



12ª EDIÇÃO
CONCRETE SHOW
A FERRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

14 A 16 SÃO PAULO EXPO
AGOSTO SÃO PAULO - BRASIL
2 0 1 9 concreteshow.com.br



SEMINÁRIO:
INSPEÇÃO de PONTES
de CONCRETO

Promoção e Organização
IBRACON

1



MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DURABILIDADE DAS PONTES DE CONCRETO

Paulo Helene
*Diretor Técnico IBRACON
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Gestor e ex-Presidente ALCONPAT Internacional
Diretor da PhD Engenharia
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro da CNTU e SEESP*

São Paulo, 14 de Agosto de 2019 → 14h às 18h




2

ENTREVISTA
Vitor Aly
Secretário Municipal de Infraestrutura
Urbana e Obras (SMIU)

LINHA DE FRENTE
Adriano Pires
Diretor do Centro Brasileiro de
Infraestrutura (CBI)

ENGENHARIA

Nº 640/2019 - ANO 76 www.brasilengenharia.com R\$ 39,00



AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO NO VIÁRIO URBANO

ALERTA NAS PONTES E VIADUTOS

Na visão de dez entre dez especialistas a manutenção periódica e preventiva é mais barata do que o reparo de danos depois que ocorrem os sinistros



3

▶ personalidade entrevistada

Vitor Levy
Castex ALY



Engenheiro civil pela Escola de Engenharia da Universidade Mauá (1985), com mestrado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Vitor Aly é, desde abril de 2018, secretário da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (SMIU). Anteriormente, ocupou a presidência da SP Obras (2017-2018), empresa da Prefeitura de São Paulo (PMSp) responsável pela execução de programas, projetos e obras do município.

Com ampla experiência no setor público, Vitor foi assessor especial da presidência da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) e assessor especial do governador Mário Covas (1995-2001).

Foi também vice-presidente e diretor de obras da Empresa Municipal de Utilização de São Paulo (Emurta).

Ele ocupou também cargos estratégicos em empresas e consultorias especializadas em engenharia, como a Montgomery Watson Harza, a CH2M Hill e a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (Cbpro), no período de 2005 a 2012, e foi sócio-diretor da Vitor Engenharia.

Vitor Aly é professor, desde 1997, da FUP-USP, onde ministra aulas na área de infraestrutura.

IBRACON – Conheça o Regulamento do Programa de Inspeção e Manutenção de Pontes e Viadutos (PIMV) na Área Acadêmica e na Administração Pública, desenvolvido em parceria com a Associação de Engenharia V.L.C.A. – Meu pai era engenheiro

civil formado na Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, contemporâneo do governador Mário Covas. No final de empresa, ele me convidou para as obras tocadas por sua empresa, em Santos. Por isso, eu nunca pensei em que outra coisa na vida que não fosse engenheiro civil. Com tal decisão, eu consegui atender

ao desejo do meu pai e à minha vocação. Eu entrei em 1980 na Escola de Engenharia Mauá. No terceiro ano do curso, eu passei na prova de transferência para a Unicap – Universidade de Campinas, mas fui desclassificado por meu pai a ir, pois, naquela época, o mercado da



INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

SISTEMAS DE GERENCIAMENTO, REFORÇO E REABILITAÇÃO, E USO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO



PERSONALIDADE ENTREVISTADA
VITOR ALY COMPROMISSO PÚBLICO COM A INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS DE SÃO PAULO

QUALUM INSTRUMENTAL
NOVO REGULAMENTO DO PROGRAMA MASTER PEC

CONHEÇA A NOTÍCIA
PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DO IBRACON RETOMA ATIVIDADES

IBRACON
94
JULHO 2019

4

CAPA ENGENHARIA **INFRAESTRUTURA**

AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO NO VIÁRIO URBANO

PERIGOS RONDAMAS PONTES E VIADUTOS



PERIGOS

Nas vides de especialistas ouvidos pela revista, a manutenção periódica e preventiva é muito mais barata do que o reparo de danos depois que ocorrem os sinistros. Basta citar que o problema paulista já se viveu no último dia 16 de março: trânsito de carros e caminhões no viaduto do plato express da Marginal Piratininga, próximo ao Parque Villa Lobos, na Zona Oeste, após quatro meses de interrupção. O viaduto sofreu avarias estruturais, ficando com que parte do seu tabuleiro cedesse dois metros. Segundo o prefeito Bruno Covas, o custo total estimado das obras, incluindo a requalificação, é de 76,5 milhões de reais. Mas de recente constata-se que o sistema, por falta de manutenção adequada, poderia custar 70 milhões de reais, caso fosse preciso demolir e construir uma nova obra no lugar. O viaduto havia caído na madrugada do dia 15 de novembro do ano passado. Parte das obras vão continuar, mas não são emergenciais. São obras de requalificação do viaduto e podem

ser feitas com ele sendo utilizado. As intervenções complementares serão feitas mediante licitação. Antes da abertura do viaduto ao público, os testes de carga foram de duas tipos: o dinâmico, em que uma carreta com 60 toneladas se deslocou pelo viaduto, e estático, em que 45 caminhões, cada um com 28 toneladas, ficaram parados sobre a estrutura em pontos determinados. Foram utilizados 40 sensores ao longo do plato e na pilares para medir o comportamento da estrutura e captar o movimento da ponte fora do padrão. Além disso, está em preparação o cronograma das obras de recuperação da ponte que levou à queda. Segundo o presidente da Associação Brasileira de Engenharia e Arquitetura (ABEA), as pontes e viadutos são obras de infraestrutura com vida útil de até 100 anos. Assim como as demais estruturas de concreto, elas são projetadas com uma determinada vida útil e de modo a assegurar e prolongar sua vida, essas

grandes estruturas devem passar por processos contínuos de preservação. As empresas focam na execução e não dão a devida atenção ao pós-obra, aos processos de manutenção necessários. A falta de manutenção faz com que várias estruturas tenham prazos de depreciação, gerando grandes impactos e transtornos na dinâmica das cidades, além do alto custo de recuperação do ponto ou viaduto que tem a sua funcionalidade perdida em parte ou por completo. No Brasil, recentemente, houve alguns episódios aos quais a falta de inspeção, acompanhamento e manutenção levaram algumas estruturas ou partes delas ao colapso. Há dois anos, mais recentemente, em novembro passado, em São Paulo, alguns meses antes, em Brasília, parte da estrutura de um viaduto, na área central do capital federal, foi ao colapso. A falta de manutenção ficou patente nesse caso. Para que se possibilite o prolongamento da vida útil das obras de arte, os engenheiros apontam que alguns

procedimentos devem ser realizados ao longo de sua operação: monitoramento, inspeções, diagnóstico e manutenções. Acidentes anteriores de grandes proporções, como o desmoronamento do Estádio Pinheiro do Menor de São Paulo e as das barragens de rejeitos em Minas Gerais, têm demonstrado a insuficiente capacidade dos quadros técnicos do serviço público, possivelmente desmotivados, despreparados ou insensibilizados. Figuras importantes da engenharia defendem que é preciso também melhorar o aprendizado dos engenheiros, introduzindo disciplinas de patologia, diagnósticos, inspeções, fiscalização, controle, reabilitação, assim como ética e responsabilidade profissional e social, nos cursos de graduação. Eles devem estar claros que é preciso colocar em concorrência a execução de uma obra com base no projeto técnico à construção de um projeto executivo, nem escolher apenas pelo preço mínimo (R\$ 8.666) sem distinguir entre competências.

5

INFRAESTRUTURA

prognóstico (o comportamento futuro) da estrutura.

