

SPPC | simpósio paranaense de
patologia das construções

Corrosão de Armaduras no Concreto *Conceitos, Inspeções e Casos*



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

UFPR

02 de junho de 2017

Curitiba/PR

1



2



3



4



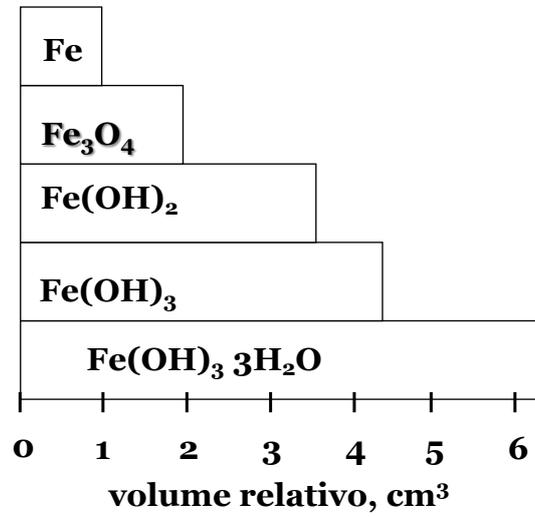
5

Corrosão das armaduras nas estruturas de concreto

- Corrosão é o problema patológico mais importante
- NACE estima que os custos anuais derivados da corrosão alcançam nos USA
U\$400 Bilhões!!!
- NACE estima que 25% a 30% desse custo deve ser atribuído à corrosão de armaduras

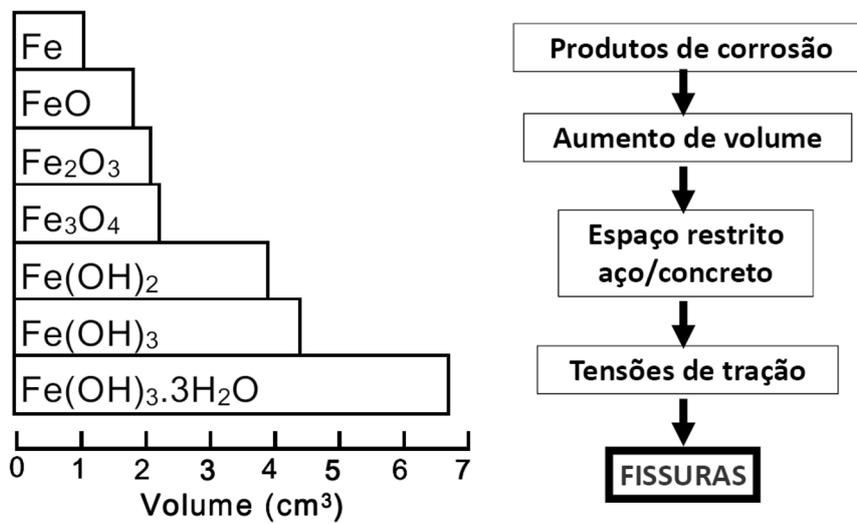
6

Produtos da Corrosão



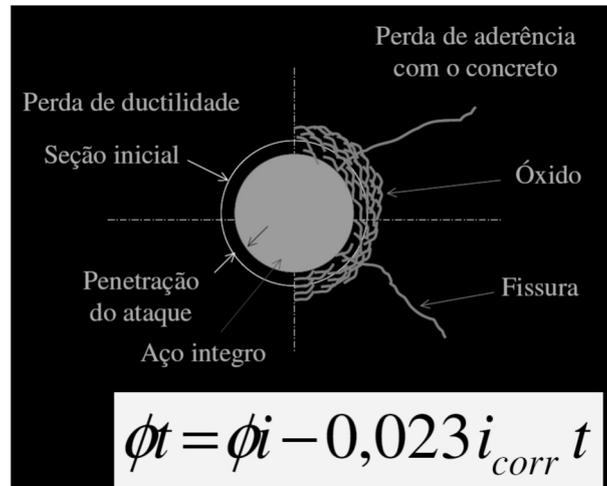
7

Corrosão da armadura



8

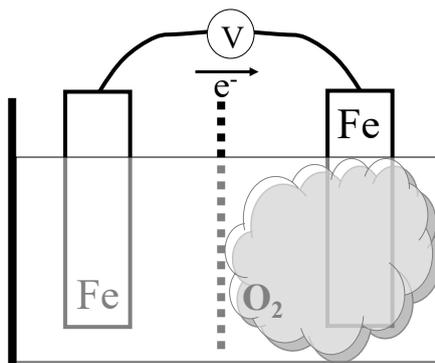
Consequências da corrosão de armaduras no comportamento estrutural



9

Corrosão de armaduras

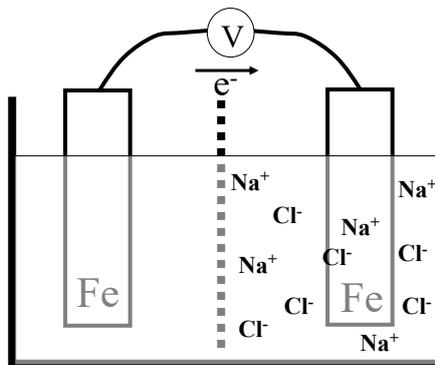
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Aeração diferencial



10

Corrosão de armaduras

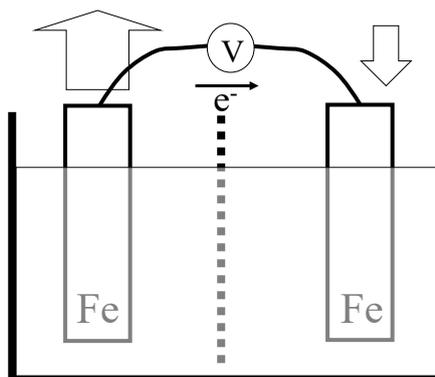
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Concentração salina diferencial



11

Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Tensão (energia) diferencial



12

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Eletrólito
 - U.R.=40% \implies 70 litros de água/m³
 - U.R.=70% \implies 95 litros de água/m³
 - U.R.=95% \implies 140 litros de água/m³

13

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Diferença de potencial (ddp)
 - Imperfeições na superfície da barra
 - Diferenças de:
 - Aeração
 - Umidade
 - Concentração salina
 - Tensão no aço

14

Corrosão de armaduras

- Condições para ocorrência no concreto
- Oxigênio + “água” → “ferrugem”



15

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo

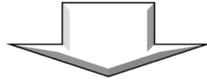


Mas não há corrosão !

