


Contribution to the Prevention of Steel Corrosion

MRS MATERIALS RESEARCH SOCIETY®
Advancing materials. Improving the quality of life.

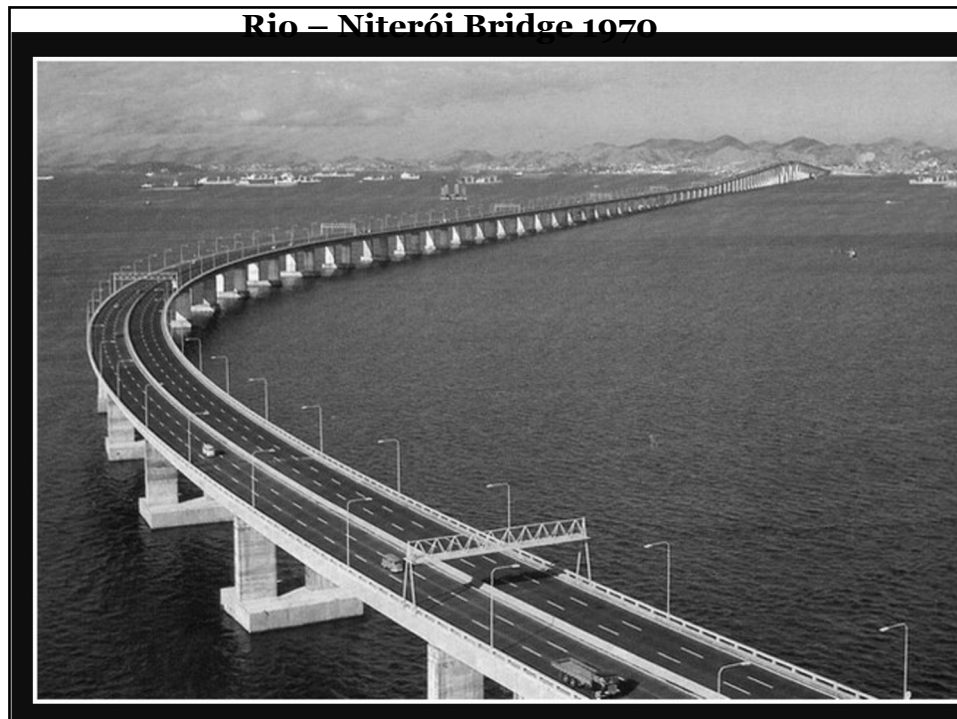


"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene
*PhD Engenharia President
 IBRACON Board of Direction
 Professor University of São Paulo USP
 fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
 Honorary President of Asociación Latino Americana
 de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la
 Construcción ALCONPAT Int.*

Marriott Cancun Resort
August 23rd, 2017
Cancún/MX

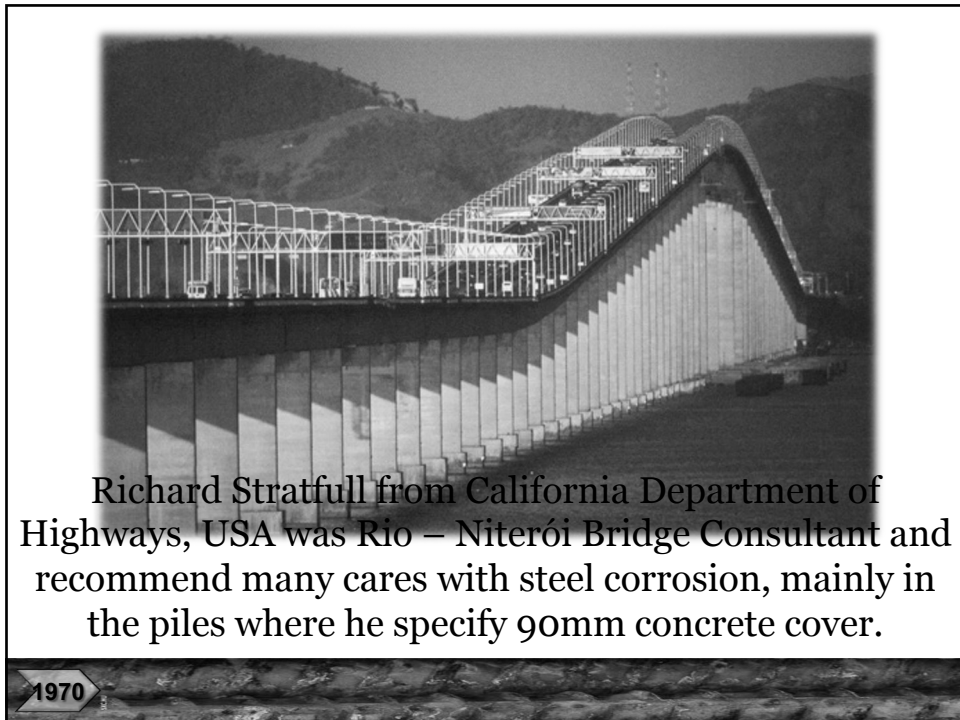
1



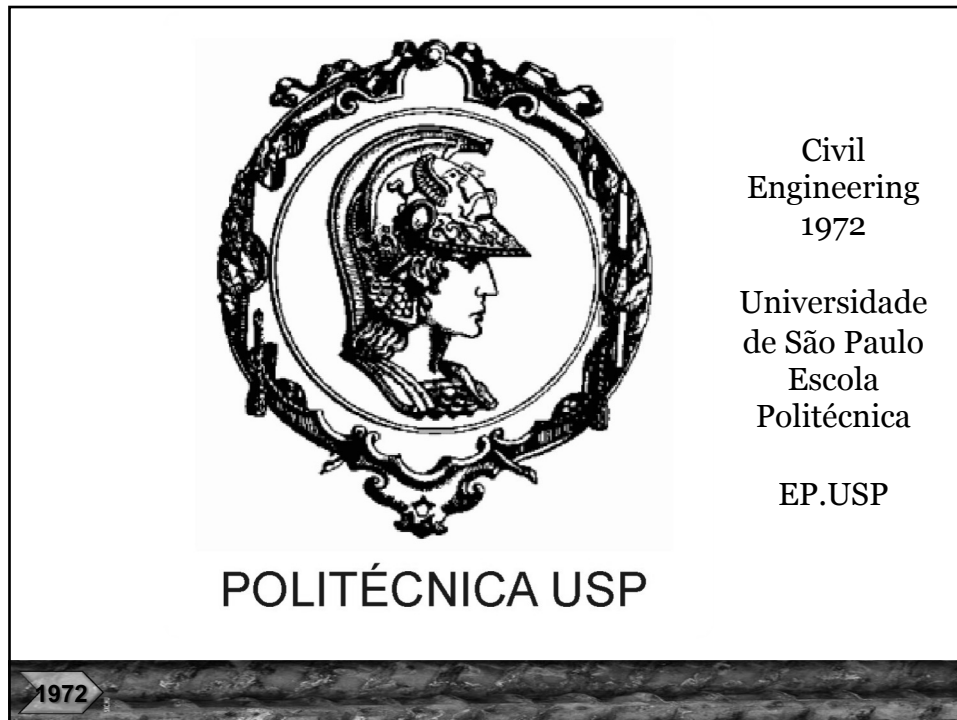
2



3



4



5



6

convention center
Pavilhão da Gameleira

Belo Horizonte/BH
Collapse: 04/02/1971,
thursday morning

1969 - 1971
during job site

7



240m por 31m
Beams 9,8m high
10 Columns
collapsed lunch time

8

Mortos podem ser mais de 50



Da Sucursal de Belo Horizonte.
A vida é uma armadilha sob os escombros.

De Sucursal de Belo Horizonte

Trinta e quatro horas após o desabamento do Pavilhão de Exposições da Gamela, quando se calcula que o número de mortos poderá superar 50, elementos da equipe de resgate teriam localizado por volta das 21 horas de ontem, dois operários ainda com vida. Recursos foram concentrados no local que é de difícil acesso.

Nove cadáveres já foram identificados e 42 operários continuam desaparecidos. O Departamento de Pessoal da SERGEN, na noite de ontem, com Base nos cartões de ponto, informou oficialmente que 565 operários estavam no canteiro de obras até ontem, dos quais 433 não foram atingidos pelo desabamento, e morreram, já tendo sido identificados, 42 ficaram feridos e 42 continuam desaparecidos.

Os 42 desaparecidos podem estar ainda debaixo das grandes vigas de concreto armado do pavilhão desabado, onde o mau cheiro, provocado por corpos humanos em decomposição, já está atrapalhando as operações de resgate, que se processam lentamente. As autoridades estão convencidas de que se algum dos 42 desaparecidos estiverem vivos já teria procurado o departamento de pessoal da SERGEN, pois vários apelos têm sido transmitidos pelas emissoras de rádio e televisão de Belo Horizonte. O cartão de ponto é a única forma de prever o número total de vítimas.

reitas e perfurações, além de magricos para cortar as ferragens. O trabalho se processa lentamente, e, como há cerca de 30 vigas desabadas, as autoridades acreditam que o resgate dos corpos só será concluído na semana que vem. Segundo os bom-

beiros, todos os 42 operários desaparecidos devem ainda estar sob as vigas de concreto.

Toda a área continua isolada pelas tropas da Polícia Militar, para evitar a presença de curiosos e de parentes das vítimas cujos corpos ainda não foram descobertos, o que atrapalharia o desenvolvimento das operações de resgate. Cerca de 500 soldados da Polícia Militar se encontram no local onde continua instalado também um posto médico, apesar das remotas possibilidades de ainda se encontrar qualquer operário com vida. A equipe médica está atendendo principalmente membros das equipes de socorro que se sentem mal.

Muitos feridos

Além de o número de mortos poder superar 50, o desabamento

do Pavilhão de Exposições da Gamela deixou um saldo de 42 feridos, a maioria deles em estado grave. Apenas 25 operários já receberam alta nos hospitais dos prontos socorros Sarah Kubitschek, Semper, Felício Rocho, Santa Rita, São José e SOS. Os demais outros internados, vários deles com braços e pernas amputados ou com fraturas graves, principalmente na coluna vertebral.

Somando-se o número de mortos feridos e desaparecidos conclui-se que 113 operários foram atingidos pelo desabamento dos 19 mil toneladas de concreto armado. Os trabalhos de resgate não pararam à noite continuando hoje, até a retirada total de todas as vigas, sob as quais devem encontrar-se os cadáveres dos 42 operários desaparecidos.

Ordenada a interdição

O delegado Geraldo Lara Ribeiro, da Delegacia de Vigilância Pessoal, que dirigiu o inquérito sobre o desabamento do pavilhão de exposições da Gamela, determinou a interdição de toda a obra. Dessa forma, não mais se fará o encerramento do bloco "B" do pavilhão, como queria a SERGEN, firma encarregada das obras civis do edifício.

A autoridade policial justificou-se afirmando que se há perigo de desabamento também no outro bloco, não se deve permitir que operários arrisquem a vida na colocação das estacas. Acrescentou que toda a obra ficará interdita-

pela CIURBE e feita dentro da mais perfeita técnica.

Comissão de alto nível

Paralelamente ao trabalho da polícia, uma comissão de alto nível, composta por engenheiros do Instituto de Tecnologia de Minas Gerais, e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, também estudará as causas do desabamento. Ambos esses órgãos têm a incumbência de controlar o material que é utilizado nas grandes estruturas.

Segundo José Ferreira Filho, presidente da CIURBE (Cia. Urbanizadora Serra do Curral), a comissão de alto nível, formada

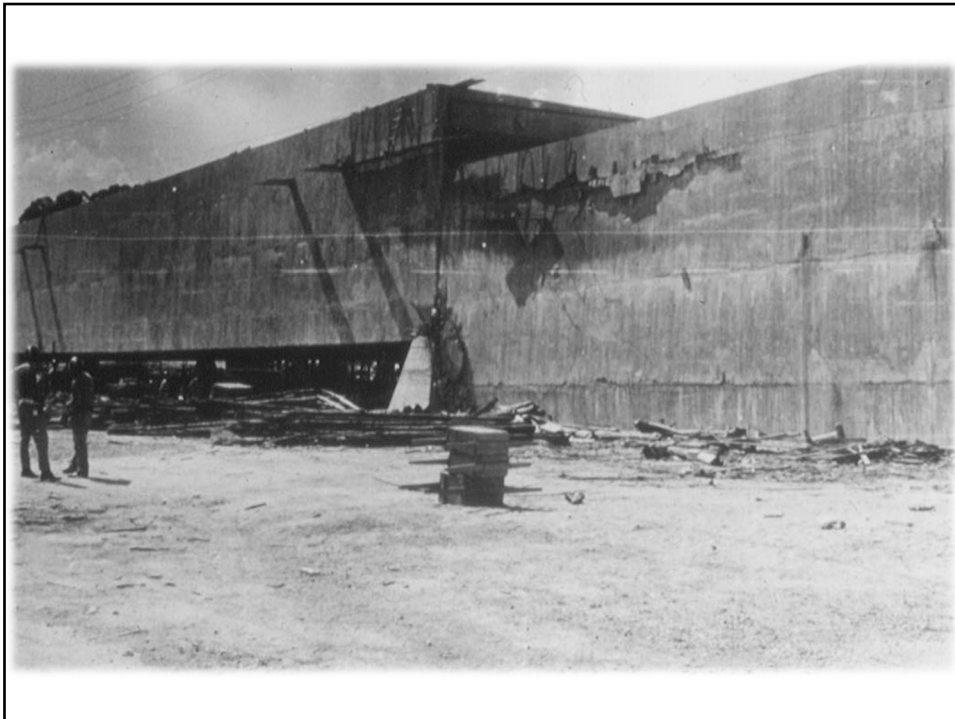
Com Médico

Em audiência que teve ontem com o presidente Medici, o governador Israel Pinheiro comentou, entre outros assuntos, o desabamento do pavilhão.

