURB) e do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), elaborou um Manual Orientativo para Ins-



peções Estruturais, que foi lançado no último dia 5 de novembro, no Seminário de Inspeção de Pontes e Estruturas, no CREA-SP.

Na ocasião, o presidente do IBRACON, Eng. Júlio Timerman, e seu vice-presidente, Prof. Paulo Helene, palestraram sobre as atualizações da norma brasileira ABNT NBR 9452 e o diagnóstico de manifestações patológicas em estruturas de concreto, respectivamente.

O Manual, que traz uma abordagem geral para a inspeção preliminar de pontes e viadutos quanto à sua segurança e estado de conservação, será adotado para nos cursos de qualificação de inspetores no estado de São Paulo e em outros estados.

## 7th **fib** Congress

**O** 7º Congresso da Federação Internacional do Concreto Estrutural vai acontecer em Lisboa, Portugal, de 15 a 19 de junho, sob a bandeira “Concreto estrutural 2050: para a neutralidade do carbono, o pro-

jeto auxiliado por Inteligência Artificial e a construção robótica.

O Congresso vai trazer as novidades em termos de pesquisa e desenvolvimento do concreto, bem como cases dos projetos

estruturais mais impressionantes.

A submissão de artigos para o evento pode ser feita até 31 de janeiro de 2026.

**Mais informações:**

<https://fiblisbon2026.pt/>



Equipamentos para  
**Caracterização, Pesquisa  
& Desenvolvimento  
do Concreto**

[www.instron.com](http://www.instron.com)  
[vendas@instron.com](mailto:vendas@instron.com)  
[+55] (41) 3035-9400

**Concreto Convencional,  
CAD, CRF, UHPC, FRP, 3DCP...  
Faça seus ensaios em  
equipamentos Instron**



# ACONTECE NAS REGIONAIS

## Regional RN realiza Workshop sobre Parede de Concreto

**A** Regional do IBRACON no Rio Grande do Norte realizou em 27 de novembro seu

nono workshop sobre o sistema paredes de concreto, no auditório do Sinduscon.

O palestrante foi o diretor da GP&D, Carlos Brites.

## Palestras na Regional MT

**A** Regional do IBRACON no Mato Grosso realizou duas palestras para orientar os engenheiros para a produção de concretos durá-

veis e eficientes no último dia 26 de novembro.

Os palestrantes foram o diretor técnico do IBRACON em Mato Grosso, Olí-

vio Fiorese Neto, e o diretor técnico da Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC), Álvaro Sérgio Barbosa Júnior.

## Livro

# CONCRETO: Ciência e Tecnologia



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

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

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

**Edição:** 3ª edição

**Páginas:** 2055

**Formato:** 15,7 x 23cm

**Acabamento:** capa dura

**Ano de Publicação:** 2022

**Coordenadores:** Bernardo Tutikian  
Fernanda Pacheco  
Geraldo Isaia e  
Inês Battagin



# Instituto Brasileiro do Concreto


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

Fundado em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

## Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da revista **CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!

 [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

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

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

**O *best seller* da engenharia de materiais de construção não pode faltar na sua biblioteca!**



**Ficha Técnica**  
ISBN / ISSN: 978-85-98576-27-5  
Edição: 3ª edição  
Páginas: 1760  
Formato: 18,6 x 23,3 cm  
Acabamento: Capa Dura  
Ano de Publicação: 2017  
Peso: 6,5 Kg

O livro “Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais” é a mais completa fonte de consulta para estudantes, professores e profissionais da engenharia.

Dividido em dois volumes, o livro é composto por 52 capítulos escritos por 86 reconhecidos especialistas brasileiros, totalmente referenciado nas normas brasileiras vigentes e de acordo com as práticas nacionais da mais alta qualidade da engenharia civil em vigor.

**Garanta seus exemplares!**  
Acesse a Loja Virtual do IBRACON  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



# 67º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

Natal 2026  
30 de setembro a 3 de outubro

## MAIOR EVENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO SOBRE O CONCRETO NO BRASIL

### PROGRAMAÇÃO

- Conferências plenárias
- Seminários
- Sessões técnico-científicas
- Concursos estudantis
- Cursos

### PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- Feira Brasileira da Construção em Concreto
- Seminário de Novas Tecnologias
- Logotipagem do evento

### EVENTO PARALELO



## 15º CONGRESSO INTERNACIONAL IBERO-AMERICANO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

30 de setembro a  
2 de outubro de 2026



## MAIS INFORMAÇÕES

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br) [ibracon\\_oficial](https://www.instagram.com/ibracon_oficial) [ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice) [ibraconOffice](https://www.facebook.com/ibraconOffice) [office@ibracon.org.br](mailto:office@ibracon.org.br)

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