16

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



Mas não há corrosão !



Passivação

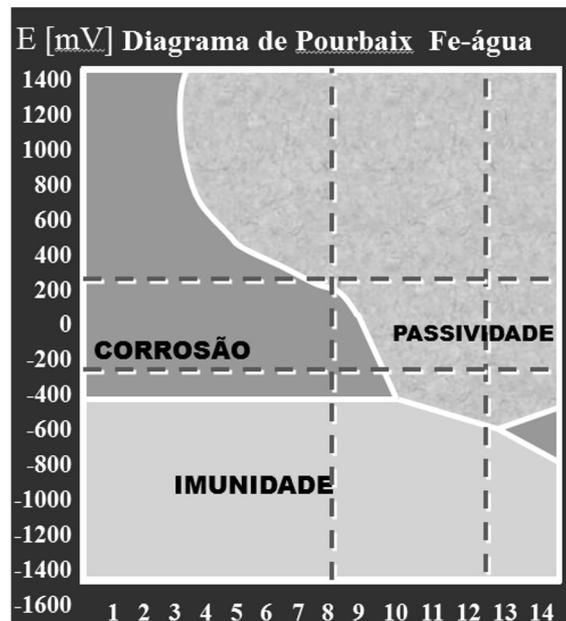
17

Passivação

- Película fina de um filme de óxido invisível, estável e aderente formado na superfície da barra
- Estado em que o aço se encontra no interior do concreto por ser um meio bastante alcalino ($\text{pH} > 12,1$)

18

Diagrama de Pourbaix



19

Perda de passivação

- Carbonatação do concreto
- Presença de íons cloreto
- Fungos, bolores
- Fissuras

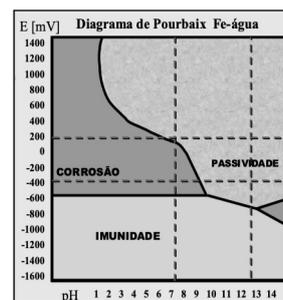
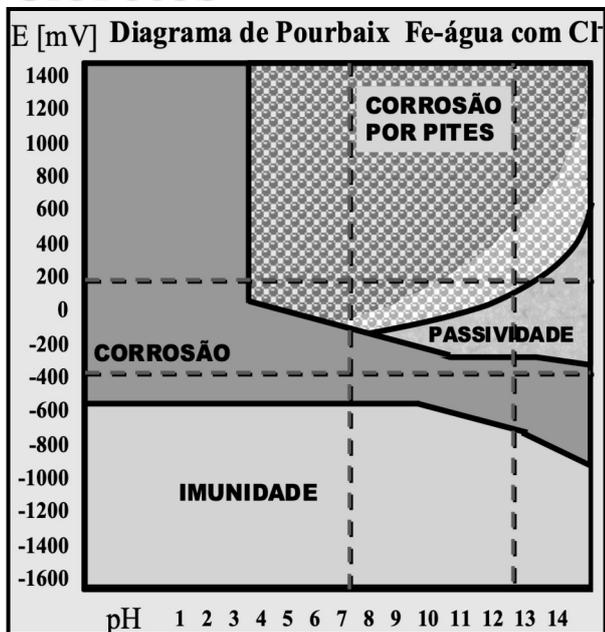
20

Cloretos

- Promove a despassivação precoce do aço, mesmo em ambientes muito alcalinos
- O teor crítico = 0,4% massa de cimento
- Origem dos cloretos no concreto:
 - Difusão de íons a partir do exterior (atmosfera marinha)
 - Aditivos aceleradores de pega (CaCl_2)
 - Uso de areia ou água contaminada
 - Tratamentos de limpeza (ácido muriático)

21

Cloretos



22



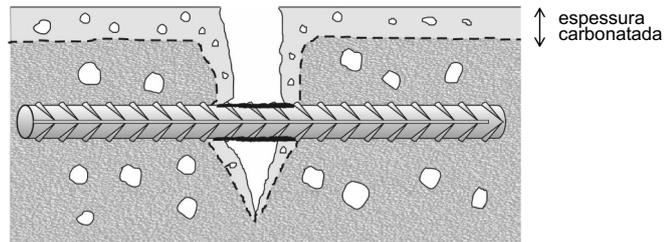
Ponte em Recife

23



24

Fissuração

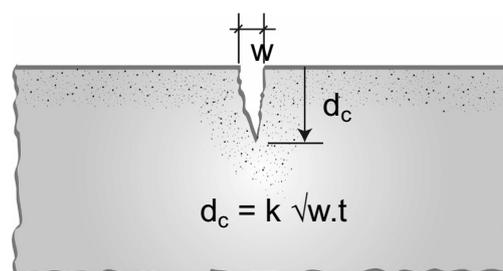


ABNT NBR 6118
 $\leq 0,3 \text{ mm}$ interiores

CEB
 $\leq 0,4 \text{ mm}$ tanto faz!

25

Carbonatação na fissura



Para dobrar d_c \Rightarrow $\begin{cases} w \times 4 \\ t \times 4 \end{cases}$

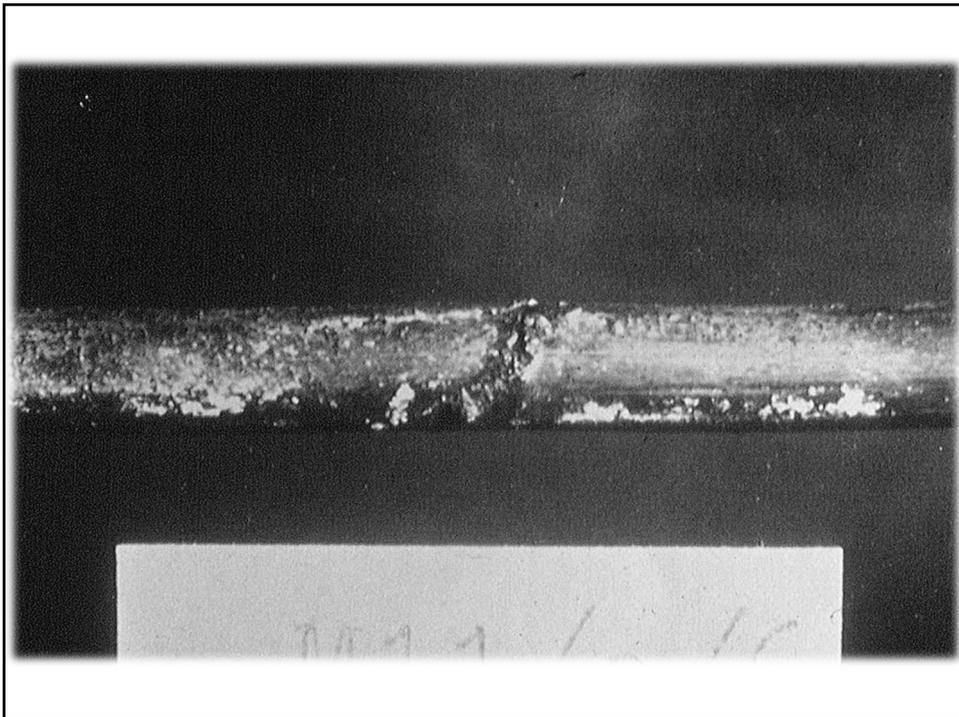
Para dobrar t \Rightarrow $\begin{cases} w : 2 \\ d_c \times \sqrt{2} \end{cases}$