Mais tarde, falando a jornalistas, o governador reiterou sua afirmativa anterior de que as firmas que participaram da construção da obra têm incontestável idoneidade técnica. "O fato — afirmou — teria recebido pouca referência, se aquela hora não estivessem ali reunidas algumas dezenas de operários".

<http://acervo.estadao.com.br/pagina/#/19710206-29398-nac-0008-999-8-not>

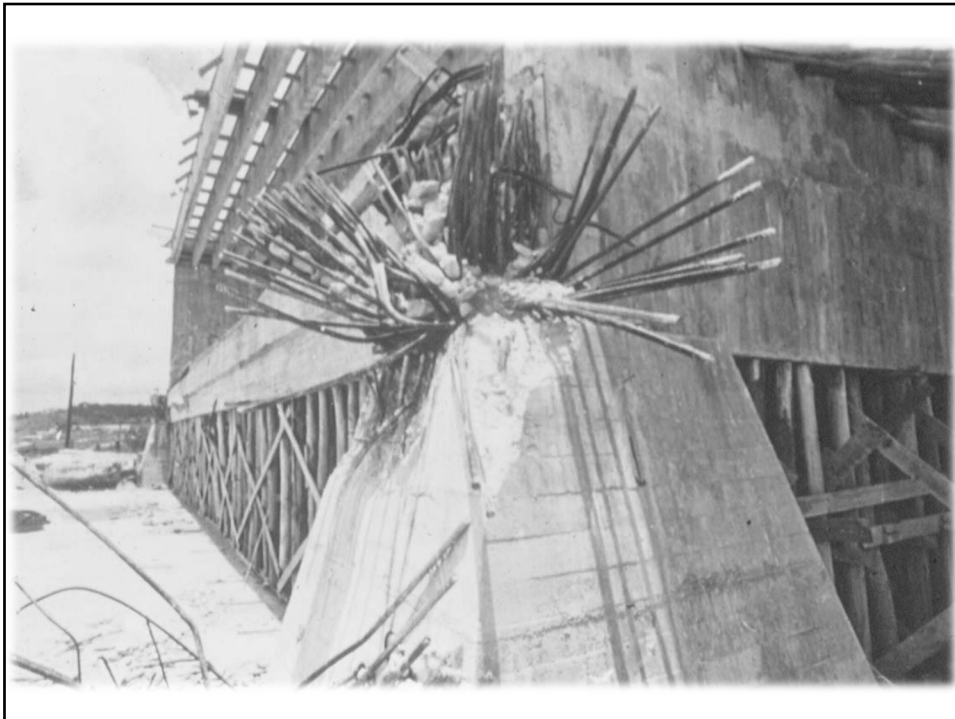




11



12



13



14

elevated transport way
Paulo de Frontin

Rio de Janeiro/RJ
Collapse: 20/11/1971

1969 - 1974
during job site

15

A viagem do ônibus Usina/Leblon foi cortada pela metade quando, num estrondo, ruíram 122 metros de concreto

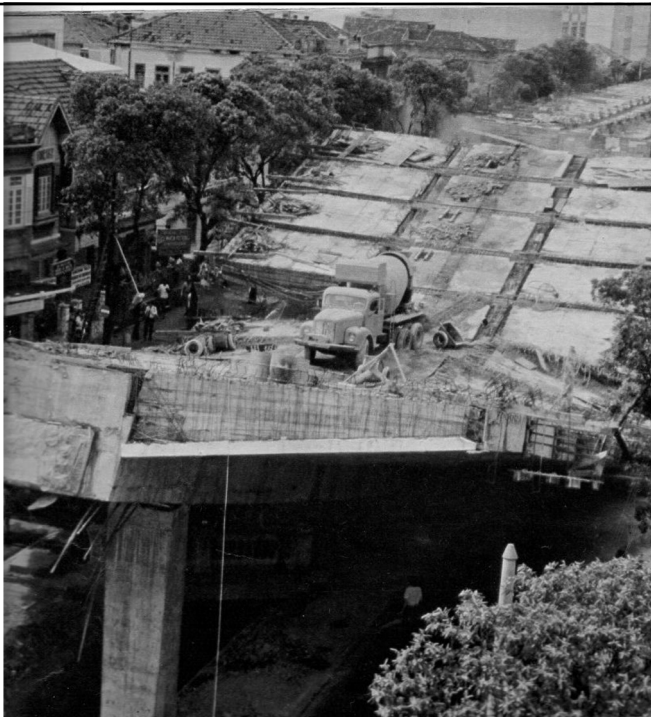
http://www.museu.cbmerj.rj.gov.br/imagens/000elevado/manchete_03.jpg



O ônibus da linha Usina/Leblon foi atingido em cheio. Os bombeiros tiveram que abrir brechas na lataria para salvar os passageiros que ainda restavam vivos. Não foram poucas as cenas dramáticas durante o resgate. Um homem só ficou livre das ferragens depois que lhe amputaram as duas pernas (abaixo). O ônibus foi apanhado exatamente no centro de força dos destroços do elevado.

16

http://www.museu.cbmerj.rj.gov.br/imagens/ooelevado/manchete_07.jpg



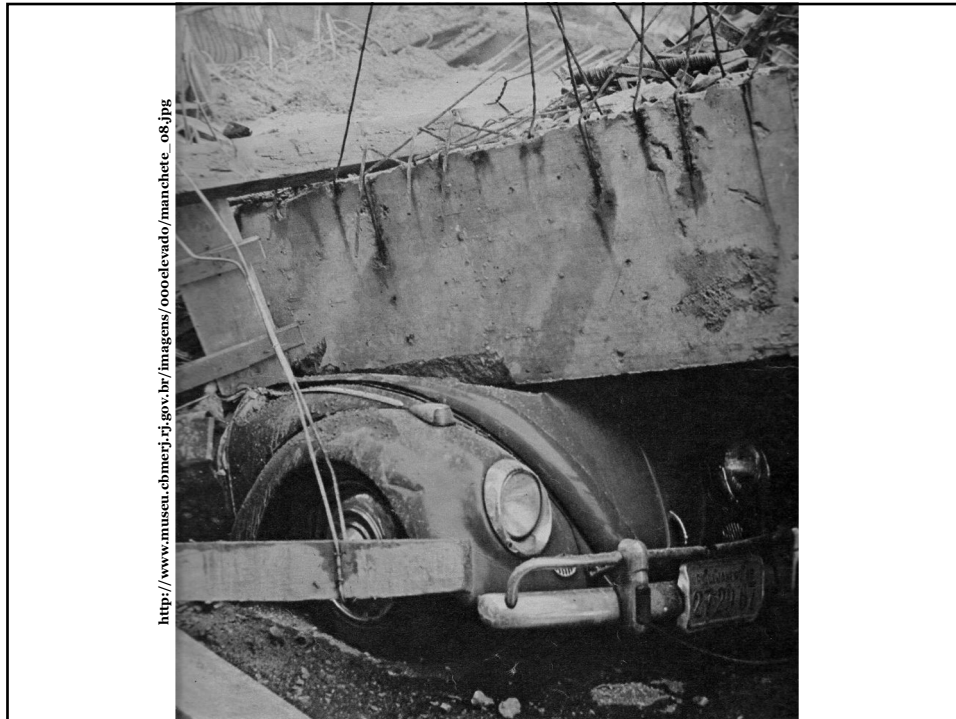
17

http://www.museu.cbmerj.rj.gov.br/imagens/ooelevado/manchete_13.jpg



O motorista e o ajudante deste caminhão carregado de melões morreram esmagados, assim como o motorista do Karmann-Ghia verde. Conhecidos seus, que compareceram ao local, dizem que ele tinha ido buscar a noiva num cabeleireiro ali perto.

18



19

1976

Go to exterior to learn and
understand more about collapses
and its mechanisms, origins,
symptoms.

How about Pathology Course?

20

cemco 76

En la última parte del Curso Cemco-76 se desarrolló el IV Ciclo dedicado a la «Habitabilidad y su patología», en el que intervinieron el Sr. Casal, Jefe del Excmo. Ayuntamiento de Madrid, y los Sres. Alamán, García Arroyo, Muñoz Martiñay, Esteban y Fito, del Instituto Eduardo Torroja. Este IV Ciclo contó, asimismo, con sus respectivas pruebas prácticas, efectuándose una visita a VIUNINTER para ver sus realizaciones. Antes de finalizar el Curso Cemco-76, el profesor Neville de Leeds, del Reino Unido, disertó sobre el tema «Patología de la Construcción».

Tuvo lugar el segundo viaje de estudios con destino a Andalucía, donde se visitó la planta de prefabricados de Huelva; la curiosa estructura inflexible de la pista de hielo de Sevilla; la autopista Jerez-Cádiz, y la impresionante obra de la Central Hidroeléctrica del Chorro, que construye Sevillana de Electricidad; todo esto, unido a las incomparables maravillas artísticas que encierra Andalucía, hicieron de este viaje uno de los momentos más gratos vividos en Cemco-76.

En esta última etapa las aportaciones de los congresistas han sido las siguientes: D. José F. Raukeo, ingeniero venezolano, nos habló de la «Evolución del programa nacional de Viviendas Rurales en Venezuela»; D. Zaira E. Casanova, arquitecta venezolana, comentó la obra de «Carlos Raúl Villanueva y la Arquitectura en Venezuela»; y D. Miguel Herrera Filas, ingeniero argentino, habló sobre «Cubiertas traccionadas». Asimismo, D. Javier Moade, ingeniero mexicano, expuso los «Problemas del suelo de la ciudad de México», y D. Paulo do Lago Helene, ingeniero brasileño, habló sobre el «Control de obras».

D. Guido D. Jácome, arquitecto colombiano, disertó sobre «La modernización, solución indirecta al problema de la vivienda»; y para terminar, D. José Antonio García, arquitecto ecuatoriano, hizo una exposición sobre «Cúpulas geodésicas».



Ing. José F. Raukeo
Venezuela



Arq. Zaira E. Casanova
Venezuela

Instituto Eduardo
Torroja, Madrid

Master in
Pathology and Quality
Control

460h Course

1976

CEMCO 76

Como en cursos anteriores, los congresistas dejaron un monumento como recuerdo de su estancia, que consistió en una barbacoa de hormigón, que se situó en una parte de los jardines del Instituto, y con su inauguración tuvo lugar la fiesta de despedida de este Sexto Curso de Estudios Mayores de la Construcción Cemco-76.



Ing. Javier Moade
México



Arq. Guido D. Jácome
Colombia



Ing. Miguel Herrera Filas
Argentina



Ing. Paulo do Lago Helene
Brasil



Arq. José Antonio García
Ecuador

Quality Control
in Concrete
Construction

*best practice for
new structures*

Manuel Fernández Cánovas (*IET, UPM, libros*)

Gimenez Montoya
Alvaro Garcia Mesequer
Morán Cabré

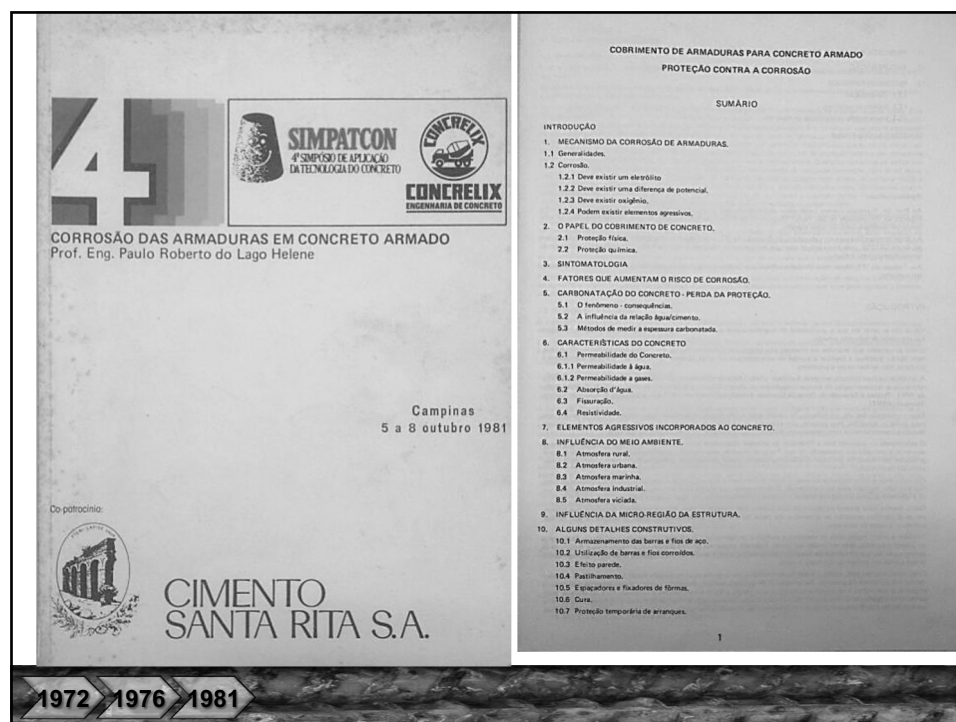
José Calavera Ruiz (*INTEMAC, UPM, libros*)

Hugo Corres Peirreti (*actual fib President*)

Adam Neville

José Calleja Carrete (*International Congress on
the Chemistry of Cement, chairman*)