— **Consta que após vistorias em 2017, em São Paulo, 73 pontes e viadutos tinham problemas estruturais. São locais no centro expandido que têm infiltrações, armaduras metálicas expostas e rachaduras. Como tem acompanhado esse panorama? —** perguntamos a Helene.

“Este relatório foi realizado por profissionais voluntários gerenciais pelo Sincenco que é um sindicato patronal nacional que representa algumas das empresas de engenharia consultiva e de arquitetura, com base numa vistoria despretensiosa, porém realizada por profissionais experientes e exigidos, preocupados com a situação de risco que esse importante patrimônio construído e fundamental para a elevação da cidade e segurança dos indivíduos. É um excelente ponto de partida e um alerta às autoridades responsáveis, mas não pode ser tomado automaticamente como um documento conclusivo. Tem suas deficiências. Por exemplo nem constata deusa falta de vistoria acidental, mas relata outros casos preocupantes que exigem inspeções especiais e detalhadas, a serem realizadas pela prefeitura paulistana que é o órgão responsável e competente para tal gestão.”

— **Estudos internacionais estimam que o total é que foram investidos pelo menos 2% do PIB de um país na manutenção do ambiente construído. De uma forma geral, quais as críticas que podem ser feitas à situação (investimentos) das administrações municipais brasileiras na manutenção de pontes, viadutos e túneis? —** solicitamos de Helene.

“Não posso afirmar que se dá investiu 2% do PIB na manutenção de obras de arte especiais anualmente. Realmente a referência internacional que eu conheço e é praticada em muitos países é tratar como valor médio de custo de manutenção a quantia equivalente a 2% do custo de uma obra de arte especial nova equivalente. Em outros países os órgãos responsáveis deveriam ter um orçamento anual equivalente a 2% do valor do patrimônio construído em obras de arte especiais sob sua responsabilidade. Ou seja que esse valor médio pode ser diferente de uma obra a outra. Mas, na média, seria suficiente para pagar inspeções básicas e rotineiras e manutenções especiais a cada cinco a dez anos, reparos, reformas, substituição de juntas e apêndices de apoio, recalques, impermeabilizações, juntas e juntas superficiais, limpeza, drenagem, calçadas etc. Acidentes não estariam cobertos por essa verba. Em 50 anos, por exemplo, a grosso modo, investido o equivalente ao custo de 100% de uma obra nova e, se essa manutenção preventiva e corretiva



Paulo Pinheiro, diretor da HCB Engenharia, professor titular da Universidade de São Paulo

for realizada, ao fim desses 50 anos teríamos uma ponte, viaduto ou túnel no estado de novos e em condições de durar e servir à comunidade por mais 50 anos.”

— **Para especialistas em engenharia civil seria preciso ter manutenção periódica. Os mesmos dizem que é preciso vontade política e também dizer à população que certo local está fechado para obras, para serviços definitivos. O senhor se associa a essas recomendações? —** argamos Helene.

“Sem dúvida, falta cultura de manutenção profilax e em especial de manutenção permanente de obras de arte especiais, sejam públicas ou privadas. As intervenções preventivas, como o próprio nome indica, devem ser realizadas com a obra em perfeitas condições aparentes. Fazendo um paralelo didático, diria que pessoas acham perfeitamente normal tocar o olho dos carros antes do maior funeral — ou melhor, para não falar o nome. Infelizmente, como se tratam de obras públicas, o gestor fica com receio da oposição crítica-lo por estar intervindo, correta e preventivamente, numa obra em perfeito estado aparente de funcionamento. É verdade, falta cultura e tal-vez esse ‘two cultures’ área ser creditado à própria classe dos engenheiros civis, no qual me incluo, que não soube desenvolver este devido processo necessário de manutenção periódica. Essas inspeções e manutenções preventivas e corretivas devem ser realizadas, no mínimo, a cada dois anos, de modo profissional, com registro de ART, relatório fotográfico, parecer conclusivo e, sempre que for o caso, com embois comprovadas. Porém, reitor que não basta realizar inspeções periódicas, pois isso gera ‘paper’ e relatórios, há que analisar os chamados novos. O importante e fundamental é realizar obras, serviços e melhorias ou substituições preventivas e corretivas nessas inspeções. A inspeção é necessária e fundamental para saber se que precisa ser feita. Porém, de nada adianta se o órgão responsável apenas arquiva e não toma as medidas recomendadas e especificadas nos pareceres e relatórios conclusivos de inspeção.”

— **Conforme já foi divulgado, a determinação da prefeitura foi de elaborar laudo estrutural de 183 pontes e viadutos do cidade, por entender que as vistorias visuais são insuficientes, antes de tomar medidas. Vê com o objetivo de de fato realmente ampliar o controle para inspecionar todas as 183 estruturas? —** perguntamos com Helene.

“Não, porque as CCR, as normas brasileiras podem ser consideradas como ‘lei corporativa’ e, portanto, devem ser implementadas. Segundo a ABNT NBR 9453, a cidade, há necessidade de bem realizar as inspeções cadastrais e rotineiras assim como as inspeções especiais e eventualmente

6

Envelhecimento e inspeção de pontes e viadutos

HELENE, Paulo R. L. Prof. Titular, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil PCC/USP

INTRODUÇÃO

Este trabalho específico, dentro de um Seminário amplo sobre consecução da durabilidade na construção civil, justifica-se pela oportunidade criada por mais um acidente de grandes e graves repercussões à comunidade da cidade de São Paulo com a interrupção da Ponte dos Remédios, sobre o Rio Tietê, ocorrida no dia 03 de junho de 1997. Várias Entidades e Profissionais se manifestaram sobre o problema, tendo o Instituto de Engenharia de São Paulo organizado um seminário conclamando as Autoridades Municipais, Estaduais e Federais para a importância e urgência de medidas que assegurem projetos atualizados, inspeções adequadas e realização das conservações necessárias.

Não há dúvida que esta situação poderia ter sido evitada, com benefícios a todos, principalmente do ponto de vista da imagem do Poder Público e da imagem da Engenharia Nacional e também do ponto de vista da economia dos recursos públicos. Vários estudos internacionais¹ e nacionais² em São Paulo emersam em declarar que os custos de reparo, de restauração e de reforço e prevenção são sempre muito mais elevados que os de prevenção, sempre que estes sejam efetuados oportunamente.

Cabe lembrar que os processos degenerativos em estruturas de concreto são, na sua grande maioria, auto-acelerantes³, ou seja, uma fissura acarreta o ingresso de agentes agressivos que depositam a armadura que se corrói e gera produtos expansivos que deslocam o concreto de cobrimento que por sua vez expõem mais ainda a armadura que se corrói mais rapidamente causando mais e maiores fissuras e deslocamentos e rupturas, e assim progressivamente até o colapso total ou parcial.

Esse efeito sinérgico e perversivo está muito bem caracterizado na literatura especializada através do trabalho concluído por

"Lei de Sitter" apresentado no boletim técnico nº 152 do "Comité Euro Internacional de Béton-CIB" de 1984. Segundo seu autor, o pesquisador Sitter, os custos de intervenção nas estruturas de concreto variam segundo uma progressão geométrica do mal do concreto. Dividindo as etapas de construção em quatro períodos: projeto, construção, manutenção preventiva e manutenção corretiva, associa o custo a qualquer medida de prevenção ou proteção tomada na fase do projeto.

Assim tem-se os custos no mal de 1, 5, 15 e 125, ou seja, uma intervenção corretiva pode ser 125 vezes mais dispendiosa que a mesma medida tomada a nível de projeto, antes da construção. Portanto adiar uma intervenção significa aumentar os custos dentro em progressão geométrica de mal de 5 (cinco), o que permite afirmar que mesmo por razões econômicas é sempre conveniente proceder à intervenção o mais rápido possível.