26

Consequências

- cloretos
- carbonatação

27



28



29



30



31



32



33

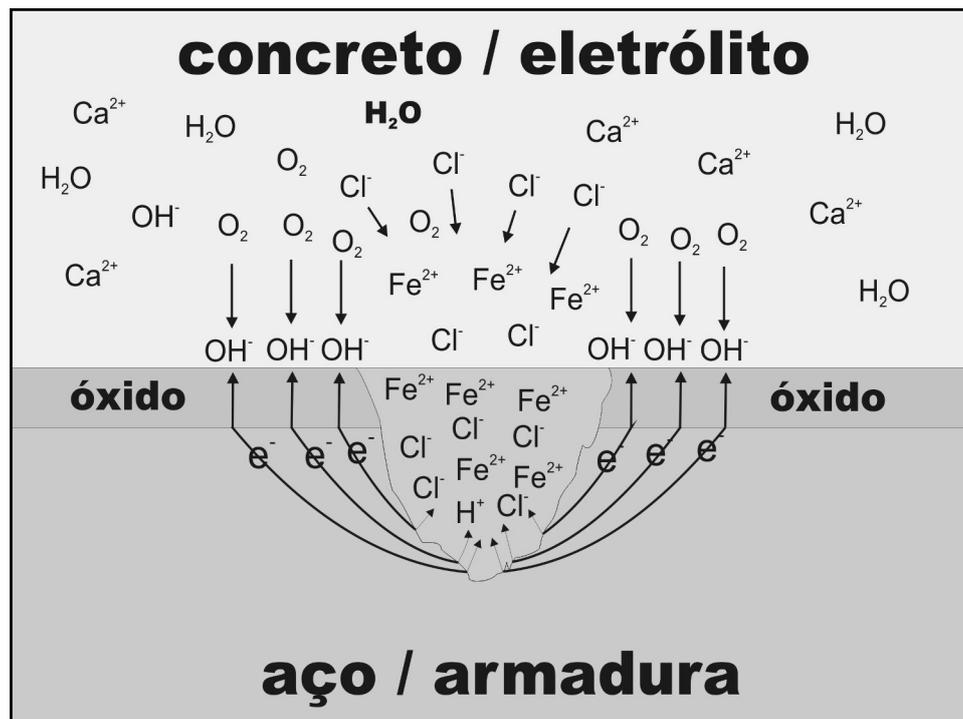
Cloretos

Carbonatação

34

Cloretos

35

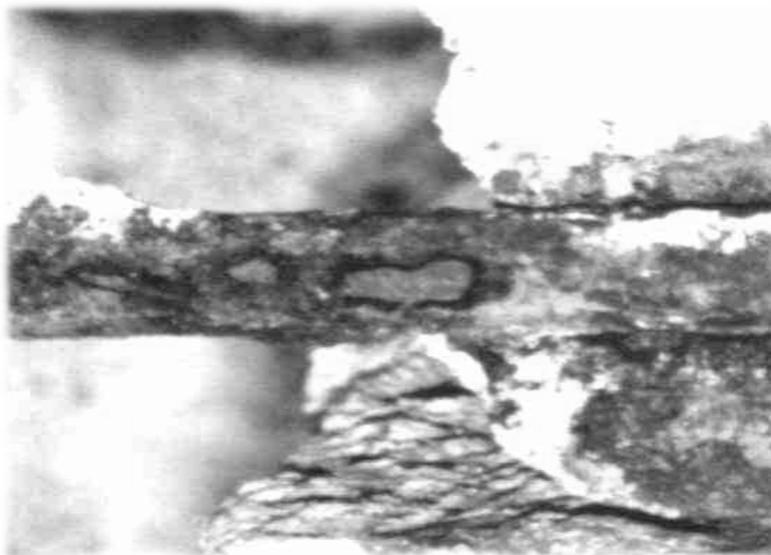


36



37

Corrosão de armaduras

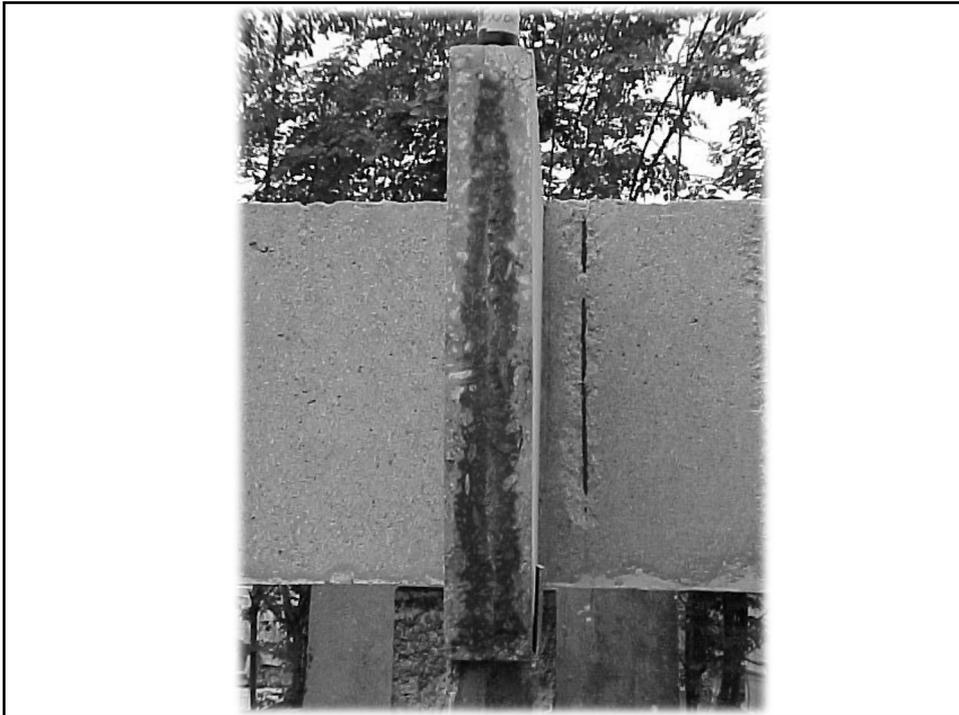


Corrosão por cloretos (pites)