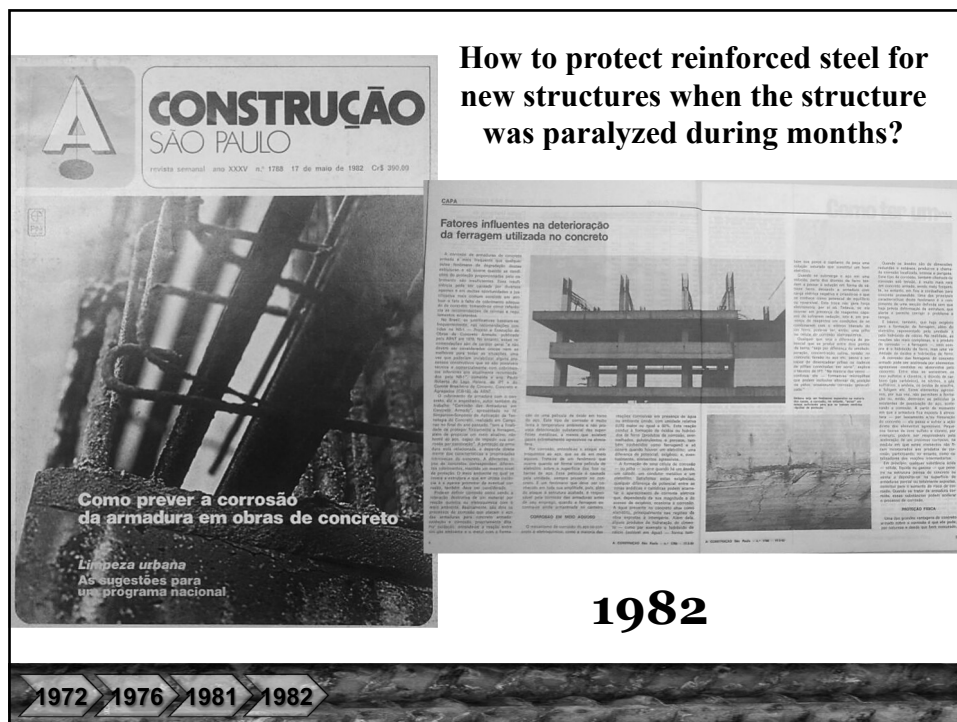
23



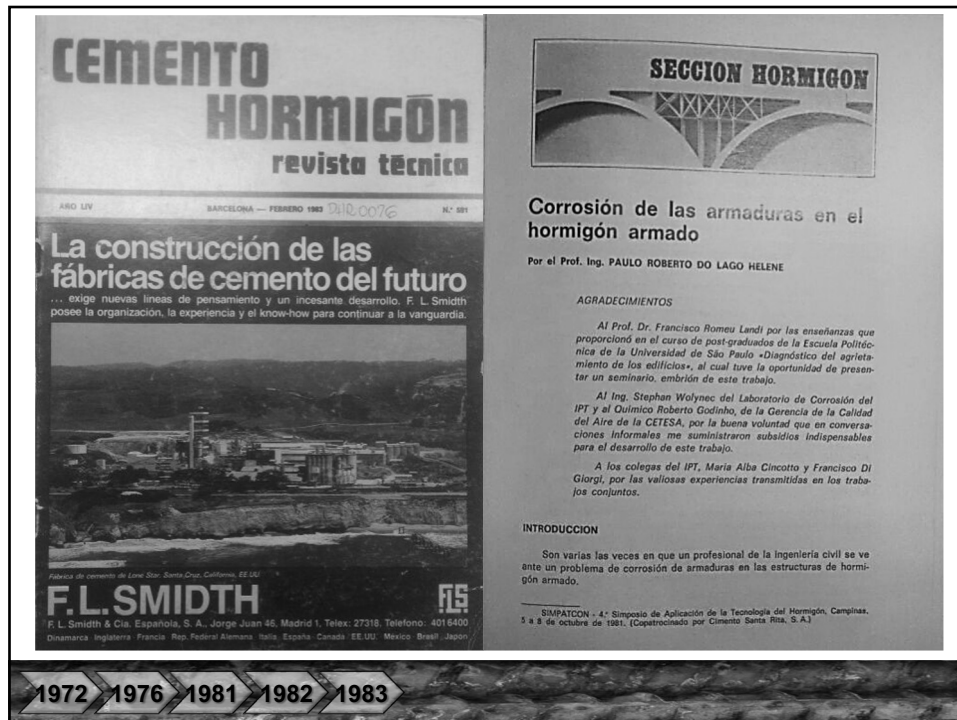
24



25



26



27



28



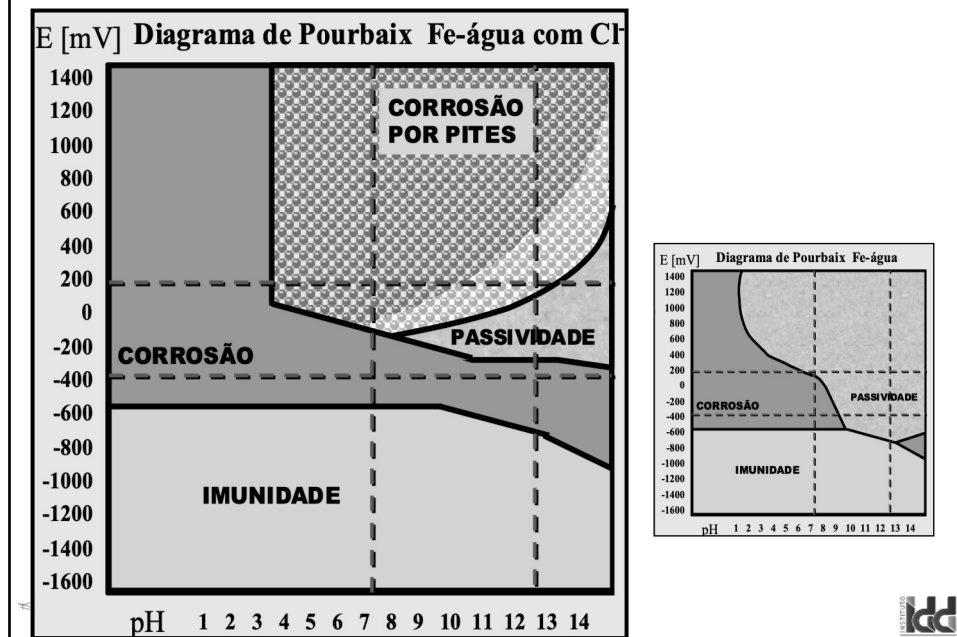
29

✓ Pourbaix diagram
 ✓ ...

1983

30

Chlorides

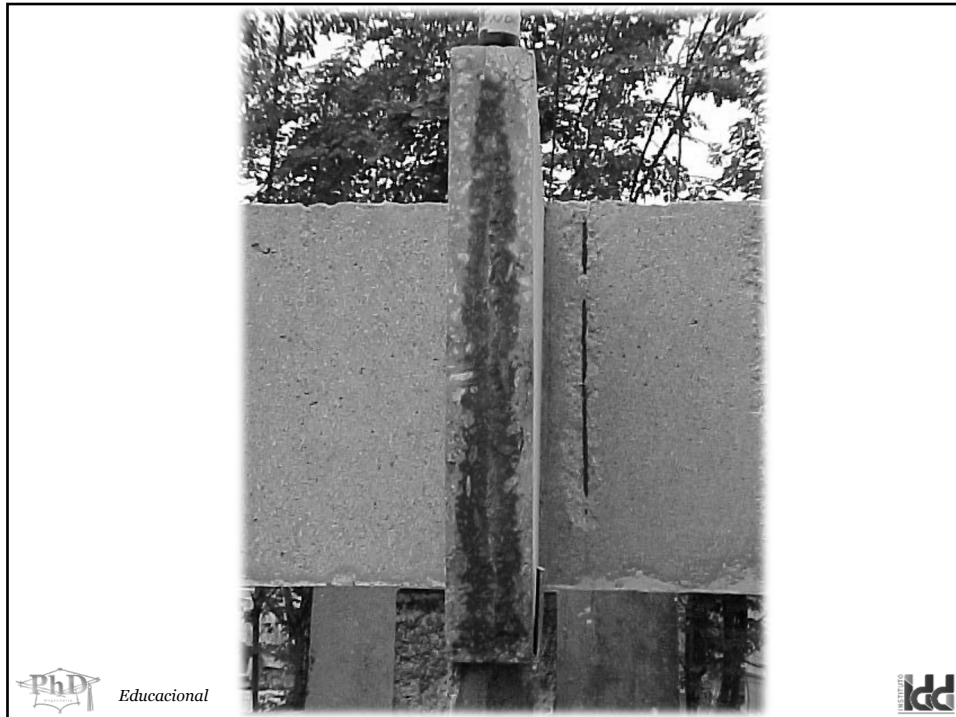


31

- ✓ Pourbaix diagram
- ✓ Passivation
- ✓ Carbonation test -- fenol and timol
- ✓ ...

1983

32



33

- ✓ **Pourbaix diagram**
 - ✓ **Passivation**
 - ✓ **Carbonation test -- fenol and timol**
 - ✓ **Chloride threshold limit**
 - ✓ **Concrete cover**
 - ✓ **Concrete diffusion**
 - ✓ **Concrete permeability**
 - ✓ **Water/cement ratio**
 - ✓ **Corrosion potential test**
- 1983**

34



35

Initial concepts about

- ✓ initial service life concepts
- ✓ how to classify the environmental aggressiveness
- ✓ how to classify the concrete resistance
- ✓ how to combine both

1983

36

Concrete class						
Degree	Class					
		Fresh concrete			Hardened concrete	
		W / C	Aire aprisionado	Aire incorporado	Absorción de agua	Penetración de agua
		kg/kg	%	%	%	mm
α	efímero	$\geq 0,60$	$\leq 2,0$	$\leq 3,0$	cualquiera	cualquiera
β	normal	0,50 a 0,59	$\leq 2,0$	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$	cualquiera
χ	durável	0,45 a 0,49	$\leq 1,5$	$\leq 3,5$	$\leq 4,5$	≤ 80
δ	impermeable	$\leq 0,44$	$\leq 1,0$	$\geq 2,0$ a $\leq 6,0$	$\leq 4,3$	≤ 40

37

3

Tecnologia de Edificações

Tecnologia de Edificações
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas / DED - Divisão de Edificações

Patologia de Estruturas de Concreto Armado(*)

Marla Alta Crespo - Especialista em Patologia de Estruturas de Concreto Armado, Engenheira Pesquisadora do Departamento de Avaliação de Componentes e Sistemas da DED - Divisão de Edificações

Esta publicação é de autoria dos autores da Divisão de Edificações do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, baseada em artigos publicados e artigos enviados para publicação. Sua publicação, portanto, não implica aprovação do IPT e não constitui a CONTRIBUIÇÃO do IPT.

1 Introdução

Os autores tiveram a oportunidade de analisar algumas manifestações patológicas de estruturas de concreto armado, com a finalidade de identificar as causas, as causas e o mecanismo dessas patologias. Os resultados e conclusões obtidos foram apresentados à elaboração de procedimentos adequados de recuperação no projeto das estruturas deterioradas, quanto à especificação de materiais e técnicas construtivas para projetos e execução de novas obras similares.

As manifestações estudadas foram as seguintes:

- a) corrosão de armaduras de lajes de cobertura de reservatório de água potável e de estação de tratamento de esgoto;
- b) eflorescência em pilares de reservatório de água potável;
- c) deterioração superficial da parede de paredes de decantadores de estação de tratamento de água potável.

O estudo do concreto de parede de laje de estufa de concreto armado.

Os três primeiros casos referem-se a construções de propriedade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e o quarto, a paredes (concreto armado) de uma estação do Metrô de São Paulo.

Para análise dessas manifestações patológicas aplicou-se a seguinte metodologia:

- avaliação da agressividade do meio em contato com o concreto;
- análise da estrutura estudada quanto às características dos materiais e da primeira estrutura;
- avaliação da própria estrutura em vista da obtenção de subsídios para a elaboração de procedimentos adequados de recuperação.

Os resultados obtidos foram considerados positivos na medida em que foi possível constatar sua validade através das medidas corretivas adotadas pelas companhias proprietárias — saneamento, portos, saneamento para o meio urbano.

2 Corrosão de Armaduras de Lajes de Cobertura

O sintoma típico encontrado na superfície interna da laje de cobertura das três reservatórios examinados era o de armaduras corroídas e parcialmente expostas, com concreto ao redor por lascamento. As armaduras em corrosão apresentavam coloração escura mostrada na Foto 1.

Nas amostras de concreto coletadas das lajes de cobertura determinadas o teor de cloreto por solidificação em Ácido clorídrico (método IPT — Boleiro et al. 1971), bem como os testes de análise química (método gravimétrico em Oxiplata modificado) e de cloreto (título de potássio) nos corpos de prova. Os resultados indicaram teores de cloreto de cálcio, expressos em parte dos teores de análise química, variando de 18% a 48%, em relação à massa de concreto presente no concreto. O teor de cloreto varia de 800 mg/kg de concreto a 800 mg/kg de concreto.