Já no século passado, no discurso de posse do Engº Robert Stephenson na presidência do Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha em 1856, ele declarou: "Tendo experiência de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados. Nada é tão instrutivo para jovens engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção. A descrição exata desses acidentes, com o entendimento correto dos mecanismos de ocorrência, é realmente mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos. Também os engenheiros experientes refletem os mais úteis ensinamentos da observação desses acidentes, que podem ocorrer nas suas próprias obras. Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação desses problemas nos arquivos desta instituição". Parece natural observar que a todo acontecimento negativo envolvendo a Engenharia deve-se buscar tirar a melhor e mais positiva lição.

¹ INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO, Marília, 1997. "Especificações para Construção de Pontes de Engenharia Civil em Materiais de Aço, São Paulo, RJ, Estado de Engenharia, etc.

² MORAIS, P. Kuyar. Durability of Concrete - Fifty Years of Progress (I) - Colapso Intermittente sobre Avanço por Transporte de Produtos e Produtos de Corrosão em Ponte Agreste, São Paulo, ago 1990. Avon: São Paulo, Universidade de São Paulo PCC/USP, 1992.

³ CRAIG, J. R.; O'CONNOR, D. S.; AHLSSKOG, J. J. Economic of Bridge Deck Protection Methods. Materials Performance, v. 32, n. 4, nov. 1992.

COMMITTEE on CONCRETE DURABILITY: NEEDS and OPPORTUNITIES. Concrete

Durability A Multinational Guide Opportunity Washington, MMAL, CETS, NRC, National Academy Press, 1987. (Report MMAL-87)

GRUPO ESPAÑOL de NORMACIÓN. Encuesta sobre Prácticas de Estudios de Huelga. Madrid, CEN, 1982. (Informe 93)

SOEHLI, H. A. Maintenance and Repair. Concrete International, v. 12, n. 3, p.71-3, Sept. 1990.

BARILE, M. Maintenance and Repair of Concrete Structures. Paris, CEB, n. 0, 1988.

Dal MOUL, Denis C. Fissuras em Estruturas de Concreto Armado - Análise das Manifestações Típicas e Lacunamento de Causas Ocultas no Estado de Rio-Grande

MAIO, 1996

CRAIG, J. R.; O'CONNOR, D. S.; AHLSSKOG, J. J. Economic of Bridge Deck Protection Methods. Materials Performance, p. 32-4, nov. 1992

COMMITTEE on CONCRETE DURABILITY: NEEDS and OPPORTUNITIES. Concrete

Engenharia Estrutural - Nº1 - 1º trimestre, 1998

Ponte do Socorro

São Paulo/SP
Colapso: 20/06/1988
noite de segunda-feira
ponte em arco

Adutora SABESP

QUARTA-FEIRA **O ESTADO DE S. PAULO** 22 DE JANEIRO DE 1968

Adutoras caem, Zona Sul fica sem água

Trem de passageiros volta a circular amanhã

População muda os hábitos

Suspensas obras e largagens

<http://acervo.estadiao.com.br/pagina/#/19880622-34761-nac-0001-999-1-no1/tele/fu11arven>

9



10

Ponte Pedra Branca

Pedra Branca/SE

Colapso: 09/05/2015 tarde de sábado ponte em arco adutora da Deso

11

MENU
SERGIPE

09/05/2015 13:59 - Atualizado em 09/05/2015 19:37

Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca, SE

Ponte fazia a parte da BR-101, mas estava interditada para veículos. Fornecimento de água pode ficar interrompido até a próxima semana.

De 01 SE

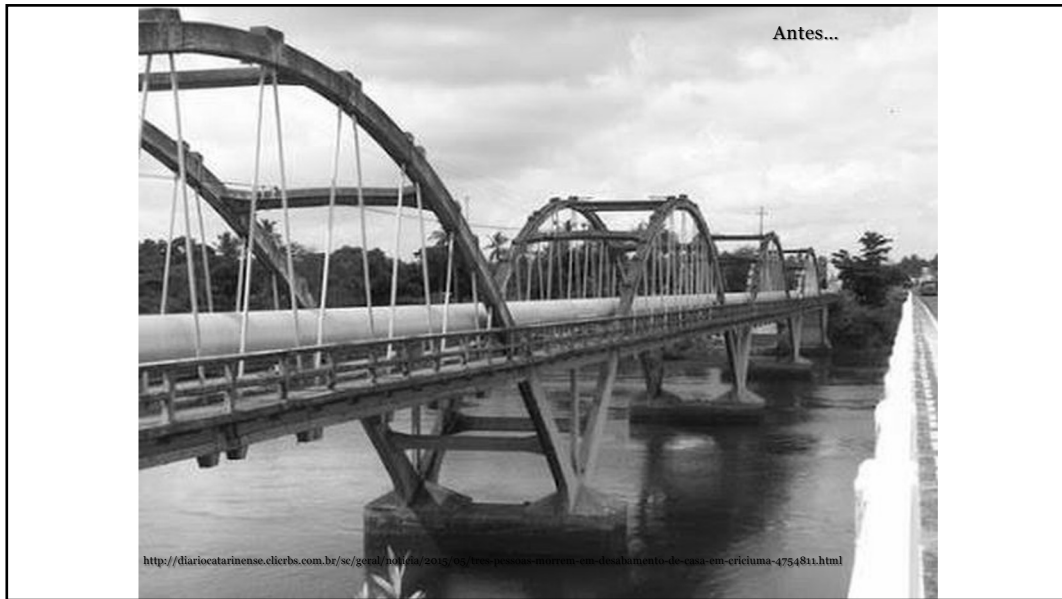
FACEBOOK



Ponte era bastante antiga e pode não ter suportado peso (Foto: Divulgação/André Amorim)

<https://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2015/05/rodizio-de-agua-sergipe-foto-nos-municipios-afetados-na-grande-aracaju.html>

12



13



14

Ponte Metálica Jaguari

Jaguari/RS

Acidente: 31/05/2015
tarde de domingo
ponte rodoviária
colapso após a travessia de um
caminhão bitrem

15

≡ MENU
G1
RIO GRANDE DO SUL

31/05/2015 17h44 - Atualizado em 31/05/2015 19h22

Ponte desaba e derruba carro e parte de caminhão em rio de Jaguari

Ponte liga as duas partes da cidade, que é separada pelo Rio Jaguari. Após queda, parte de caminhão e automóvel caíram na água.