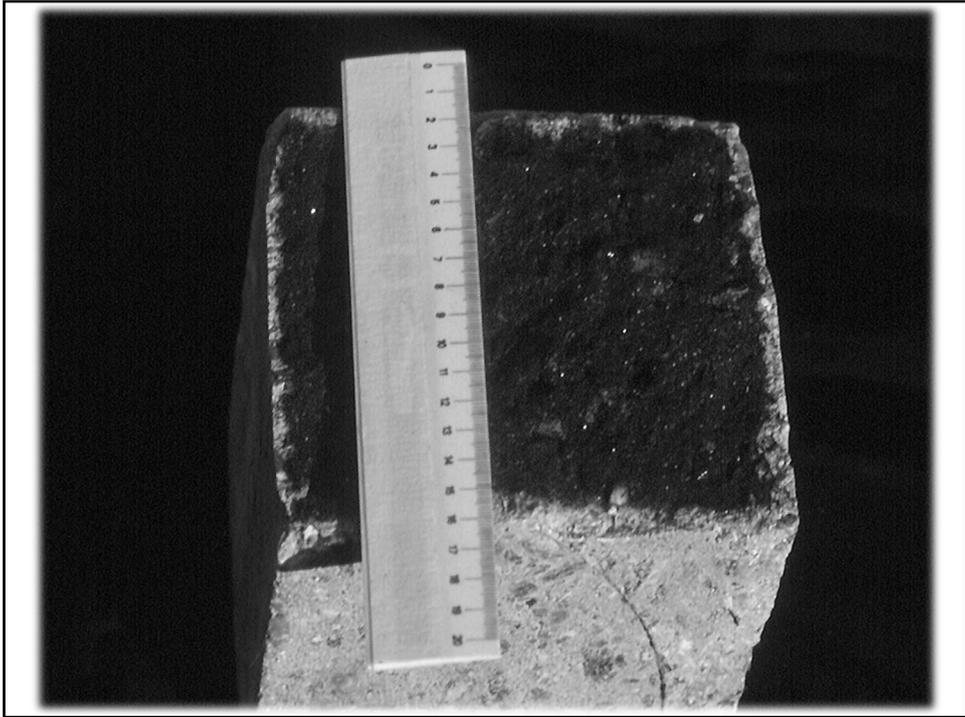
38

Carbonatação

39



40

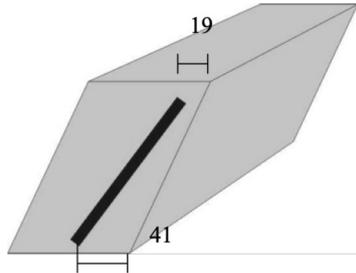


41



42

Corrosão de armaduras

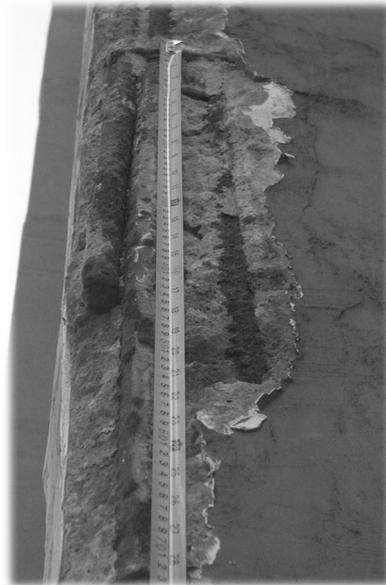


➤ Influência do cobrimento



43

Corrosão de armaduras



44



45

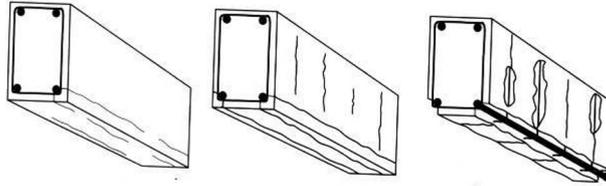
**Corrosão de
armaduras**

Exemplo típico



46

Corrosão das armaduras



Fissuras paralelas da direção dos esforços principais
 $\varnothing \leq 2\%$

Fissuras paralelas da direção dos esforços principais e estribos
 $2\% \leq \varnothing \leq 5\%$

Desprendimento do cobrimento de concreto com exposição da armadura
 $\varnothing \geq 5\%$

Representação esquemática das manifestações patológicas tipicamente observadas em vigas de concreto afetadas por corrosão

47



48



49



50



51



52

**Qual é o
Problema?**

**Atende ou
não à norma?**



53

Fissuras

CAUSA

CONSEQUÊNCIA

54

ELS – Estado limite de Serviço (ABNT NBR 6118 itens 10.4/16.2.4)

Devem ser verificados:

- **Deformações excessivas** (item 13.3); (1/250 a 1/750);
- **Fissuração** (item 13.4); w_k (0,4mm; 0,2mm);
- **Vibração excessiva;**
- **Outros ????????**.

57

diretrizes

Mecanismos de envelhecimento

Relativos à estrutura:

regra dos 4C

- Compactação ou adensamento
- Cura efetiva
- Composição ou traço do concreto
- Cobrimento

60

critérios

Estrutura

- a) prever drenagem eficiente;
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- d) garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- e) detalhar adequadamente as armaduras;
- f) controlar a fissuração das peças;
- g) prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas; e
- h) definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.