Então pode-se concluir que a corrosão tenha contribuído para a corrosão de armaduras, e o mecanismo de degradação pode ser considerado um caso típico de corrosão por carbonatação. O clima das regiões onde estão localizadas as reservatórias apresenta variações amplas na temperatura ambiente, em curto espaço de tempo, acarretando um gradiente de temperatura entre as faces interna e externa

Foto 1 — Reservatório de água potável, aspecto da superfície interna de laje de cobertura

1972 1976 1981 1982 1983 1984 1986

38

Introducing (1986) concepts like:

- ✓ Pathology
- ✓ Inspection
- ✓ Diagnosis
- ✓ Prognosis
- ✓ Rehabilitation
- ✓ Restoration
- ✓ Repair
- ✓ Strengthening
- ✓ Protection and maintenance

39

SUMÁRIO	
APRESENTAÇÃO	V
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MECANISMO DA CORROSÃO DE ARMADURAS	1
1.2 Generalidades	1
1.3 Corrosão em meio aquoso	2
1.3.1 Deve existir um eletrólito	2
1.3.2 Deve existir uma diferença de potencial	2
1.3.3 Deve existir oxigênio	2
1.3.4 Podem existir agentes agressivos	2
2 O PAPEL DO COBRIMENTO DE CONCRETO	4
2.1 Proteção física	4
2.2 Proteção química	4
3 SINTOMAS	5
4 FATORES QUE AUMENTAM O RISCO DE CORROSÃO	7
5 CARBONATAÇÃO DO CONCRETO – PERDA DE PROTEÇÃO	9
5.1 O fenômeno – Consequências	9
5.2 A influência da relação água/cimento	9
5.3 Métodos de medir a espessura carbonatada	10
6 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	10
6.1 Permeabilidade do concreto	10
6.1.1 Permeabilidade à água	10
6.1.2 Permeabilidade aos gases	12
6.2 Absorção de água	13
6.3 Fissuração do concreto	13
6.4 Resistividade do concreto	15
7 ELEMENTOS AGRESSIVOS INCORPORADOS AO CONCRETO	16
8 INFLUÊNCIA DO MEIO AMBIENTE	17
8.1 Atmosfera rural	17
8.2 Atmosfera urbana	17
8.3 Atmosfera marinha	19
8.4 Atmosfera industrial	19
8.5 Atmosfera viciada	20
9 INFLUÊNCIA DA MICRORREGIÃO DA ESTRUTURA	21
10 ALGUNS DETALHES CONSTRUTIVOS	21
10.1 Armazenamento das barras e fios de aço	22
10.2 Utilização de barras e fios corroídos	22
10.3 Efeito parede	23
10.4 Paralelismo	23
10.5 Espaçadores e fixadores de formas	25
10.6 Cura	26
10.7 Proteção temporária de estruturas	27
11 PROPOSTA E ROTEIRO PARA DEFINIR O COBRIMENTO	27
12 RECUPERAÇÃO	30
13 RECURSOS ESPECIAIS	31
13.1 Galvanização	31
13.2 Inibidores químicos	32
13.3 Impregnação da superfície de concreto	32
14 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
Referências bibliográficas	33
ANEXO A – Concreto estrutural (Cobrimentos recomendados por BSI CP-110)	39
ANEXO B – Concreto armado para edificações (Cobrimentos recomendados por BSI CP-114)	40
ANEXO C – Concreto protendido para edificações (Cobrimentos recomendados por BSI CP-115)	40
ANEXO D – Concreto pré-moldado (Cobrimentos recomendados por BSI CP-116)	41
ANEXO E – Concreto e concreto armado (Cobrimentos recomendados por DIN 1045)	42
ANEXO F – Concreto armado para edificações (Cobrimentos recomendados por ANSI/ACI 318-77)	43
ANEXO G – Concreto para estruturas marítimas (Cobrimentos recomendados por PCI/Sec. 1975)	44
ANEXO H – Concreto para estruturas marítimas (Cobrimentos recomendados por FIP/Jul. 1977)	45
ANEXO I – Mapa do Brasil, com as zonas de umidade relativa média anual e as isotermas das temperaturas mínimas absolutas, para o ano de 1974	46

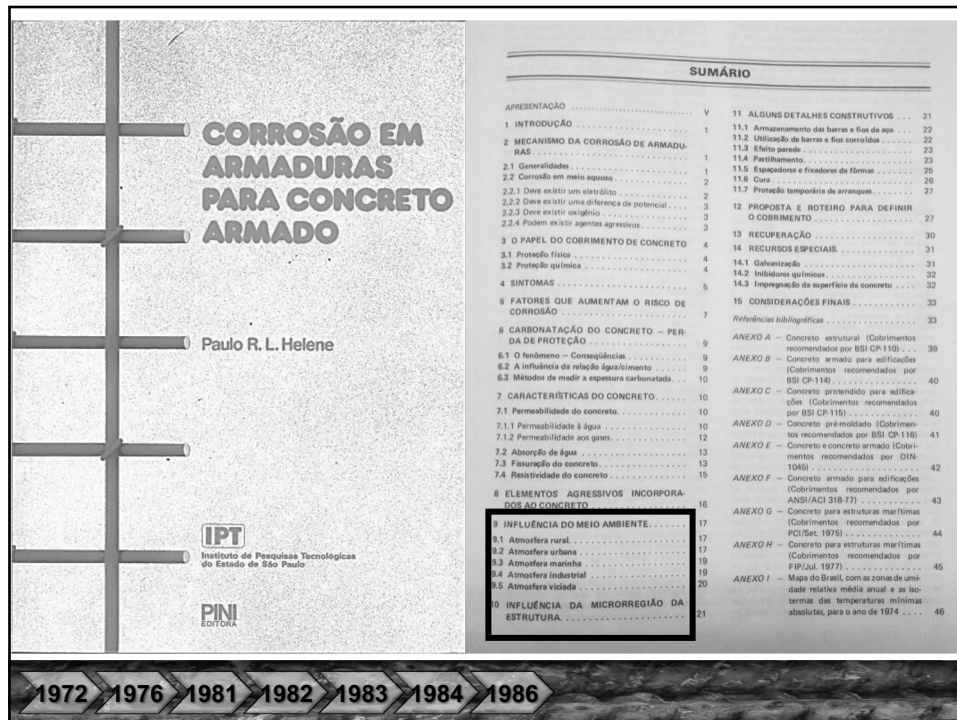
40

SUMÁRIO	
APRESENTAÇÃO	V
1 INTRODUÇÃO	1
2 MECANISMO DA CORROSÃO DE ARMADURAS	1
2.1 Generalidades	1
2.2 Corrosão em meio aquoso	2
2.2.1 Deve existir um eletrólito	2
2.2.2 Deve existir uma diferença de potencial	3
2.2.3 Deve existir oxigênio	3
2.2.4 Podem existir agentes agressivos	3
3 O PAPEL DO COBRIMENTO DE CONCRETO	4
3.1 Proteção física	4
3.2 Proteção química	4
4 SINTOMAS	5
5 FATORES QUE AUMENTAM O RISCO DE CORROSÃO	7
6 CARBONATAÇÃO DO CONCRETO – PERDA DE PROTEÇÃO	9
6.1 O fenômeno – Consequências	9
6.2 A influência da relação água/cimento	9
6.3 Métodos de medir a espessura carbonatada	10
7 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	10
7.1 Permeabilidade do concreto	10
7.1.1 Permeabilidade à água	10
7.1.2 Permeabilidade aos gases	12
7.2 Absorção de água	13
7.3 Fissuração do concreto	13
7.4 Resistividade do concreto	15
8 ELEMENTOS AGRESSIVOS INCORPORADOS AO CONCRETO	16
9 INFLUÊNCIA DO MEIO AMBIENTE	17
9.1 Atmosfera rural	17
9.2 Atmosfera urbana	17
9.3 Atmosfera marinha	19
9.4 Atmosfera industrial	19
9.5 Atmosfera viciada	20
10 INFLUÊNCIA DA MICRORREGIÃO DA ESTRUTURA	21
11 ALGUNS DETALHES CONSTRUTIVOS	21
11.1 Armazenamento das barras e fios de aço	22
11.2 Utilização de barras e fios corroídos	22
11.3 Efeito parede	23
11.4 Perçimentamento	23
11.5 Espaçadores e fixadores de formas	25
11.6 Cura	26
11.7 Proteção temporária de arrancos	27
12 PROPOSTA E ROTEIRO PARA DEFINIR O COBRIMENTO	27
13 RECUPERAÇÃO	30
14 RECURSOS ESPECIAIS	31
14.1 Galvanização	31
14.2 Inibidores químicos	32
14.3 Impregnação da superfície de concreto	32
15 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
Referências bibliográficas	33
ANEXO A – Concreto estrutural (Cobrimentos recomendados por BSI CP-110)	39
ANEXO B – Concreto armado para edificações (Cobrimentos recomendados por BSI CP-114)	40
ANEXO C – Concreto protendido para edificações (Cobrimentos recomendados por BSI CP-115)	40
ANEXO D – Concreto pré-moldado (Cobrimentos recomendados por BSI CP-118)	41
ANEXO E – Concreto e concreto armado (Cobrimentos recomendados por DIN-1045)	42
ANEXO F – Concreto armado para edificações (Cobrimentos recomendados por ANSI/ACI 318-77)	43
ANEXO G – Concreto para estruturas marítimas (Cobrimentos recomendados por PCI/Set. 1975)	44
ANEXO H – Concreto para estruturas marítimas (Cobrimentos recomendados por FIP/Jul. 1977)	45
ANEXO I – Mapa do Brasil, com as zonas de unidade relativa média anual e as isotermas das temperaturas mínimas absolutas, para o ano de 1974	46

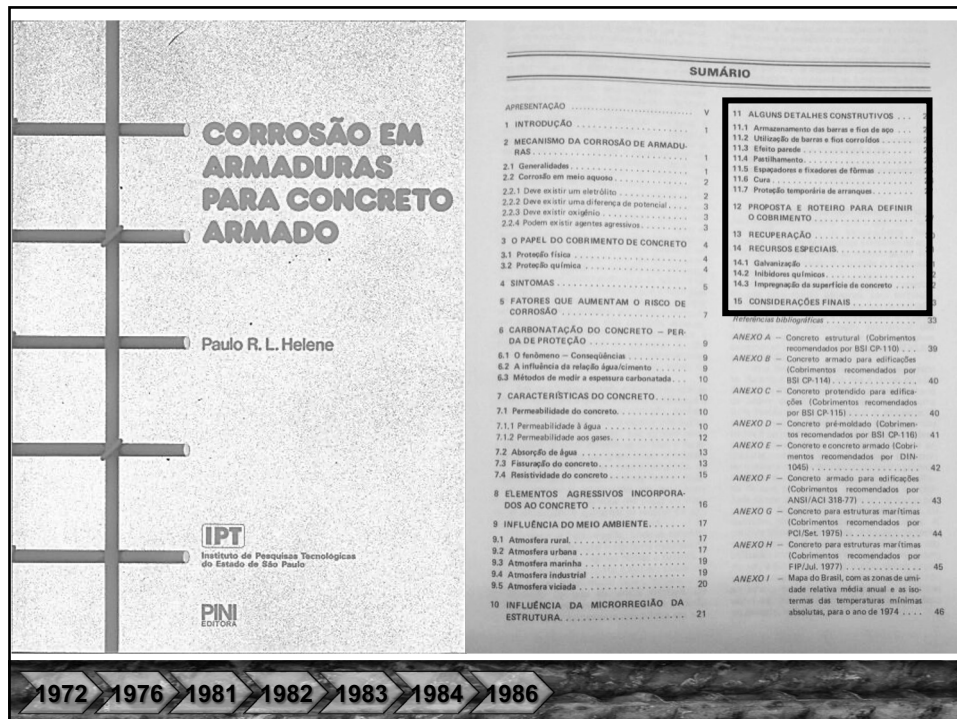
41

SUMÁRIO	
APRESENTAÇÃO	V
1 INTRODUÇÃO	1
2 MECANISMO DA CORROSÃO DE ARMADURAS	1
2.1 Generalidades	1
2.2 Corrosão em meio aquoso	2
2.2.1 Deve existir um eletrólito	2
2.2.2 Deve existir uma diferença de potencial	3
2.2.3 Deve existir oxigênio	3
2.2.4 Podem existir agentes agressivos	3
3 O PAPEL DO COBRIMENTO DE CONCRETO	4
3.1 Proteção física	4
3.2 Proteção química	4
4 SINTOMAS	5
5 FATORES QUE AUMENTAM O RISCO DE CORROSÃO	7
6 CARBONATAÇÃO DO CONCRETO – PERDA DE PROTEÇÃO	9
6.1 O fenômeno – Consequências	9
6.2 A influência da relação água/cimento	9
6.3 Métodos de medir a espessura carbonatada	10
7 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	10
7.1 Permeabilidade do concreto	10
7.1.1 Permeabilidade à água	10
7.1.2 Permeabilidade aos gases	12
7.2 Absorção de água	13
7.3 Fissuração do concreto	13
7.4 Resistividade do concreto	15
8 ELEMENTOS AGRESSIVOS INCORPORADOS AO CONCRETO	16
9 INFLUÊNCIA DO MEIO AMBIENTE	17
9.1 Atmosfera rural	17
9.2 Atmosfera urbana	17
9.3 Atmosfera marinha	19
9.4 Atmosfera industrial	19
9.5 Atmosfera viciada	20
10 INFLUÊNCIA DA MICRORREGIÃO DA ESTRUTURA	21
11 ALGUNS DETALHES CONSTRUTIVOS	21
11.1 Armazenamento das barras e fios de aço	22
11.2 Utilização de barras e fios corroídos	22
11.3 Efeito parede	23
11.4 Perçimentamento	23
11.5 Espaçadores e fixadores de formas	25
11.6 Cura	26
11.7 Proteção temporária de arrancos	27
12 PROPOSTA E ROTEIRO PARA DEFINIR O COBRIMENTO	27
13 RECUPERAÇÃO	30
14 RECURSOS ESPECIAIS	31
14.1 Galvanização	31
14.2 Inibidores químicos	32
14.3 Impregnação da superfície de concreto	32
15 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
Referências bibliográficas	33
ANEXO A – Concreto estrutural (Cobrimentos recomendados por BSI CP-110)	39
ANEXO B – Concreto armado para edificações (Cobrimentos recomendados por BSI CP-114)	40
ANEXO C – Concreto protendido para edificações (Cobrimentos recomendados por BSI CP-115)	40
ANEXO D – Concreto pré-moldado (Cobrimentos recomendados por BSI CP-118)	41
ANEXO E – Concreto e concreto armado (Cobrimentos recomendados por DIN-1045)	42
ANEXO F – Concreto armado para edificações (Cobrimentos recomendados por ANSI/ACI 318-77)	43
ANEXO G – Concreto para estruturas marítimas (Cobrimentos recomendados por PCI/Set. 1975)	44
ANEXO H – Concreto para estruturas marítimas (Cobrimentos recomendados por FIP/Jul. 1977)	45
ANEXO I – Mapa do Brasil, com as zonas de unidade relativa média anual e as isotermas das temperaturas mínimas absolutas, para o ano de 1974	46

42



43



44

**Ruy Alberto Cremonini and
Denise Capena Coitinho Dal Molin
Master thesis. UFRGS. 1988**

Analysis of pathological manifestations in Rio Grande do Sul/BR

- The highest incidence observed was related to the reinforcement corrosion.