Do G1 RS

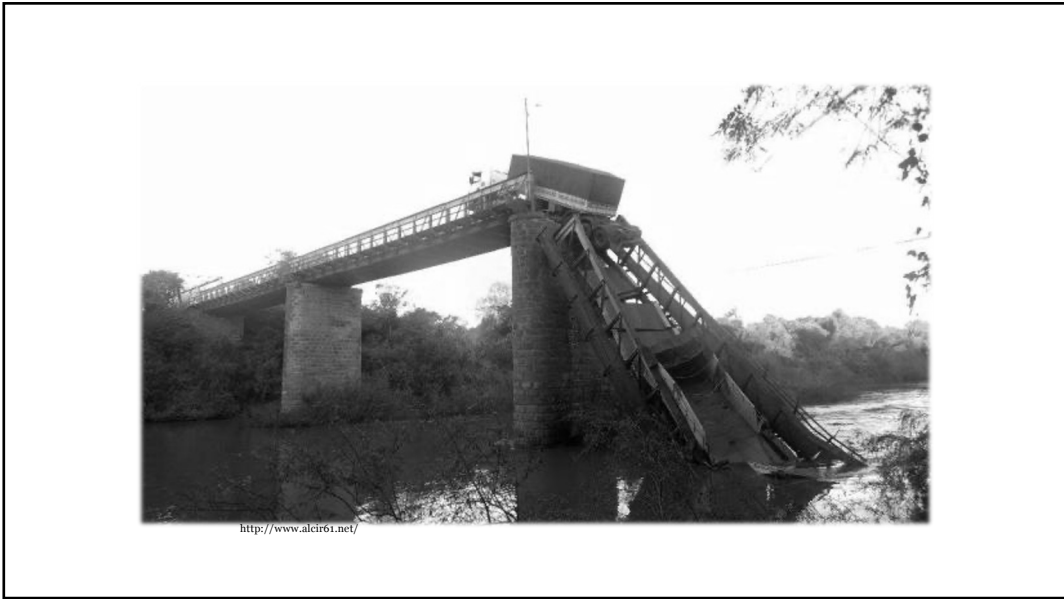
FACEBOOK



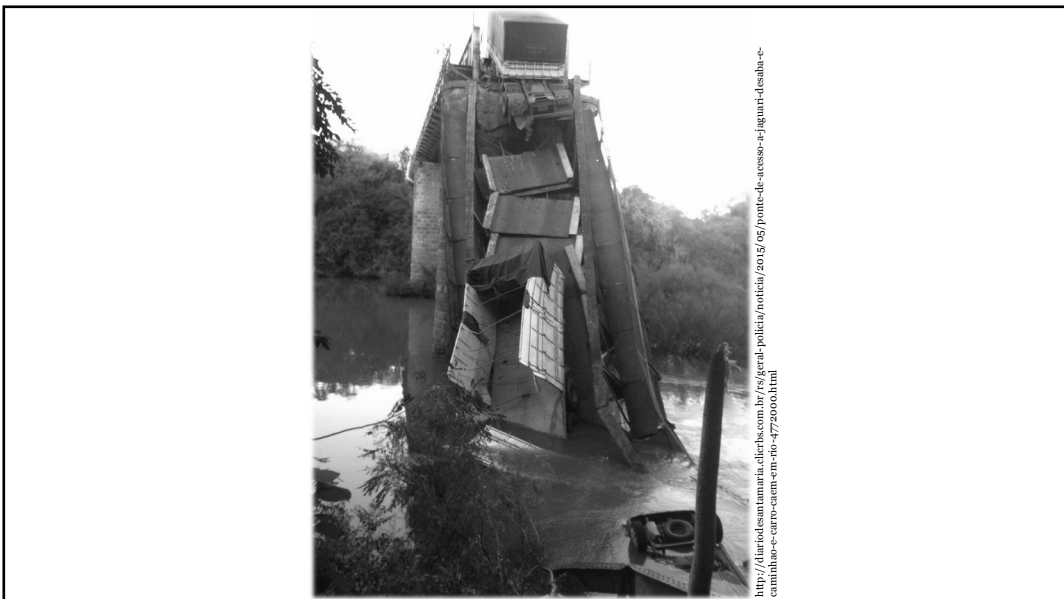
Ponte antiga desabou no Centro de Jaguari, RS (Foto: Fábio Pinho/Arquivo pessoal)

<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2015/05/ponte-cai-em-jaguari-na-regiao-central-do-rio-grande-do-sul.html>

16



17



18

Prof. Laranjeiras:

As estruturas devem ser robustas,
redundantes e dúteis....



19

MARCOS PEDROSA MITRE

www.phd.eng.br



**METODOLOGIA PARA INSPEÇÃO
E DIAGNÓSTICO DE PONTES E
VIADUTOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção de
Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil

Orientador:
Professor Titular Paulo Helene

São Paulo
2005

20

Conceito

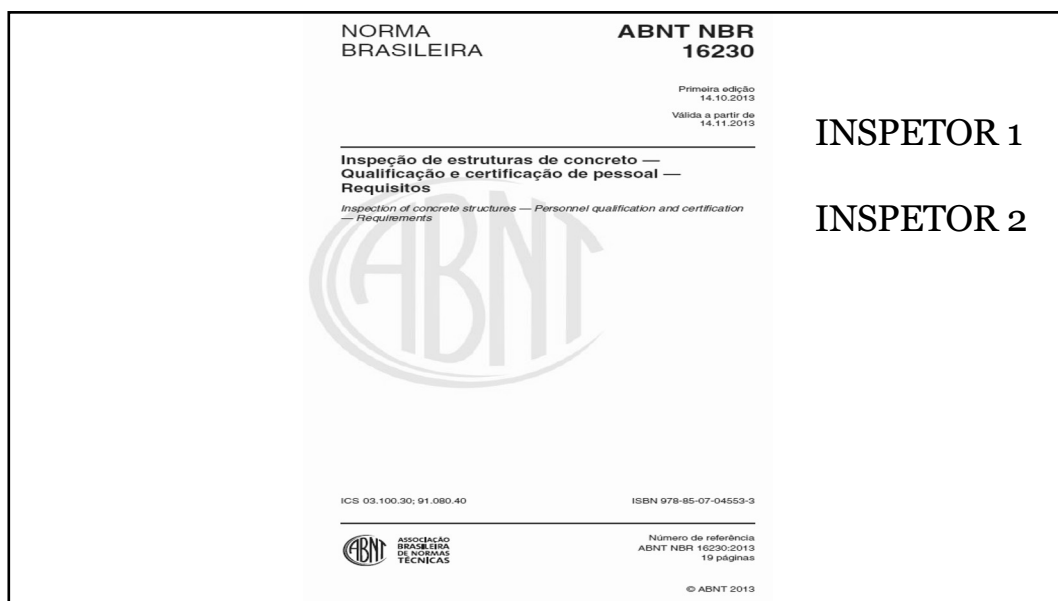
As estruturas devem ser adequadas para sua correta utilização durante a vida útil de projeto:

- ✓ Seguras
- ✓ Funcionais
- ✓ **Duráveis**
- ✓ Bonitas
- ✓ Sustentáveis

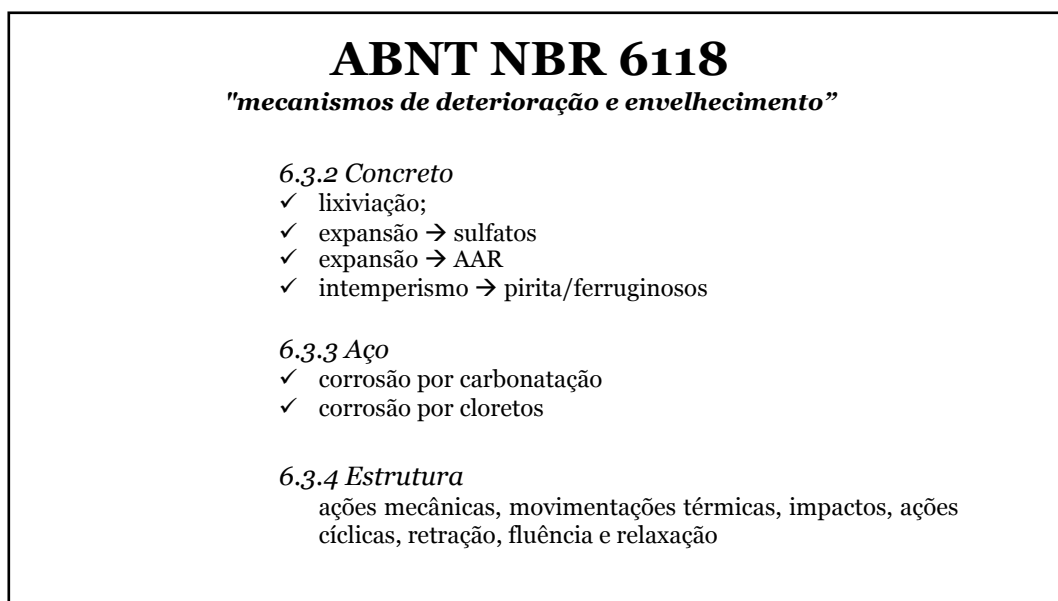
21

<p>Norma ABNT NBR 9452:2016 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento</p>	<p>NORMA BRASILEIRA</p>	<p>ABNT NBR 9452</p>
	<p>Terceira edição 08.04.2016</p>	
<p>Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento <i>Inspection of concrete bridges and footbridges — Procedures</i></p>		
<p>ICS 93.040</p>		
<p>ISBN 978-85-07-06156-4</p>		
<p>ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS</p>		<p>Número de referência ABNT NBR 9452:2016 48 páginas</p>
<p>© ABNT 2016</p>		

22



23



24

Concreto → *Lixiviação*



Cobertura do
Prédio da FAU-USP



Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP

25

Concreto → *Lixiviação*

Mecanismo

- Carreamento de sais solúveis pela água, Ca(OH)_2

Manifestação, Sintoma, Vício

- Manchas esbranquiçadas na superfície CaCO_3
- Eflorescência, pode até formar estalactites
- Aumento da porosidade interna do concreto
- Redução do pH com risco de corrosão

Como evitar, Prevenção, Profilaxia

- Reduzir relação a/c, usar adições
- Melhorar condições de cura;
- Impermeabilizar evitando água.

26

Lixiviação

Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico

Projeto de Intervenção Corretiva

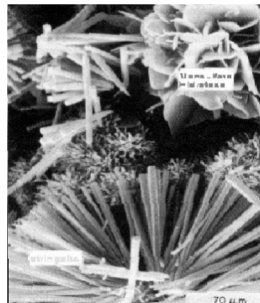
Plano de Manutenção

27

Concreto → *Expansão*

Reações expansivas

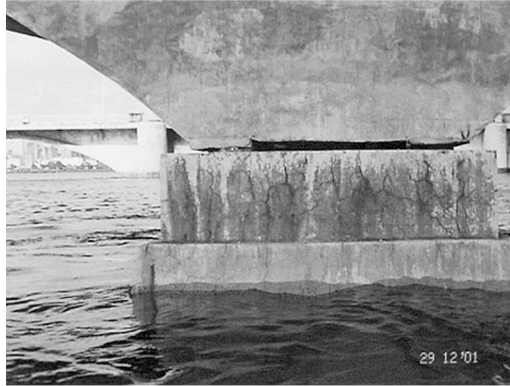
Sulfatos, SO_4^{-2}



28

Concreto → ***Expansão***

Reação Álcali-Agregado AAR



29

Aço/armadura → ***Corrosão Eletroquímica***

Despassivação
por
carbonatação



30

Aço/armadura → *Corrosão Eletroquímica*

Despassivação
por cloretos



31

Ponte em Recife



32



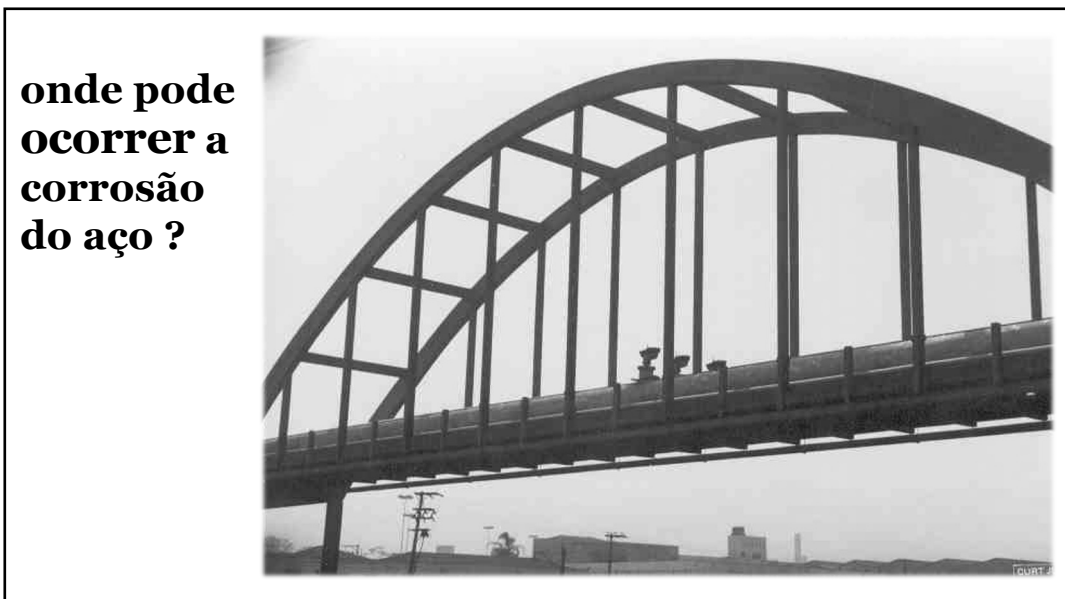
33



34



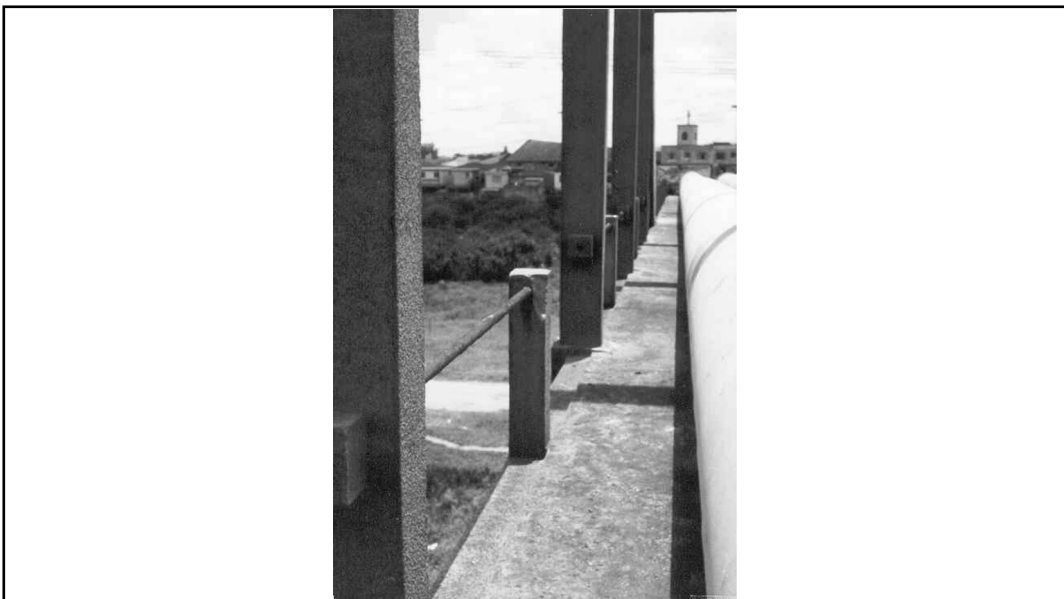
35



36



37



38



39

Juntas do tabuleiro

- **Vedação danificada ou inexistente, cantos quebrados:**
 - Infiltração de água, lixiviação do concreto, corrosão das armaduras.