61

Dimensionamento

Vida Útil

ambiente de agressividade forte classe IV

35 MPa



6 cm

ACI 318

40 MPa



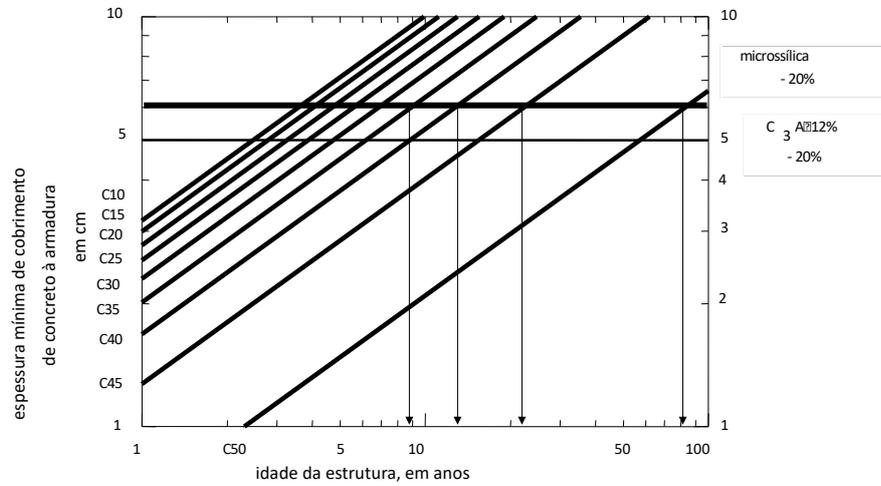
5 cm

ABNT NBR 6118

62

comentários

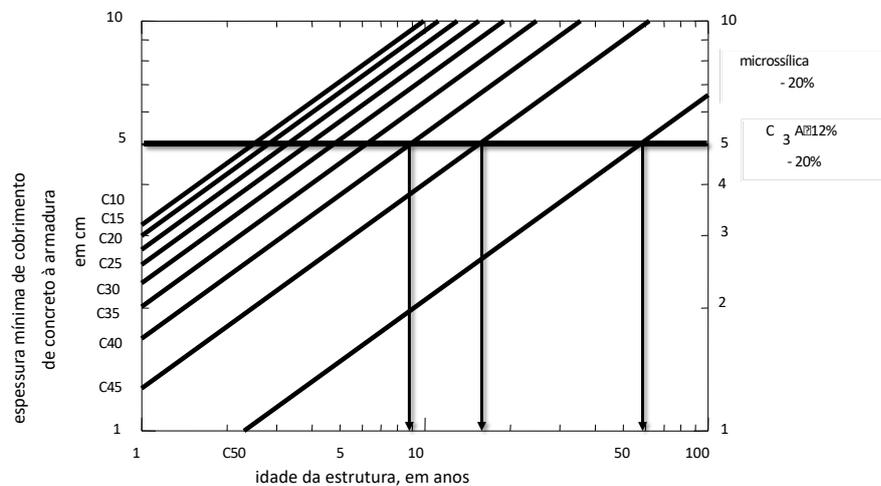
Difusão de cloretos em faces externas de componentes estruturais de concreto expostos à zona de respingos de maré



63

comentários

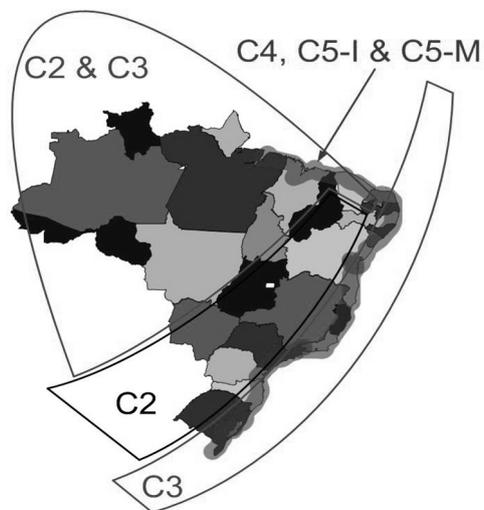
Difusão de cloretos em faces externas de componentes estruturais de concreto expostos à zona de respingos de maré



64

Galvanização por imersão a quente

Taxa de corrosão do zinco e do aço carbono



65

Galvanização por imersão a quente

Categoria de corrosividade	Taxa média anual de corrosão do zinco (um/ano)	Taxa média anual de corrosão do aço carbono (um/ano)
C1 interior: seco	<0,1	<1,3
C2 interior: condensação ocasional exterior: rural	0,1 a 0,7	1,3 a 25
C3 interior: alta umidade, pouca poluição no ar exterior: interior urbano ou costa urbana	0,7 a 2,1	25 a 50
C4 interior: piscinas, plantas químicas exterior: interior industrial ou costa urbana	2,1 a 4,2	50 a 80
C5 exterior: industrial com alta umidade ou alta salinidade costal	4,2 a 8,4	80 a 200

66

Museu Iberê Camargo

Obra realizada em concreto branco, em Porto Alegre, RS.
As barras retas foram comuns enviadas diretamente à galvanizadora e após galvanizadas foram enviadas ao canteiro da obra onde receberam corte e dobra.



67

Museu Iberê Camargo

A escolha do vergalhão galvanizado se deu por motivos estéticos, além dos motivos de maior durabilidade e segurança. Como o recobrimento foi feito em concreto branco, o arquiteto não queria que o concreto ficasse com manchas de ferrugem. Inaugurado em 2008, o museu apresenta, 5 anos depois, uma fachada intacta, sem nenhum sinal de corrosão.



68

Armadura Galvanizada a quente

Museu MAR

A laje de cobertura do museu, que tem forma de onda, é feita com armaduras galvanizadas. As barras retas foram entregues diretamente na galvanizadora.

O corte e dobra das armaduras foi feito na obra após a galvanização. O adicional no prazo de entrega das armaduras foi de 4 dias.