45



Paulo Helene

Manual para Reparo,
Reforço e Proteção de
Estruturas de Concreto

1988

Editora PINI
Sao Paulo, Brasil

46

**Oswaldo Cascudo Matos. Master thesis.
EP.USP. 1991**

Contribution to the study and use of electrochemical techniques in the control of reinforced concrete reinforcement corrosion.

- electrical resistance, half-cell potential measurements, electrochemical noise, polarization curves, polarization resistance and electrochemical impedance.

1972 1976 1981 1982 1983 1984 1986 1988 1990 1991

47

**Manual para Diagnóstico
de Obras Deterioradas
por Corrosão de Armaduras**

Carmen Andrade



Tradução e adaptação: Antonio Carmona e Paulo Helene

Projeto de Divulgação Tecnológica

Andrade Gutierrez
Fosroc
Maubertec
Tecnócreci

PINI
EDITORA

Índice

Capítulo I - Conceitos Básicos sobre Corrosão de Armaduras	15
I.1 - Fundamentos sobre corrosão	15
I.2 - Proteção e durabilidade das armaduras no concreto	19
I.3 - Causas da corrosão das armaduras	20
I.4 - Fatores desencadeantes	24
I.5 - Fatores acelerantes	33
I.6 - Efeitos da corrosão	39
I.7 - Recomendações de boa prática para aumentar a durabilidade das armaduras	41
I.8 - Métodos complementares de proteção	44
I.9 - Bibliografia	50
Capítulo II - Inspeção e Diagnóstico	51
II.1 - Inspeção preliminar	52
II.2 - Inspeção detalhada	53
II.3 - Diagnóstico	58
Capítulo III - Ensaios	61
III.1 - Determinação da resistência mecânica	63
III.2 - Determinação da espessura de cobrimento e características das armaduras	67
III.3 - Porosidade e massa específica	69
III.4 - Teor de cloretos	71

1972 1976 1981 1982 1983 1984 1986 1988 1990 1991 1992

48



49

Corrosion kinetics

Corrosion Current



50

	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA 100 anos	CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO	i
PAULO ROBERTO DO LAGO HELENE		Paulo Helene	
CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO		Sumário	iv
Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Professor Livre Docente junto ao Departamento de Engenharia de Construção Civil.		Lista de Figuras	ix
São Paulo fev. 1993		Lista de Fotos	x
		Lista de Micrografias	xi
		Lista de Tabelas	xii
		Resumo	xiii
		Abstract	xiii
		INTRODUÇÃO	1
		1. Importância Econômica	7
		2. Pesquisas na Área	15
		3. Objetivo	15
		4. Conteúdo	15
		Capítulo I	
		MÉCANISMO DA CORROSÃO DE ARMADURAS	17
		1.1. Conceitos Básicos	21
		1.2. Termodinâmica da Corrosão em Meio Aquoso	34
		1.3. Corrosão do Aço no Concreto	38
		Deve existir um eletrólito	38
		Deve existir uma diferença de potencial de eletrodo	39
		Deve existir oxigênio	41
		1.4. Passivação	45
		O papel do cobrimento de concreto	46
		1.5. Cinética da Corrosão de Armaduras	47
		Vida útil	47
		Capítulo II	
		MÉTODOLÓGICAS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA CORROSÃO	51
		2.1. Classificação dos Ensaios	53
		2.2. Avaliação do Concreto Visando a Termodinâmica da Reação	53
		Profundidade de carbonatação	54
		Teor de umidade de equilíbrio	55
		pH da solução presente nos poros do concreto	56
		Concentração de cloretos e de hidroxilas	56
		Teor de cloretos	57
		Difusão de cloretos	58
		Retenção de cloretos	58
		2.3. Avaliação do Concreto Visando a Cinética da Reação	58
		Resistividade elétrica	59
		Penetração de cloretos	60
		Migração de cloretos	61
		Difusão e dissolução de oxigênio	62
		Teor de sais dissolvidos	63
		2.4. Avaliação da Armadura Visando a Termodinâmica da Reação	63
		2.5. Avaliação da Armadura Visando a Cinética da Reação	64
		Composição química	64
		Perda de massa	65
		Observação visual e microscópica	65
		2.6. Avaliação do Sistema Concreto-Armadura-Meio Ambiente Visando a	65
		Termodinâmica da Reação	65
		Heterogeneidades	65
		Meio ambiente	66

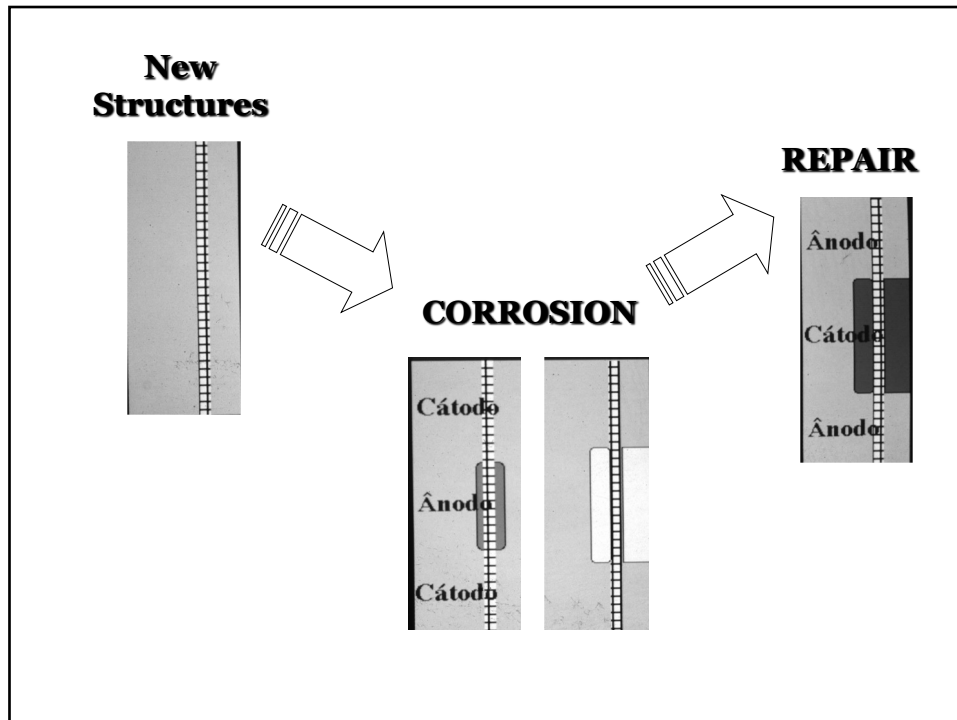
University of Califórnia at Berkeley

Kumar Mehta & Paulo Monteiro

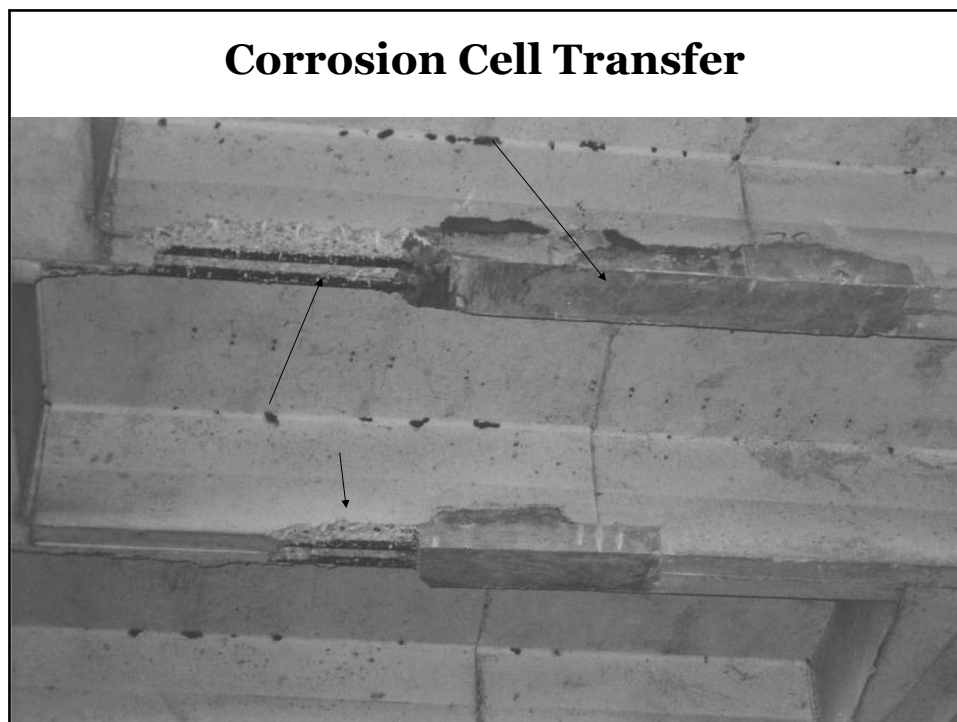
introducing reinforced steel in concrete
strutures in the concrete lab at Berkeley

1991 - 1992

pós-doc

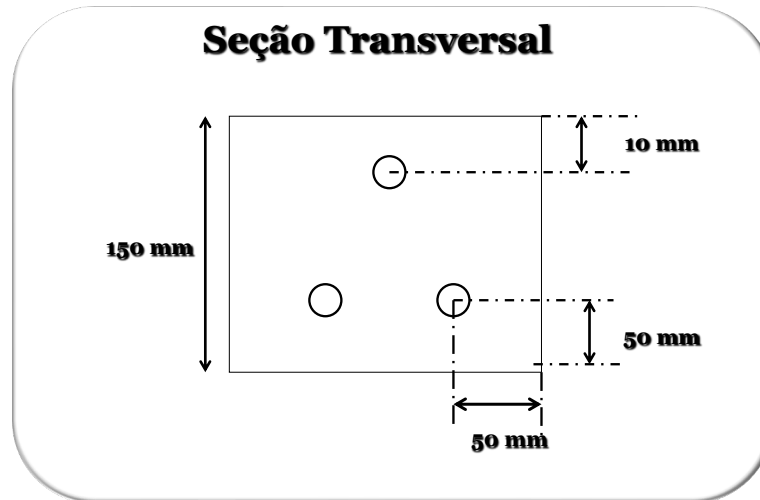


53



54

Reinforced Concrete Specimen



55



56



57

Epoxi cover system SYSTEM III

○	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">none</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">fracá</td> </tr> </table>	none	fracá
none	fracá		
○ ○	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">none</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">média</td> </tr> </table>	none	média
none	média		

Corrosion Corrente

None

Fraca

media

severa

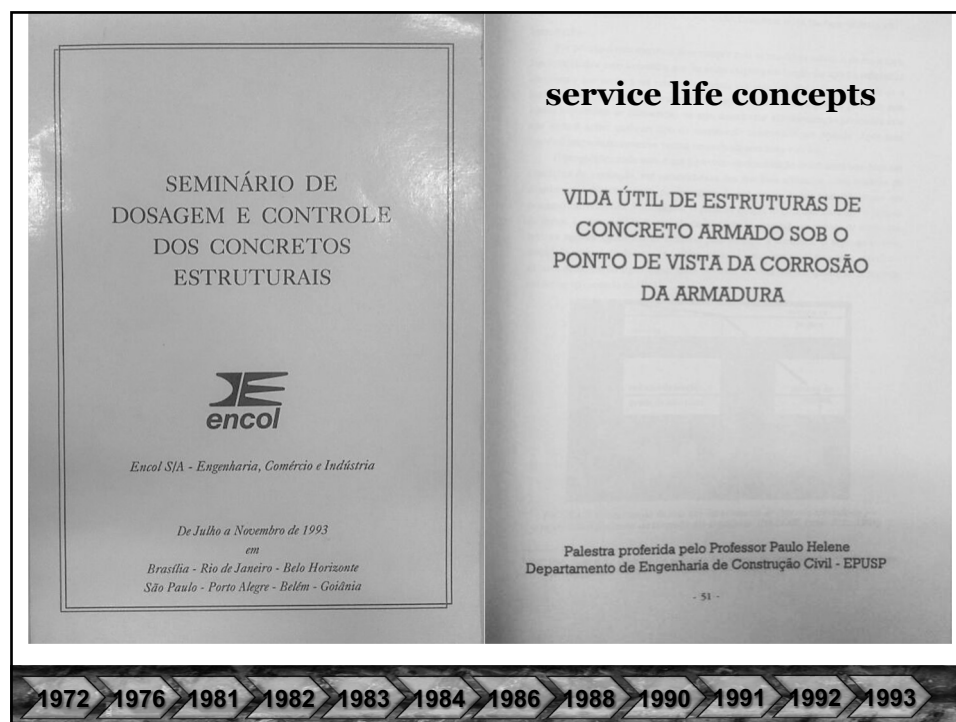
58

Publications

FIGUEIREDO, Enio. Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra corrosão através de técnicas eletroquímicas: contribuição ao estudo de reparos em estruturas de concreto armado. Universidade de São Paulo PCC / USP, 15 abril 1994.