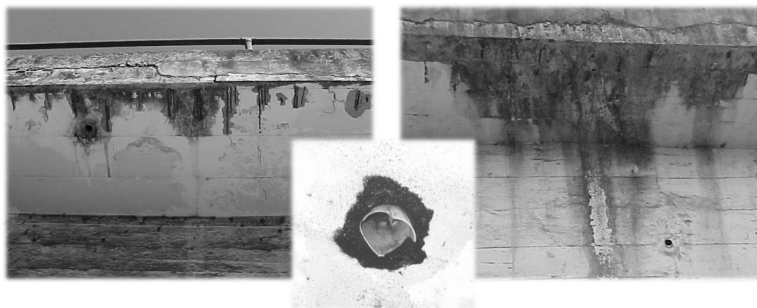
40



41

Drenagem de pista ineficiente, ausência de pingadeiras e buzinetes

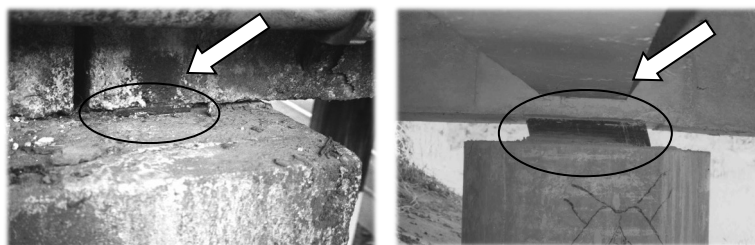
- Manchas de escurimento, infiltrações e lixiviação do concreto



42

Aparelhos de apoio

- Deterioração, esmagamento ou obstrução
 - restrição à deformação da estrutura, esforços adicionais, fissuração, esmagamento do concreto



43

Gabarito vertical

- “Afogamento” durante enchentes.
- “Impacto” de veículos



44

Acidentes

■ INCÊNDIO

45

Ação do fogo



46

Acidentes

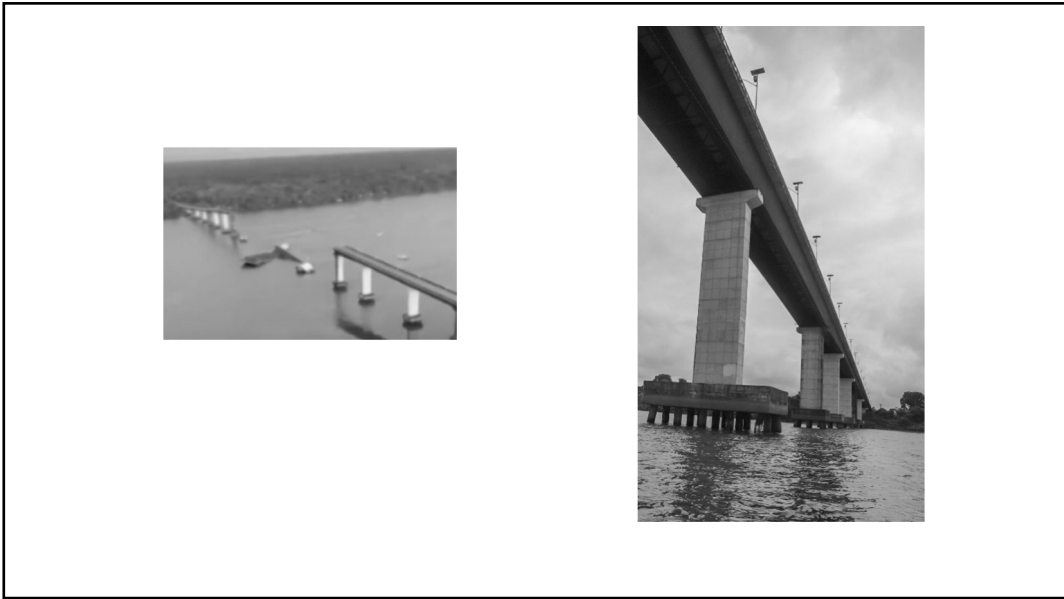
- Choque de veículos ou embarcações
 - instabilidade do tabuleiro e destruição parcial da meso ou superestrutura