69

Riscos nas Inspeções de Rotina

ou

Manutenção e risco de perdas de vidas humanas

70

Edifícios de Escritórios

São Paulo

Vistoria

23 anos

$f_{ck} = 18$ MPa

Custo = 3 andares novos completos

Eng. de manutenção na prisão

71

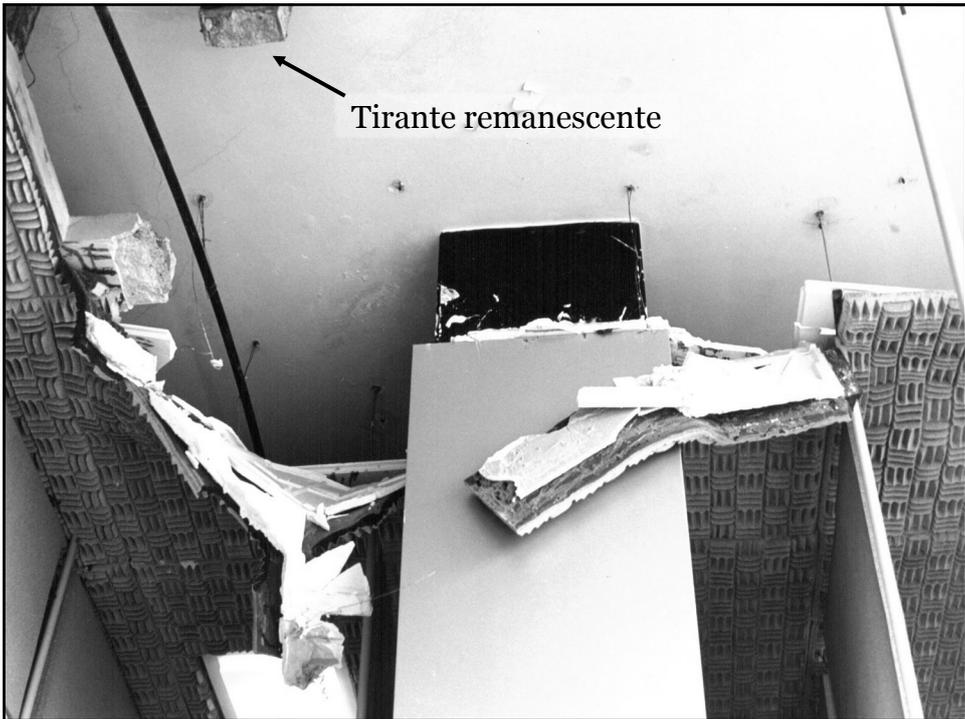
Acidente

Colapso de parte da estrutura de uma laje suplementar no último andar de um edifício situado na cidade de São Paulo.

72

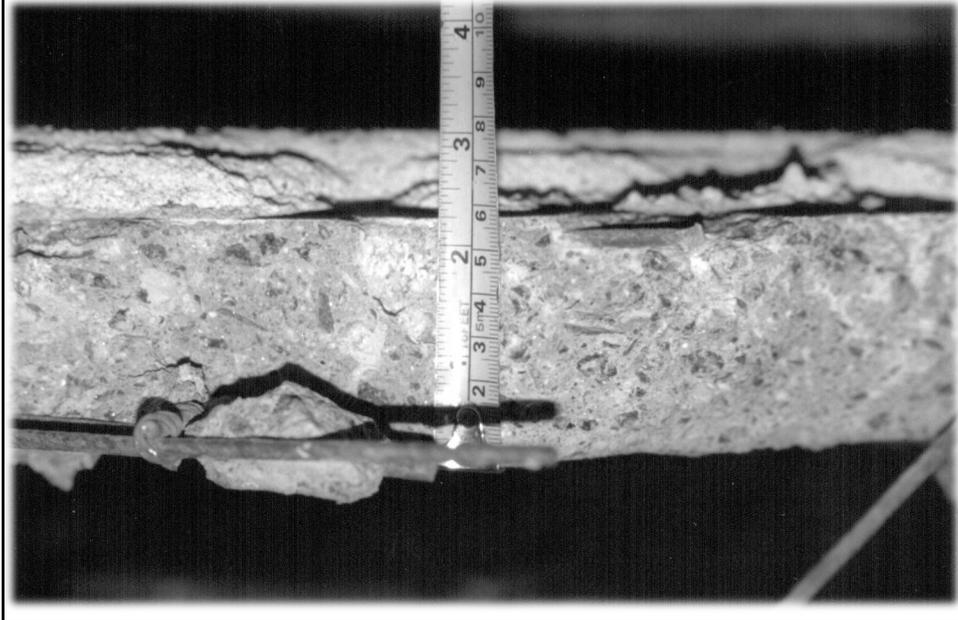


73

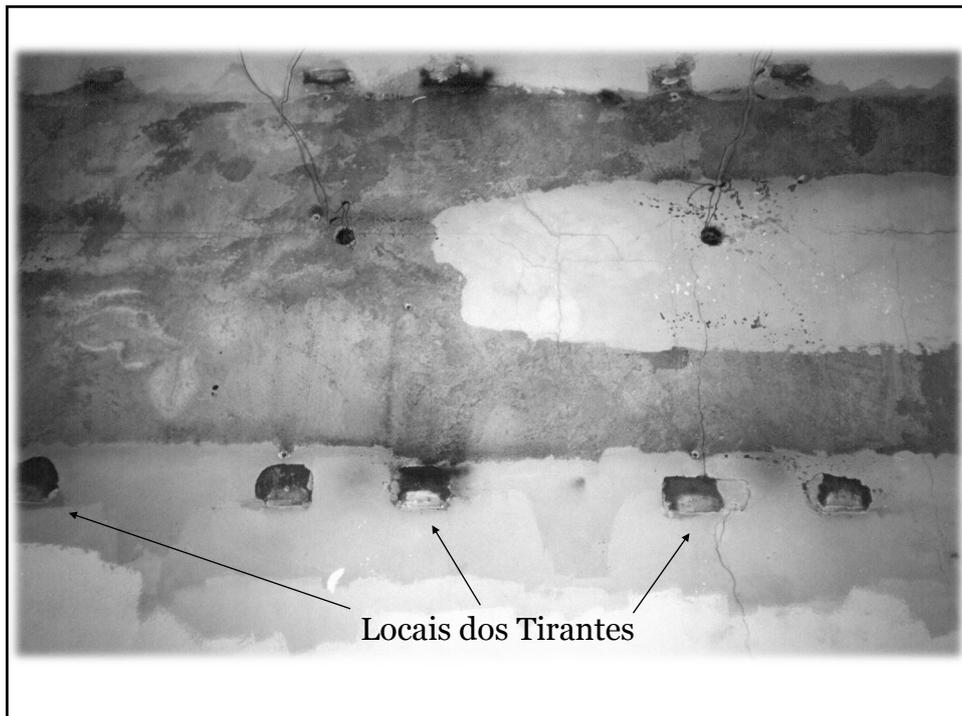


74

espessura da laje complementar



75



Locais dos Tirantes

76

O Problema Patológico

Corrosão das armaduras dos tirantes (pendurais) de sustentação da laje suplementar, construída em concreto armado.

Ruptura frágil sem aviso !

77

Hipóteses para a ocorrência do problema

1. Falta de manutenção permitindo o aparecimento de infiltrações que atacaram as armaduras ?
2. Problemas executivos durante o processo de construção das lajes suplementares (agravante)?
3. Solução técnica incompatível com as condições necessárias para estabilidade e durabilidade da estrutura, apesar de não infringir as normas da ABNT ?