MONTEIRO, Paulo & HELENE, Paulo. Can local repairs be durable solution for steel corrosion in concrete? International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete. Sheffield Academic Press, v.2, July 1994. P. 1525-38

59



60

**Enio José Pazini Figueiredo. PhD Thesis.
EP.USP. 1994**

Evaluation of the performance of coatings to protect the reinforcement against corrosion by electrochemical techniques: contribution to the study of repair of reinforced concrete structures.

- Reference coating (cement and sand mortar);
cement+thermoplastic polymer;
cement+thermoplastic polymer+inhibitor;
cement+thermosetting polymer+inhibitor;
- Epoxy resin and epoxy+resin+zinc, are the best

1993 1994

61

**Geraldo Chechella Isaia. PhD Thesis.
EP.USP. 1995**

Effects of binary and ternary mixtures of pozzolans on high performance concrete: a durability study with view to the corrosion of the reinforcement.

- Studied the blending effect of normal and high volumes of fly ash (50%), rice husk ash and microsilica in binary and ternary cementitious mixtures of HPC
- The tests results conclude that the best performance on the durability scope was the fly ash and rice husk ash blend (50%)

1995

62

Cláudio de Souza Kasmierczak. PhD Thesis. EP. USP. 1995

Contribution to analysis of the efficiency of applied films on reinforced concrete structures with the purpose of protection against carbonation

- acrylic; acrylic and styrene; methyl methacrylate; monocomponent aliphatic polyurethane; bicomponent aliphatic polyurethane; monocomponent silane/siloxane + methyl methacrylate
- The dispersion varnishes presented higher performance in relation to emulsion varnishes

1993 1994 1995

63

Maryangela Geimba de Lima. PhD Thesis. EP.USP. 1996

Inhibitors of corrosion: evaluation of the efficiency due to reinforcements corrosion caused by chlorides

- Present a avaliation of efficiency of three products used as corrosion reinforcement inhibitors: sodium nitrite, sodium benzoate and sodium molybdate
- Best performance observed with sodium benzoate

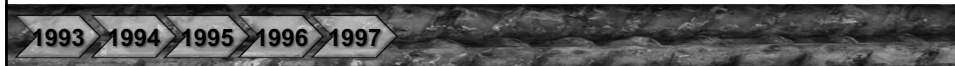
1993 1996

64

Nelson Diaz Brito. Master thesis. EP.USP. 1997

Contribution to assess the degree of reinforcement corrosion in carbonation deteriorated existing concrete structure

- Assess the behaviour along the time of the corrosion intensity (i_{corr}) in a building locate in USP and investigate the existence correlation oh that property with corrosion potential (E_{corr}) and eletrical resistivity of the concrete (ρ)
- The best correlation could be founded between i_{corr} values and ρ with statistic confidence



65

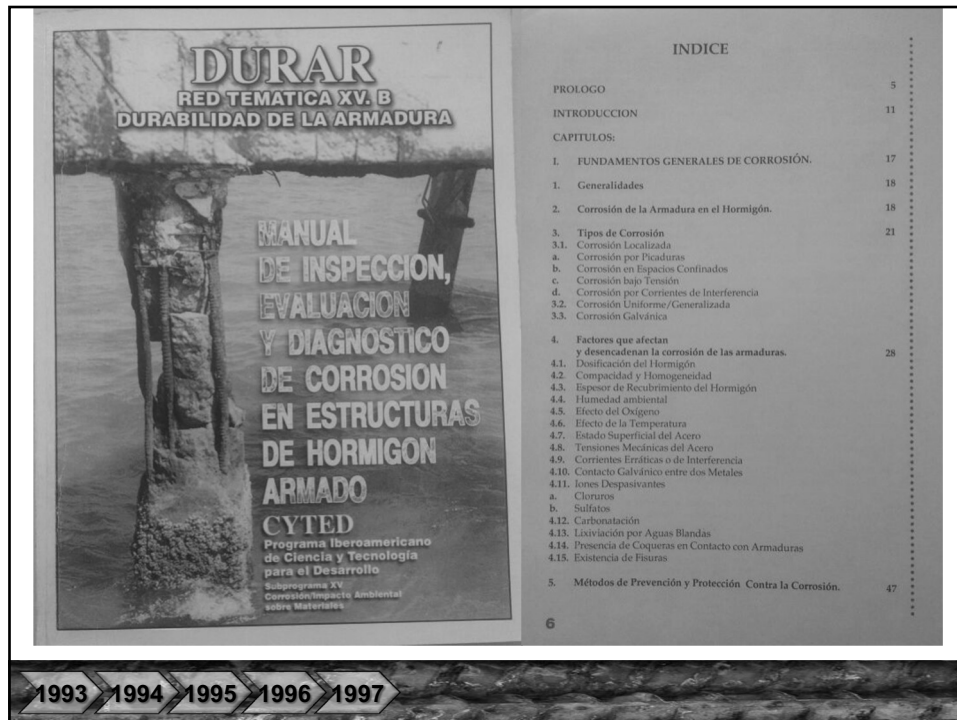
Red DURAR
International Program CYTED

International Chair Woman
Profa. Dra. Oladis de Rincón
Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela

Professionals and Researchers from 10 Ibero Countries

1994 - 2000

66



67

Mário Morio Isa. PhD Thesis. EP.USP. 1997

Concrete-steel bonding: influence of corrosion and galvanic protection

- Presented the superficials conditions created by atmospheric corrosion, by the accelerated corrosion using electric current and by chlorides
- Studied the superficials conditions of the bars when repairs are made using cathodic protection, galvanic type, with inorganic primer
- The steel reinforcement bars subjected to accelerated superficial corrosion present worst behavior then the one cleaned by sand jeting. The bars repaired by inorganic primer (zinc) presented no changes in concrete-steel bond.

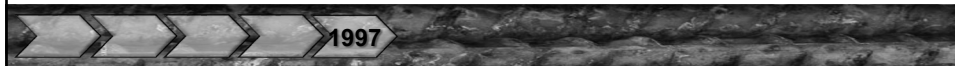


68

**Wellington Longuini Repette. PhD Thesis.
EP.USP. 1997**

Service life prediction of coatings for protection in highly aggressive environments

- Presented a methodology for establishing a damaged predictive model for coating on concrete and implemented in a case study where a multi-layered system: epoxy based main layer and a polyurethane based topcoating were subjected to water and aggressive solutions of sulfates and chlorides
- Were suggested the coatings' deterioration modes and a first approximation mathematical model for mass transport through the coating was developed based on the 2nd Fick's law of diffusion and on the multi-layer approach



69

**Antonio Carmona Filho. PhD Thesis.
Mackenzie. 1998**

Methodology for rehabilitation, protection and determination of the residual service life of concrete structures in strongly aggressive environment

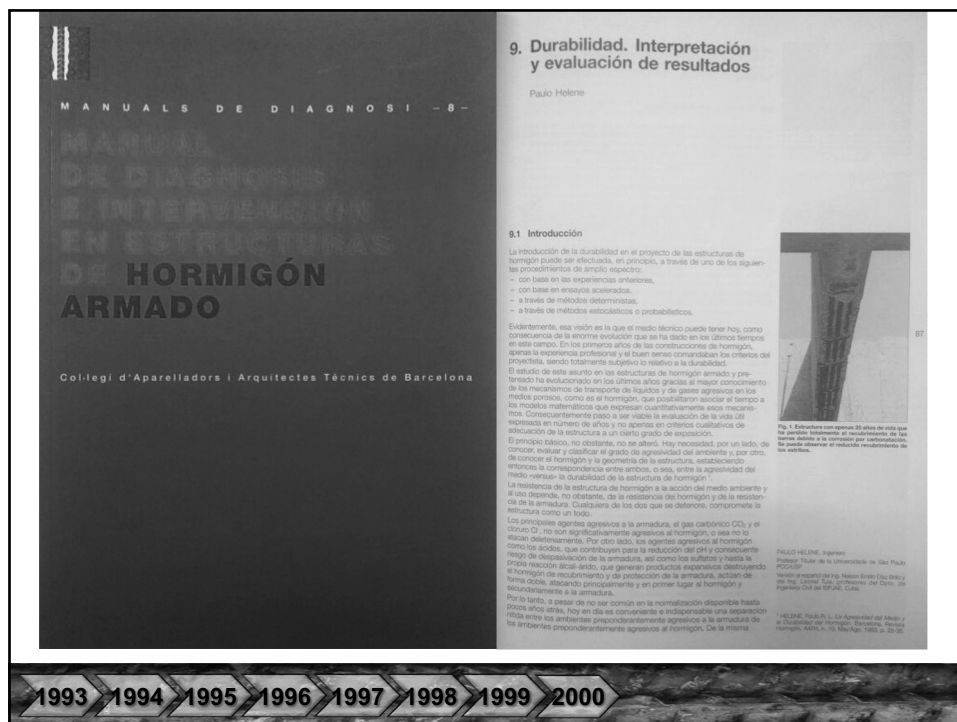
- It was studied the repair of a real structure in maritime environment, contaminated by fertilizers



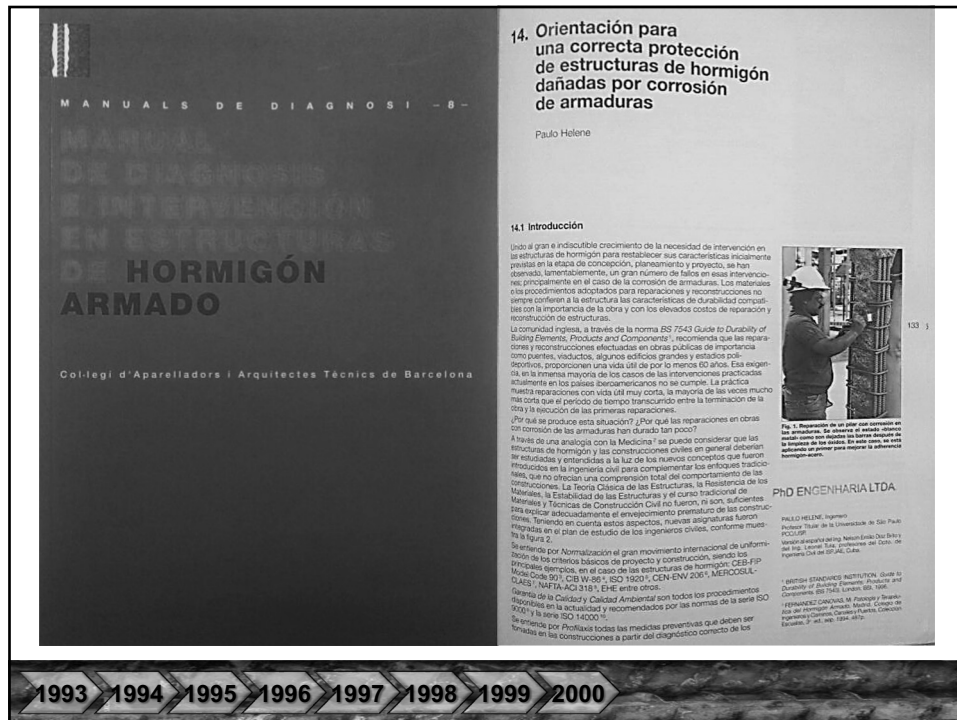
70



71



72



73

Rosele Correia de Lima. Master thesis. ITA. 2000

Evaluation of corrosion inhibitors effectiveness in concrete structures repair

- Evaluated the corrosion process on steel-carbon rebars in concrete elements repaired with repair mortars prepared with sodium nitrite, sodium molybdate and sodium benzoate based corrosion inhibitors
- The smaller corrosion rate was observed with a mortar prepared with 1% of sodium nitrite

74

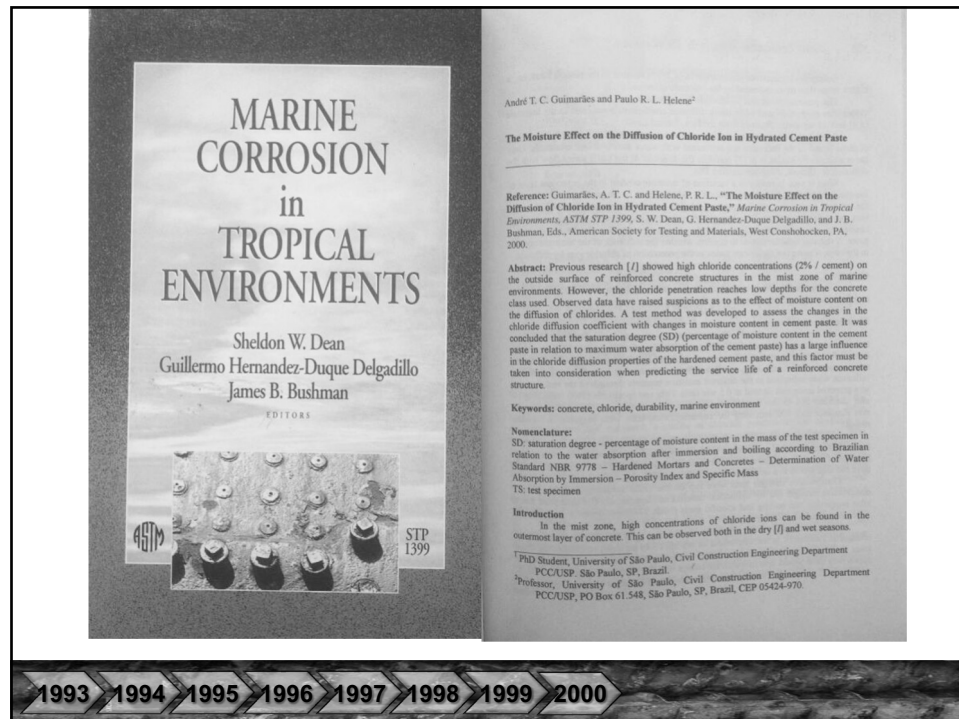
**Leonel Tula Sanabria. PhD Thesis. EP.USP.
2000**