47

Choque balsa Rio Mojú, Pará
06 de abril de 2019



48

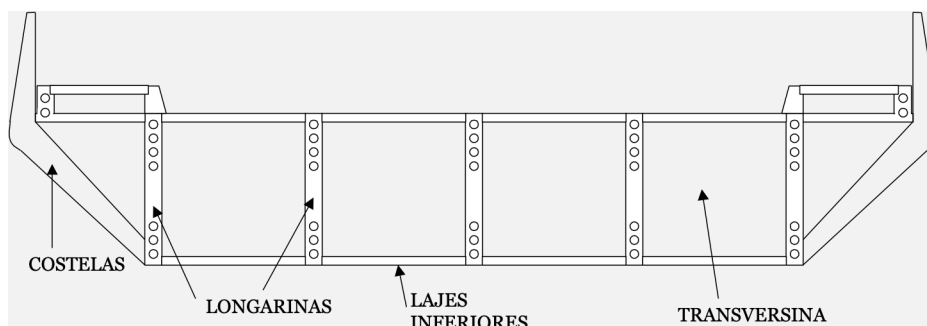


49



50

MÁ EXECUÇÃO



51

Inspeção ***observação visual e registro fotográfico***



52

Inspeção: observação visual e registro fotográfico



53

Madeira das fôrmas



54

Ninho de concretagem



55

FISSURAS FALHAS DE EXECUÇÃO

São Paulo, 1997

Laudado 6 meses antes

36 anos

$f_{ck} = 21$ MPa

Custo = 3 vezes uma ponte nova

56



57



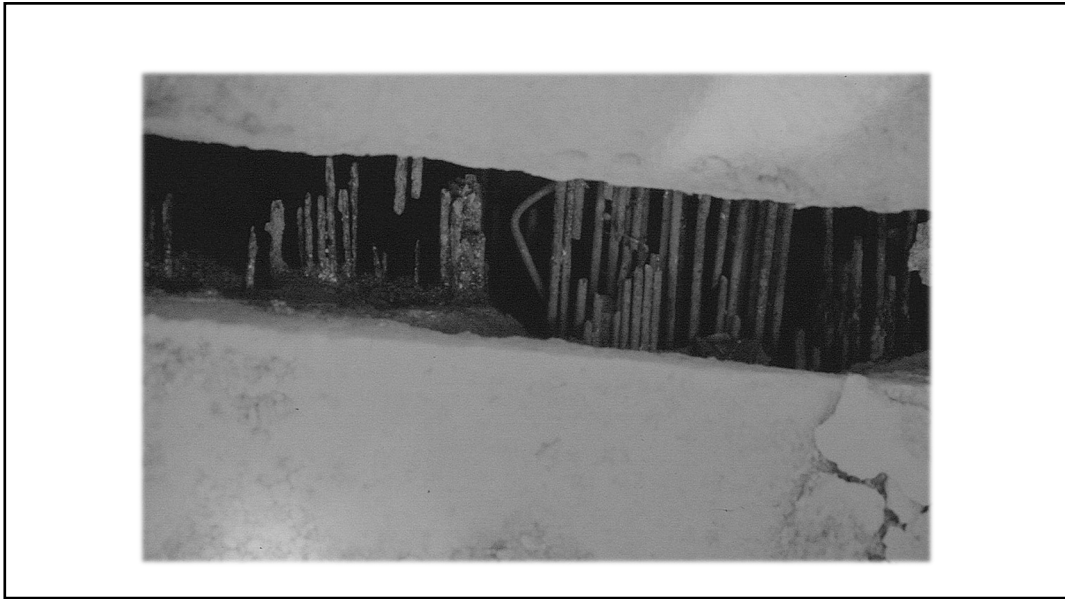
58



59



60



61

61 RECEBERA PODERÁ TER SEU CONCRETO LOGO APÓS O FIM DA CONSTRUÇÃO DA PONTE 57

Ponte teve erro de construção

PROBLEMAS COM A ESTRUTURA DE CONCRETO QUE PODERÁ TER SEU CONCRETO REAJUSTADO

ESTRUTURAS DE CONCRETO E ATRASADA OBRAS

Liberação após

A ponte se

Q que está sendo feita na Ponte dos Remédios

MÁ CONSERVAÇÃO E ALTURA

AMEAÇAM PONTE NO PACABYBU

Manutenção é essencial para a Viação Geral, diz o Ministério

AMBULANTES

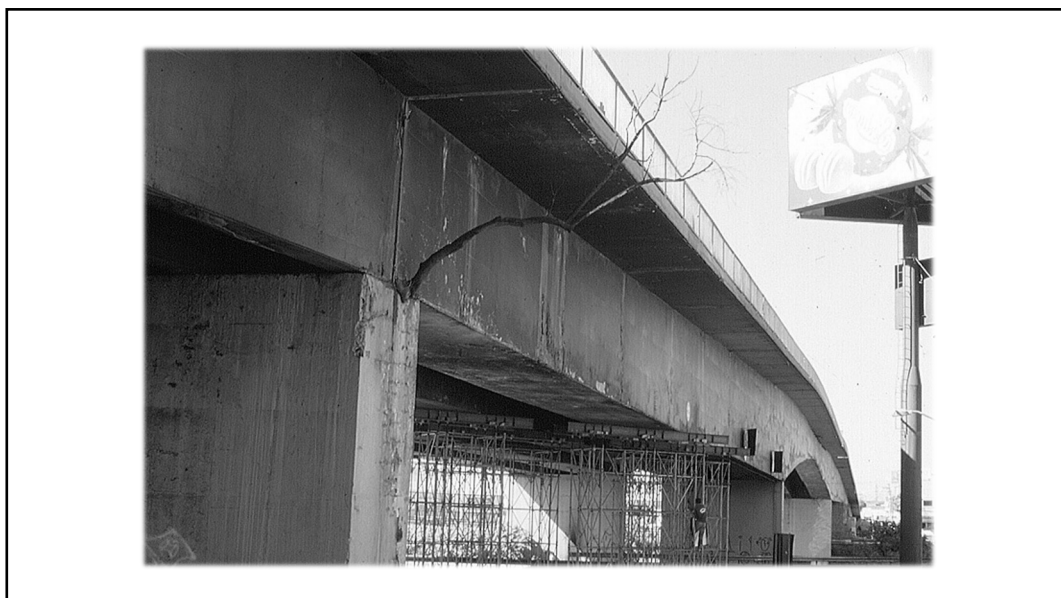
Interdição

FALCIMENTOS

IMPERADOR

AMAZÔNIA

62



63

Vida Útil das Estruturas de Concreto

adaptado BS 7543 2015

Vida Útil	Tipos	Exemplos
< 10 anos	Temporárias	obras temporárias, divisórias, tapumes etc.
10 anos	Pequena Vida útil	construções usadas para processos industriais de curta duração
30 anos	Média Vida útil	a maiorias das construções industriais
60 anos	Vida útil normal	obras públicas, escolas, hospitais, casas, edifícios
120 anos	Vida útil superior	obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ...

Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components

64

Vida útil de Projeto ABNT NBR 15575

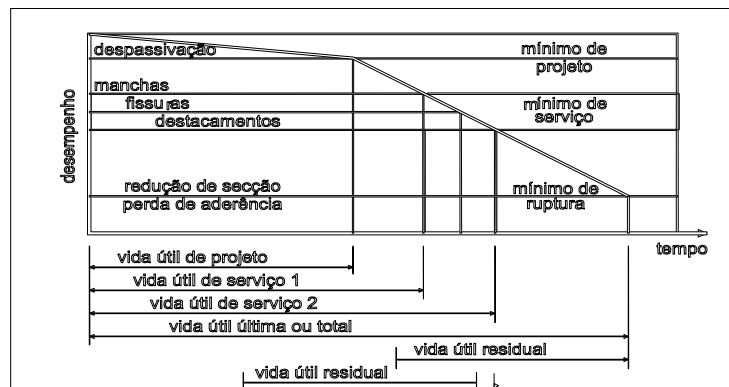
Vida útil de projeto mínima e superior (VUP)^a

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

(a) Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

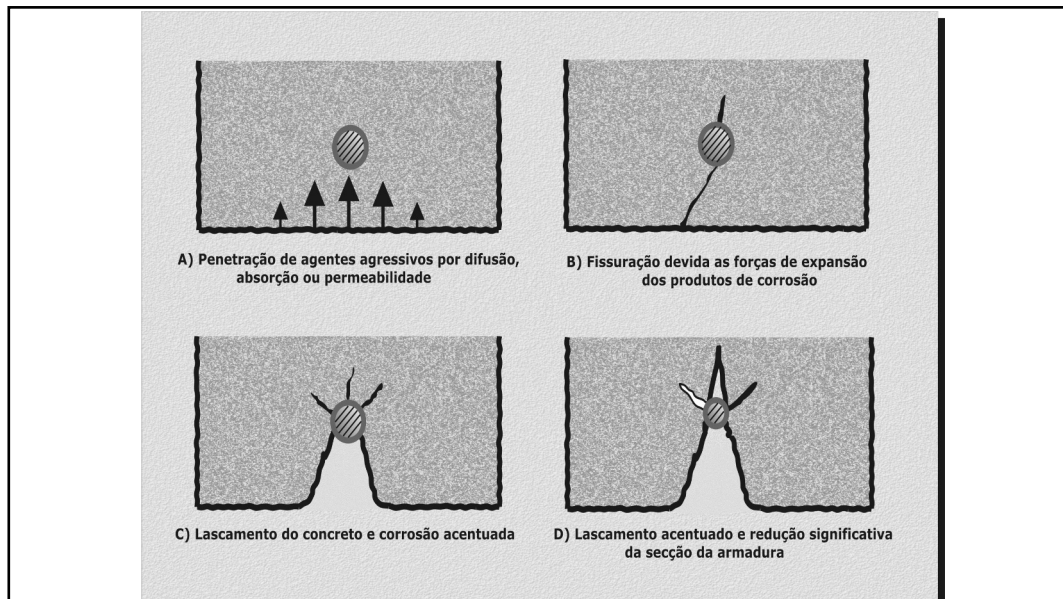
65

Vida Útil das Estruturas de Concreto



Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

66



67

Vida Útil de Projeto VUP

Preciso de um modelo matemático, um ábaco, uma tabela de previsão da deterioração com o tempo !