78

Ensaaios realizados

- **Teor de cloretos;**
- **Dureza superficial por esclerometria;**
- **Resistividade iônica superficial;**
- **Profundidade de carbonatação;**
- **Potencial de corrosão;**
- **Velocidade de corrosão.**

79

Verificação das hipóteses

1. Falta de Manutenção → Infiltrações:

- **Em levantamento visual, verificou-se “*in loco*” a existência de infiltrações na região sinistrada;**
- **Algumas fissuras na laje de cobertura continuavam com umidade;**
- **O piso da laje de cobertura encontrava-se em bom estado de conservação;**
- **A piscina de resfriamento do ar condicionado encontrava-se em bom estado visual.**

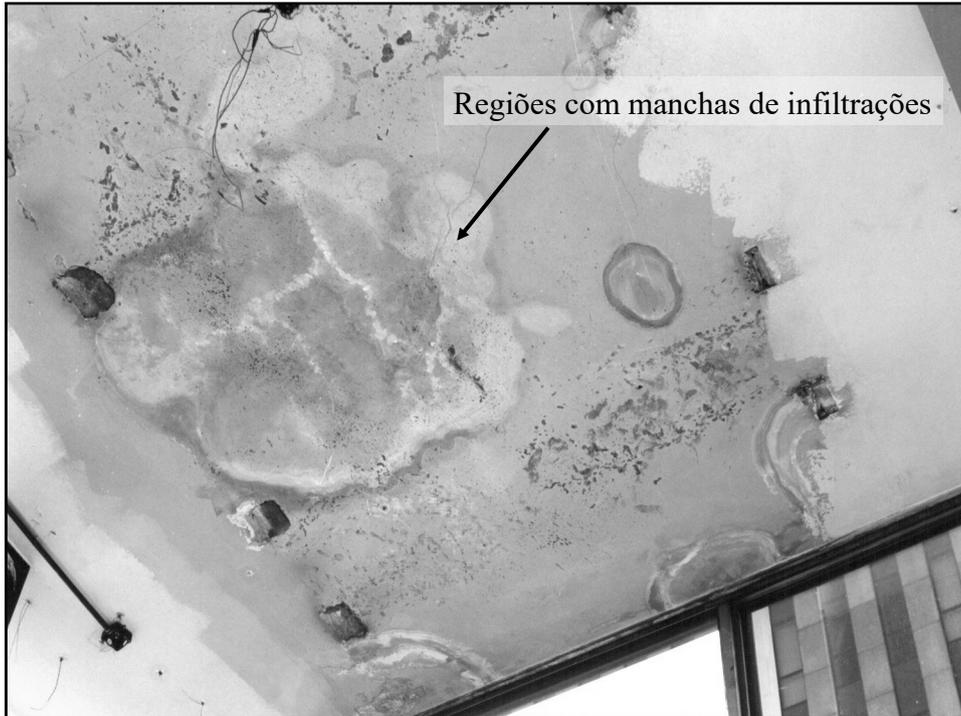
80



81



82



83



84

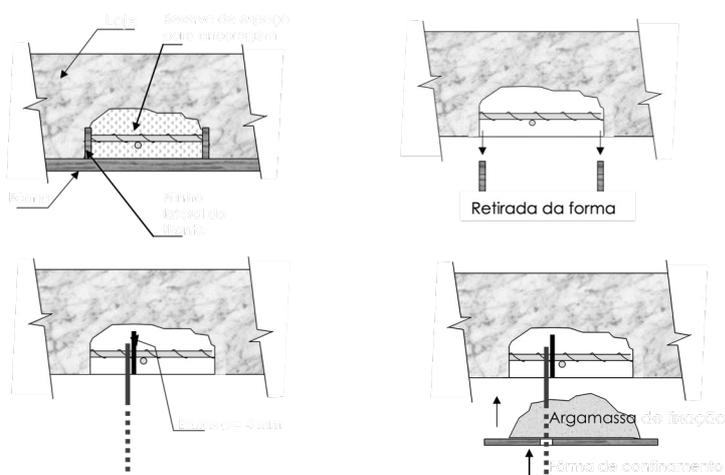
Verificação das hipóteses

Problemas executivos:

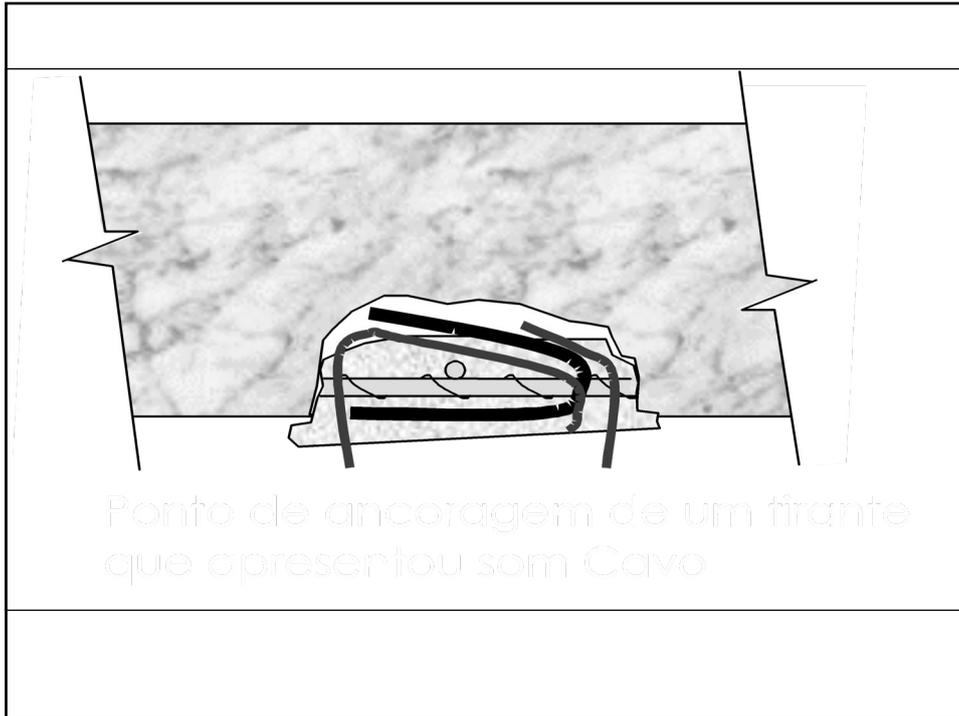
Sistema construtivo não convencional com dificuldades operacionais para confecção e fixação dos tirantes das lajes suplementares, à laje da cobertura, propiciando a existência de deficiências na região de contato tirante/lajes.