**Contribution to the study of the corrosion resistance
of stainless steel rebars**

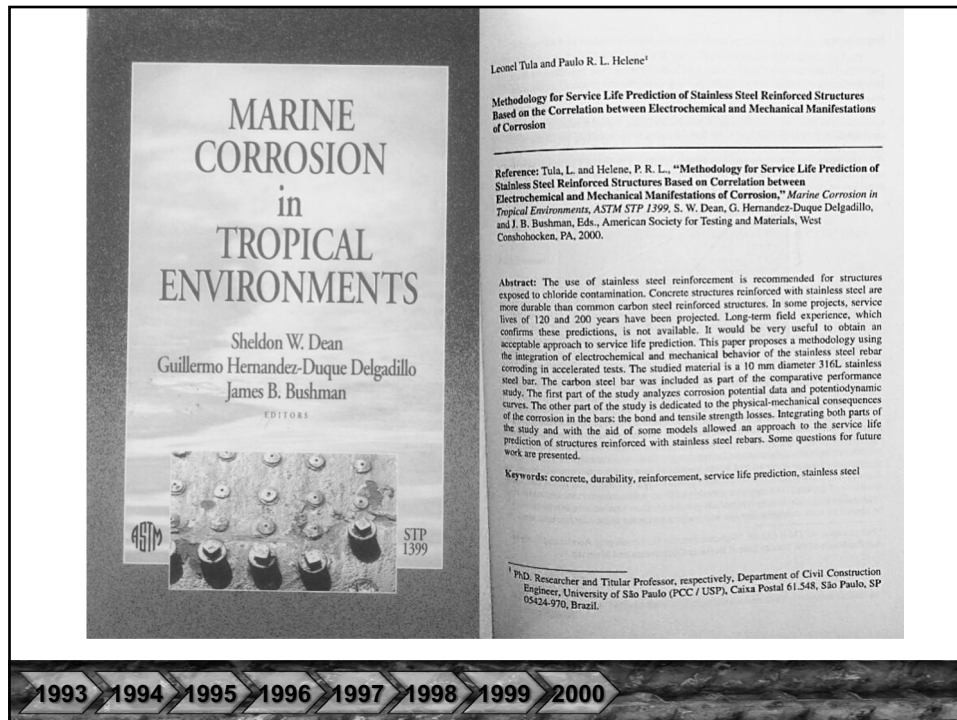
- Evaluated the corrosion resistance to chloride contamination of 316L stainless steel corrugated rebars of 10-mm diameter
- It was determined the influence of the tension on the reduction of the corrosion resistance of steel, proposed the chloride threshold for stainless steel rebars and found the electrochemical potential reference in stainless steel bars.

2000

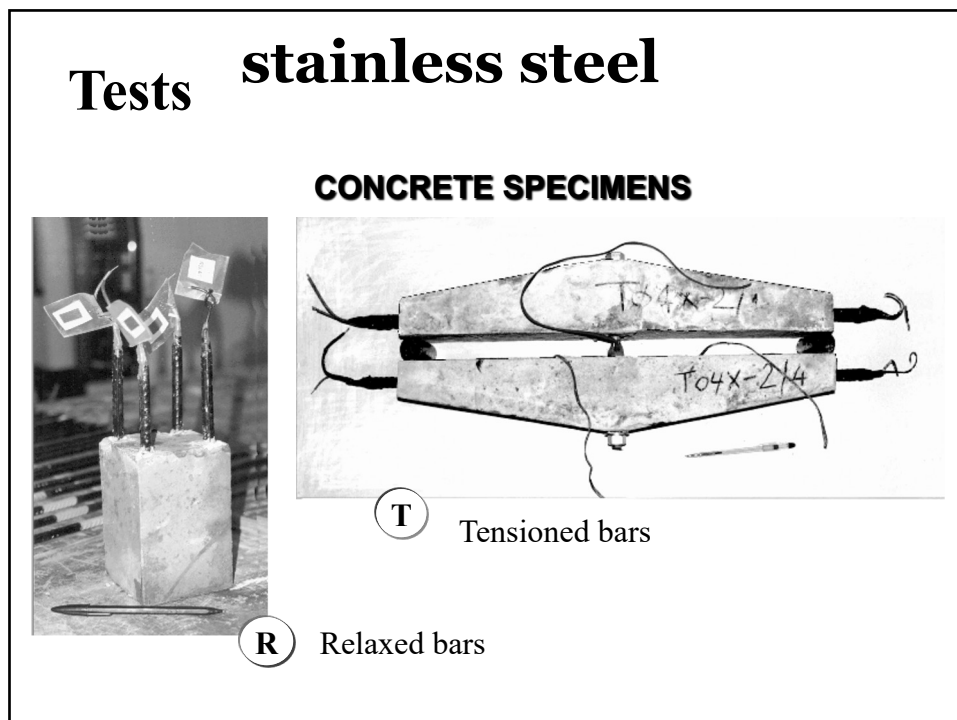
75



76



77



78

Red REHABILITAR
International Program CYTED

International Chair Man
Prof. Dr. Paulo Helene
Universidade de Sao Paulo, Brasil

Professionals and Researchers from 14 Ibero Countries

1999 - 2005

79



Rehabilitation
Manual

Red Rehabilitar

2001

São Paulo, Brasil

80

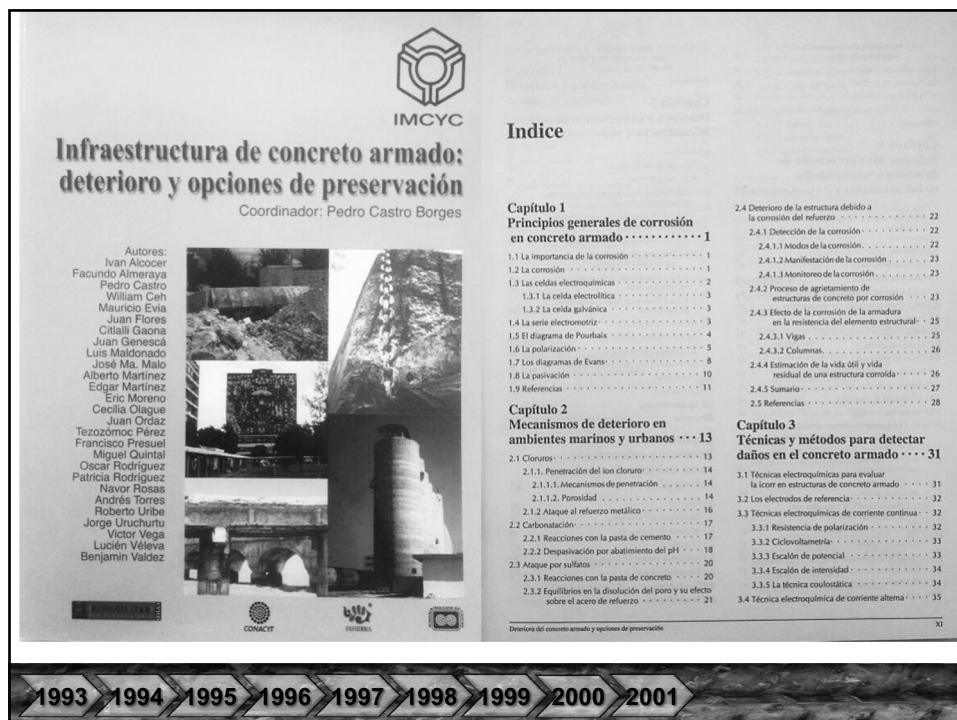
Salomon Mony Levy. PhD Thesis. EP.USP. 2001

Contribution for durability studied concretes
produced with masonry and concrete wastes

- The results obtained with accelerated testes show that the concrete produced with recycled aggregates have an equivalent or better behavior than the reference concrete in carbonation tests



81



82

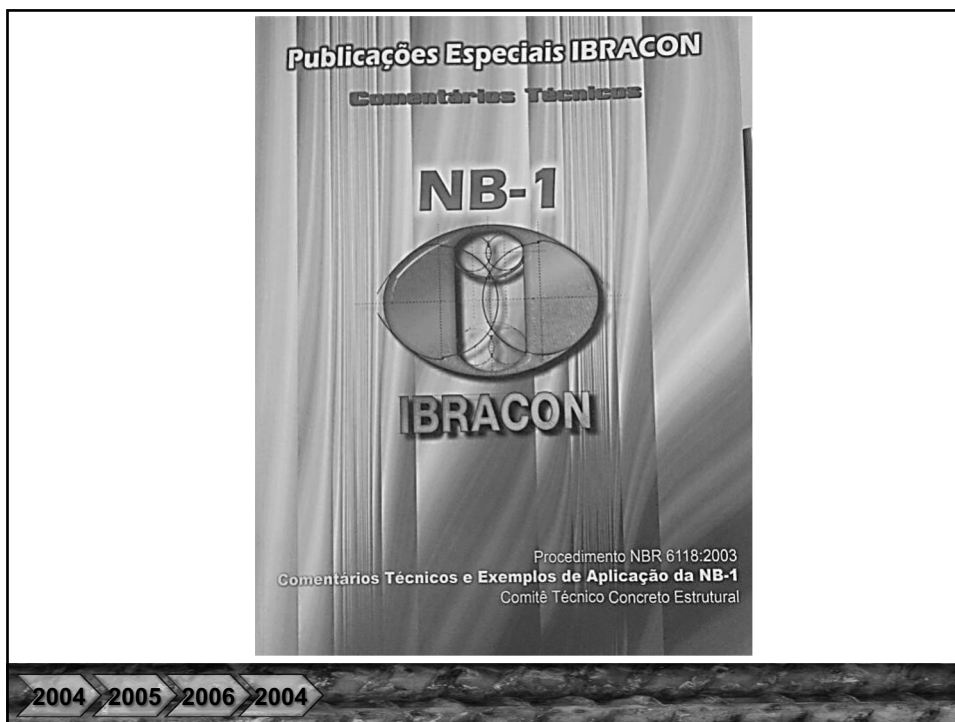
**Eliana Cristina Barreto Monteiro. PhD Thesis.
EP.USP. 2002**

Laboratory evaluation of the method of
electrochemical extraction of chlorides for
rehabilitation of concrete structures with
reinforcement corrosion problems

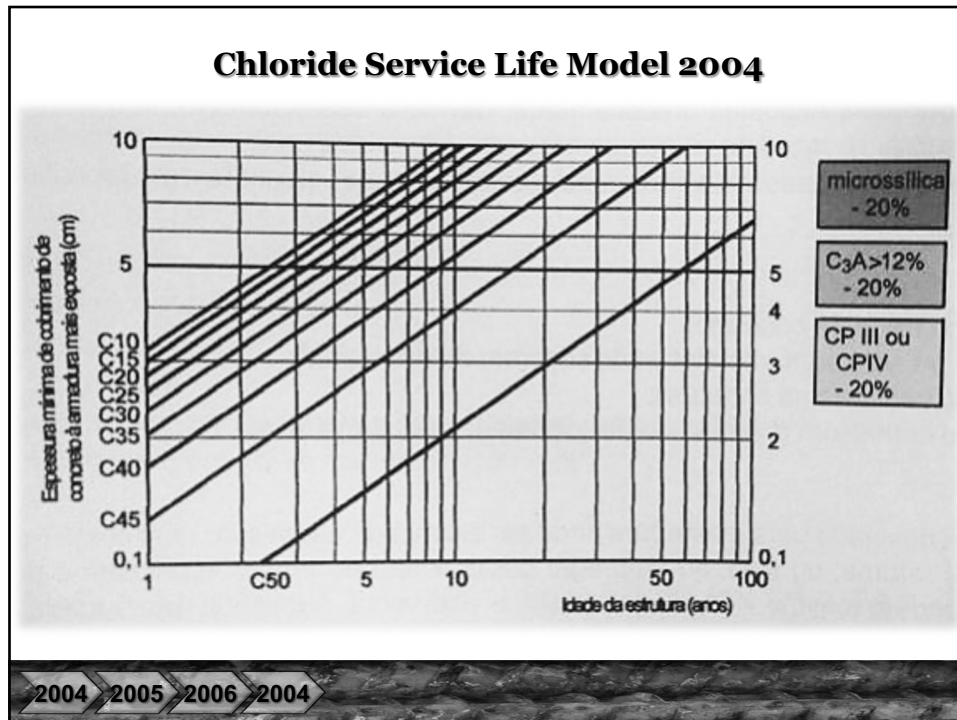
- This methodology can be used to prevent the disadvantages of traditional repair strategies in the patch repair
- The test results verify that this method successfully extracted chloride ions and it was more efficient than previously reported in the literature