Procedimentos de calcular VUP

68

Ingresso de gases e fluidos *mecanismos de transporte*

- Permeabilidade
- Capilaridade
- Difusibilidade
- Migração
- Convecção

69

Permeabilidade do concreto à água *fib(CEB-FIP) Model Code 90*

$$k_w = 10^{-(10+0.07*f_{ck})}$$

k_w = coeficiente de permeabilidade à água,
conforme lei de Darcy, em m/s

f_{ck} = resistência característica do concreto à
compressão aos 28 dias, em MPa

70

Permeabilidade do concreto ao O₂

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$k_g = 10^{-(14+0.05*f_{ck})}$$

k_g = coeficiente de permeabilidade ao gás oxigênio, em m² (UR < 65%)

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

71

Difusibilidade da água no concreto

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$D_w = \frac{10^{-8}}{f_{ck}}$$

D_w = coeficiente de difusão à água, em m²/s

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

72

Espessura de Carbonatação

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$e_{CO_2,t} = 4 * \sqrt{10^{-(12,5+0,05*f_{ck})}} * \sqrt{t}$$

$e_{CO_2,t}$ = profundidade carbonatada em m

t = tempo de exposição ao CO₂ com UR = 65% =
idade do concreto em s (ou dias *294)

f_{ck} = resistência característica do concreto à
compressão aos 28 dias, em MPa

73

Difusibilidade de íons Cloreto

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$D_{Cl} = 10^{-10} \text{ para } \cdot CPI \ \& \ CPII, f_{ck} = 20MPa$$

$$D_{Cl} = 3 * 10^{-11} \text{ para } \cdot CPIII \ \& \ CPIV, f_{ck} = 20MPa$$

$$D_{Cl} = 10^{-11} \text{ para } \cdot CPI \ \& \ CPII, f_{ck} = 50MPa$$

$$D_{Cl} = 3 * 10^{-12} \text{ para } \cdot CPIII \ \& \ CPIV, f_{ck} = 50MPa$$

D_{Cl} = coeficiente de difusão de íons cloreto em m²/s

74

Capilaridade à Água

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$w = 10^{-(4+0.02*f_{ck})} * \sqrt{t}$$

w_t = água absorvida em m³/m²

t = tempo de absorção de água em s

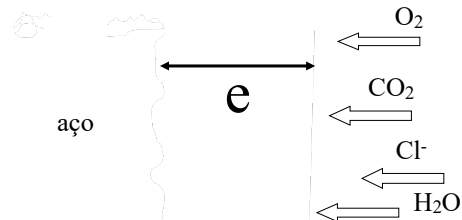
75

Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte
(determinísticos)

Generalização

$$e = k \cdot \sqrt{t}$$



76

Carbonatação

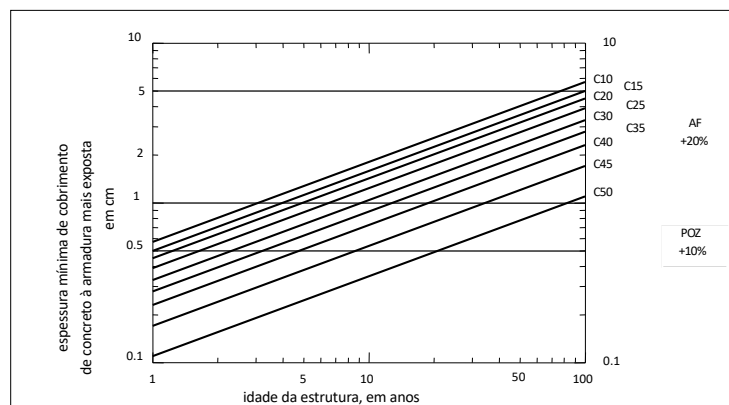
$$t = \frac{e_{CO_2}^2}{k_{CO_2}^2} \quad (\text{anos})$$

- $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$
- $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

77

Carbonatação

em faces dos componentes estruturais de concreto
expostos à intempérie externas



78

Armadura → **Corrosão**

- ◆ **Existem vários modelos matemáticos e probabilistas baseados na Lei de Fick**
- ◆ **Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade**
- ◆ **Existe prescrições profiláticas (espessura e qualidade do cobrimento)**

79

Concreto → Lixiviação & Expansão

Sulfatos, SO_4^{-2}
Reação álcali-agregado

- ◆ **Existem alguns modelos matemáticos**
- ◆ **Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade**
- ◆ **Existe prescrições profiláticas (cimentos, adições)**

80

Modelos de previsão de vida útil Difusão de cloretos

- Com base em enfoque determinista (LIFE-365);
- Com base em enfoque probabilista (DURACON).

81

Life-365



O software Life-365 é uma ferramenta de auxílio para calcular a vida útil considerando a difusão for cloreto segundo o ACI 365.

É possível fazer o download pelo site:
www.life-365.org/download.html

82

DURACON

O software Duracon é uma ferramenta desenvolvida na Dinamarca para calcular a vida útil considerando a difusão por cloreto.

Foi o software utilizado por Odd E. Gjorv em seu livro “Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade”.

É possível fazer o download pelo site:
www.pianc.no/duracon.php

83

Exemplo



Uma ponte de concreto deverá ser projetada na região de Recife/PE, com cobrimentos de 40mm e 75mm, atendendo a vida útil de 50 anos, considerando o ataque por cloretos na região de respingos de maré.

DURACON
ACI 365

84

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ₂₈ ^s (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)		Life/Duracon
					Life 365	Duracon	
40	0,05	1	0,55	4,8611	9	5	1,8
			0,5	3,6575	11,6	8	1,5
			0,45	2,7973	15,3	13	1,2
			0,35	1,6096	29,2	34	0,9
75	0,05	1	0,55	4,8611	70,4	51	1,4
			0,5	3,6575	94,6	86	1,1
			0,45	2,7973	126,4	141	0,9
			0,35	1,6096	224,2	379	0,6

85

Exemplo



Uma viaduto de concreto deverá ser projetada na região de Recife/PE, com cobrimentos de 40mm e 75mm, atendendo a vida útil de 50 anos, considerando o ataque por cloretos, a 800m da praia.

DURACON
ACI 365

86

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ^{as} (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)		Life/Duracon
					Life 365	Duracon	
40	0,05	0,6	0,55	4,8611	15,3	6	2,6
			0,5	3,6575	19,6	11	1,8
			0,45	2,7973	25,8	17	1,5
			0,35	1,6096	45,4	44	1,0
75	0,05	0,6	0,55	4,8611	93,4	86	1,1
			0,5	3,6575	123,2	114	1,1
			0,45	2,7973	162,6	185	0,9
			0,35	1,6096	283,7	516	0,5

87

LIFE-365: Concreto sem e com inibidor de corrosão

CPI ou CPV Alta resistência inicial						
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	Inibidor de Corrosão (L/m ³)	D ^{as} (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)
						Life 365
50	0,05	0,8	0,4	0	2,12	26,8
	0,15			10		43,4

88

Vida Útil → Prescritiva → Limitações

Estrutura em São Paulo, ou seja, risco dos componentes estruturais externos apresentarem corrosão de armadura por carbonatação.

O que ocorre ao utilizar adições de sílica e de metacaulim?

O que ocorre ao utilizar cimento de alto forno, ou resistente a sulfatos, ou de alta resistência inicial?

O que ocorre ao utilizar aditivos inibidores de corrosão?

O que ocorre se o concreto tem 175 l/m³ ou 210 l/m³ de água de amassamento?

89

Projetar para Durabilidade

Necessidade de sempre utilizar o bom senso na tomada de decisões e considerar o problema com uma visão holística que vise abarcar todas as variáveis, sem se prender a um número, que pode ter significado relativo e não absoluto

90

Estruturas de Concreto

- **É possível não ter problemas**
- **É durável, tem vida útil longa**
- **Necessita gerenciar a qualidade**
 - **Necessita ter visão sistêmica**
 - **É um trabalho de equipe**
- **Precisa conhecer e bem usar normas e documentos existentes**

91



CONCRETESHOW
A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

Obrigado!



PhD
Engenharia
"do Laboratório de Pesquisa ao Centro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23
11.9.5045.4940



informa markets

92