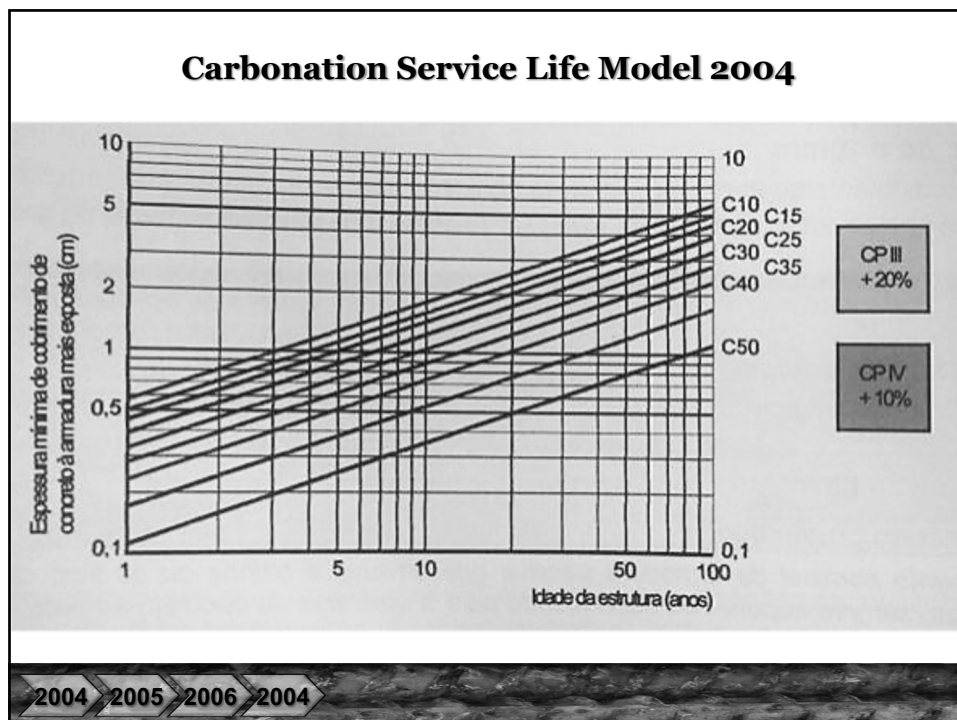
83



84



85



86

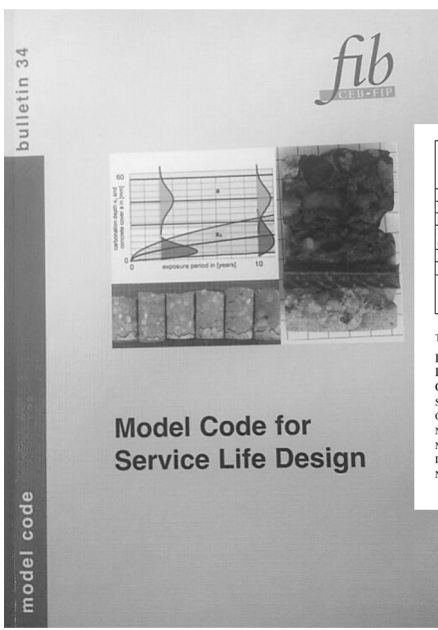
**Thomas Garcia Carmona. Master thesis.
EP.USP. 2005**

Prediction models of the despassivation of reinforcement steel in concrete structures due to carbonation

- The collected data was analysed using variance analysis and the values of carbonation depth were compared with that estimated using prediction models
- Presented one soft computer program developed for predicting the initiation period using deterministic and probabilistic methods

2004 2005

87



2006

Subject to priorities defined by the Steering Committee and the Presidium, the results of *fib*'s work in Commissions and Task Groups are published in a continuously numbered series of technical publications called 'Bulletins'. The following categories are used:

category	minimum approval procedure required prior to publication
Technical Report	approved by a Task Group and the Chairpersons of the Commission
State-of-Art Report	approved by a Commission
Manual or Guide (to good practice)	approved by the Steering Committee of <i>fib</i> or its Publication Board
Recommendation	approved by the Council of <i>fib</i>
Model Code	approved by the General Assembly of <i>fib</i>

Any publication not having met the above requirements will be clearly identified as preliminary draft.
This Bulletin N° 34 will be submitted to the General Assembly for approval as an *fib* Model Code in June 2006.

This report was prepared within Task Group 5.6, *Model code for service life design of concrete structures*:

Peter Schiessl (Couvener, Technische Universität München, Germany)
 Phil Bamforth (Principal Construction Consultancy, UK), Véronique Baroghel-Bouny (LCPC, France),
 Gene Corley (Construction Technology Laboratories, Inc., USA), Michael Faber (ETH-Zürich, Switzerland), Jim Forbes (Hyder Consulting, Australia), Christoph Gehlen (Ingenieurbüro Schiessl, Germany), Paulo Helene (Univ. de São Paulo PCC/USP, Brazil), Steinar Helland (Skanska Norge AS, Norway), Tetsuya Ishida (Univ. of Tokyo, Japan), Gro Markeset (Norwegian Building Research Institute, Norway), Lars-Olof Nilsson (Lund Institute of Technology, Sweden), Steen Rostam (Cowi AS, Denmark), A.J.M. Siemes (TNO, The Netherlands), Joost Walraven (Delft Univ. of Technology, The Netherlands)

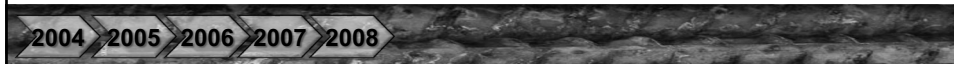
2004 2005 2006

88

**Maurício Luiz Grochoski Garcia. PhD Thesis.
EP.USP. 2008**

Evaluation of eletrochemical behavior of repair systems for concrete structures with reinforcement corrosion

- Evaluated the eletrochemical behavior of six different repair systems for concrete with reinforcement corrosion, on-site and in laboratory
- The industrialized repair mortar with corrosion inhibitors was the most suitable for the studied situation



89

**Marcelo Henrique Farias de Medeiros. PhD Thesis.
EP.USP. 2008**

Contribution to the durability study of surface treated concrete exposed to chlorides ions action

- Studied the efficiency of three groups of surface treatment used to protect reinforced concrete exposed to marine environment: coatings and sealers; pores liners and pore blockers
- The products that are dissolved in water showed lower performance to stop the ingress of water
- The systems based on aliphatic polyurethane and silane and siloxane + acrylic showed the best performance in reducing the absorption and the diffusion coefficient of chlorides



90

**Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo.
PhD Thesis. EP.USP. 2009**

Carbonated concrete steel repassivation study
through chemical realkalisation technique

- The chemical realkalisation technique was studied with three types of alkaline solutions: sodium carbonate, potassium hydroxide and calcium hydroxide
- The KOH solution showed the best results of corrosion potential, providing bars more electropositive than before carbonation



91

New Progress

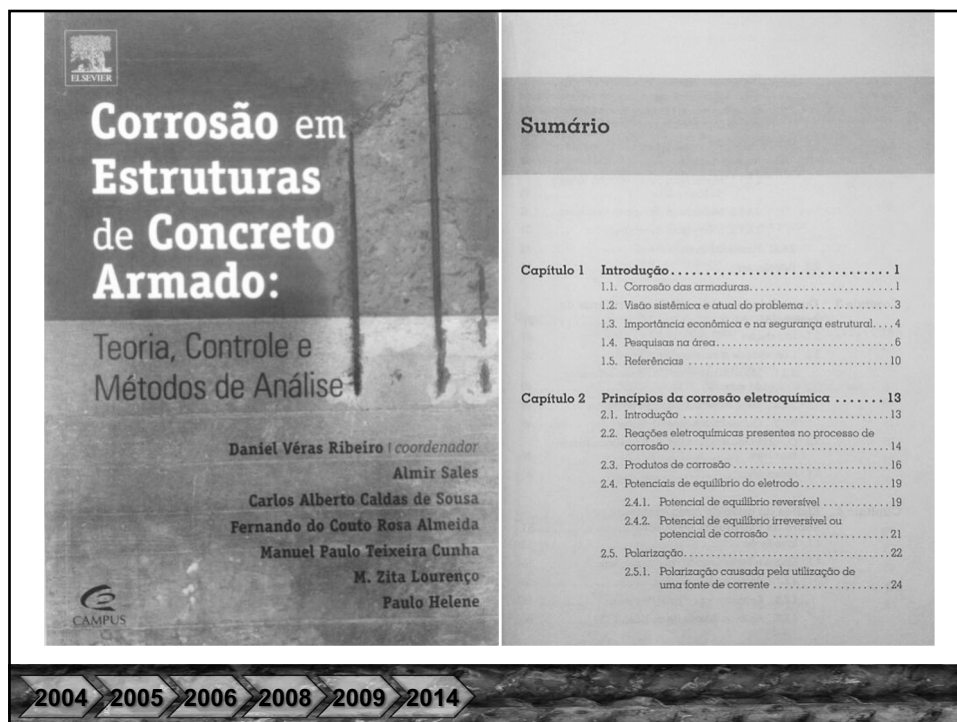
Durability and Sustainability:

Pedro Castro-Borges & Paulo Helene

El enfoque filosófico y conceptual de vida de servicio de estructuras de concreto reforzado que se requiere para confrontar el cambio climático.

Paper de conferencia magistral, 12 p, Memorias del I Congreso Internacional Científico/Técnico de Ingeniería (CICTI 2007), Maracaibo, Venezuela, 4-9 de Noviembre de 2007.

92




93



94



95

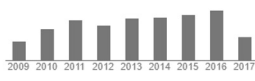


Paulo Helene
 Prof. Titular Universidade de São Paulo. Diretor PhD Engenharia concrete structures, concrete durability, concrete sustainability, concrete materials, concrete pathology
 E-mail confirmado em concretophd.com.br - Página inicial

Título	1-20	Citado por	Ano
Corrosão em armaduras para concreto armado	PRL HELENE PINI / IPT 1, 45	277 *	1993
Manual para Reparo, Reforço e Proteção das Estruturas de Concreto.	PRL Helene Pini	149 *	1992
Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption	MHF Medeiros, P Helene Construction and building materials 23 (3), 1476-1484	119	2009
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado	OT RINCÓN, P HELENE, AR CARRUYO, C ANDRADE CYTED Red DURAR	72 *	1997
Corrosión en Estructuras de Concreto Armado	P Castro, RM CASTILLO, JJ CARPIO, J GENESCA, P HELENE, W LÓPEZ, ... Instituto Mexicano Del Cemento y Del Concreto, AC, México, 93-116	42	1998
Vida Útil das Estruturas de Concreto	P HELENE IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de ...	39	1997


Google Acadêmico

Índices de citações	Todos	Desde 2012
Citações	3634	1841
Índice h	25	18
Índice i10	61	34




96

48




Paulo Helene

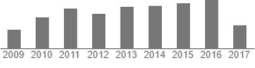
Prof. Titular Universidade de São Paulo. Diretor PhD Engenharia
concrete structures, concrete durability, concrete sustainability, concrete materials,
concrete pathology
E-mail confirmado em concretophd.com.br - Página inicial



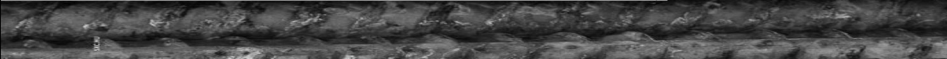
Google Acadêmico



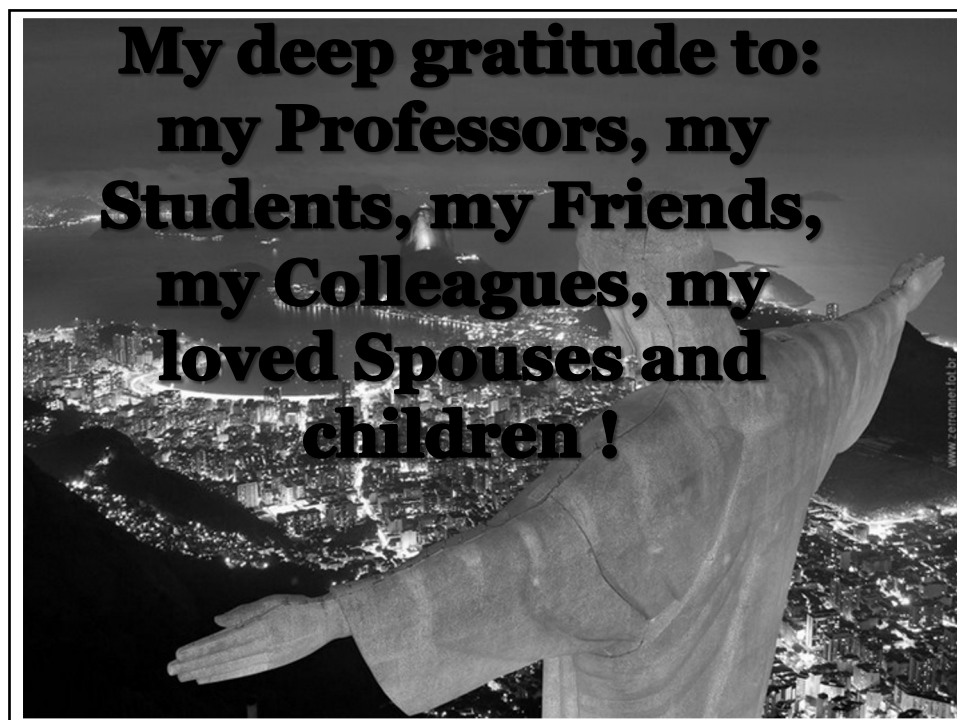
Índices de citações	Todos	Desde 2012
Citações	3634	1841
Índice h	25	18
Índice i10	61	34



Título	1-20	Citado por	Ano
Corrosão em armaduras para concreto armado		277 *	1993
PRL HELENE PINI / IPT 1, 45			
<input type="checkbox"/> Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development		274	2004
SM Levy, P Helene Cement and concrete research 34 (11), 1975-1980			
<input type="checkbox"/> Controle e garantia da qualidade na construção		153	1991
AG Meseguer Sindicato da Indústria da Construção Civil de Grandes Estruturas no Estado ...			
<input type="checkbox"/> Manual para Reparo, Reforço e Proteção das Estruturas de Concreto.		152 *	1992
PRL Helene Pini			
<input type="checkbox"/> Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption		120	2009
MHF Medeiros, P Helene Construction and building materials 23 (3), 1476-1484			



97



98



99



100