85

Sequência provável de execução dos tirantes



86



87



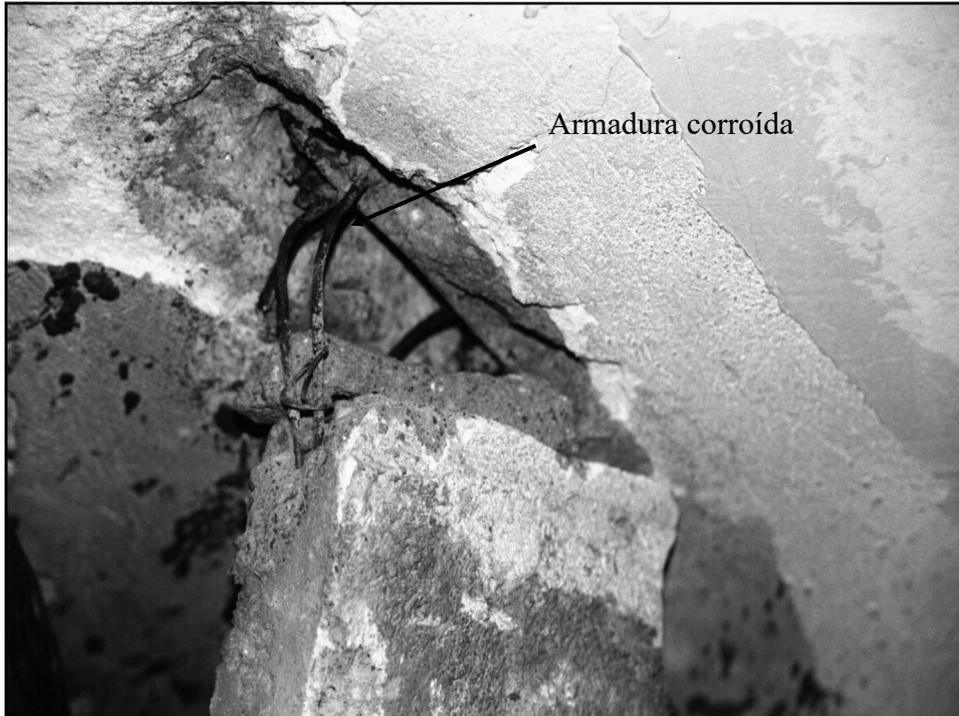
88



89



90



91

Verificação das hipóteses

3. Solução técnica inadequada do ponto de vista da durabilidade

No dimensionamento dos tirantes de concreto, foi considerada apenas a capacidade portante da armadura, para suportar (sem romper) o peso da laje suplementar.

92

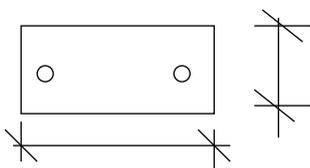
No dimensionamento de tirantes de concreto armado, a ABNT NBR 6118 e as normas anteriores que a antecederam recomendam a verificação de duas condições de segurança :

- Segurança contra o colapso da peça;**
- Segurança contra a fissuração nociva (*durabilidade*).**

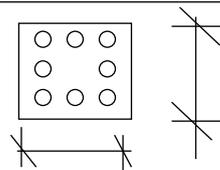
Em local protegido no interior das edificações, a abertura característica de fissura ELS pode chegar a 0,3mm, o que conduz a um número menor de barras para suportar a carga da laje suplementar

93

**Situação encontrada
no caso em questão**



**Situação aconselhável
redundância**



94

A experiência recomenda que o cálculo de tirantes de concreto armado, leve em conta o enorme risco de corrosão localizada das armaduras com conseqüente ruptura frágil (sob tensão).

Requer a utilização de um número maior de barras de aço aumentando-se a seção de armadura, e, assim, reduzindo-se a deformação das barras e as fissuras dela decorrente.

95

Lições

- **Atenção ao elaborar laudos técnicos em estruturas que sofreram modificações ou reformas:**

ASSUMINDO RESPONSABILIDADES

....

- **Quando executar obras de reforma que interferirem com a estrutura, mesmo que sejam apenas para fixação de materiais de acabamento, elaborar um documento contendo todas as modificações inseridas.**

96

Edifício de escritórios

Brasília

97

Edifício Escritórios

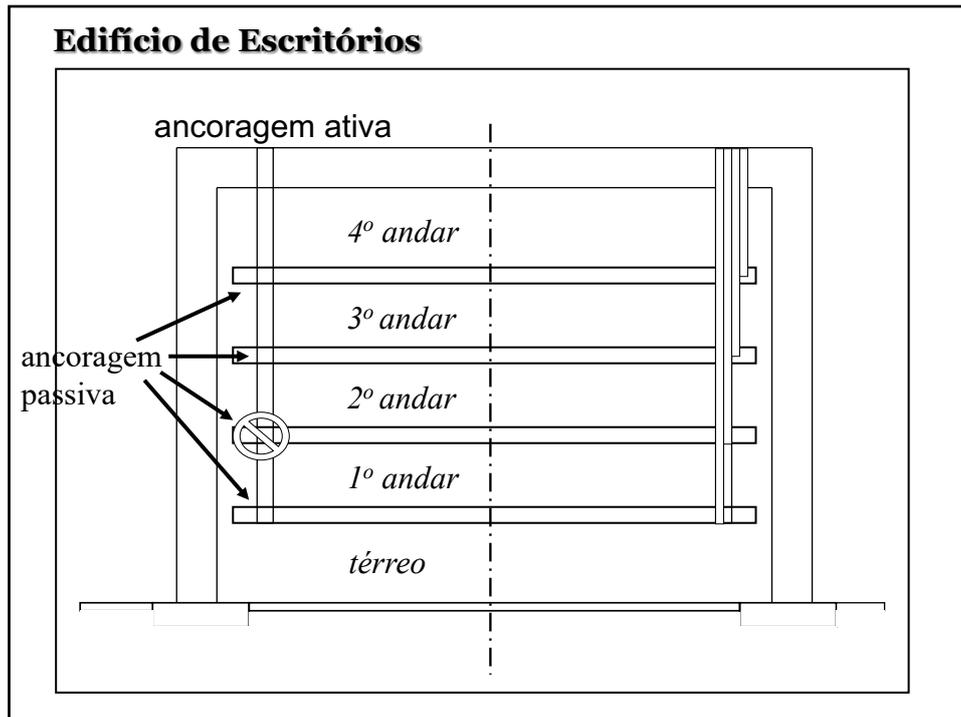
Brasília

4 anos → escritórios $f_{ck} = 30$ MPa

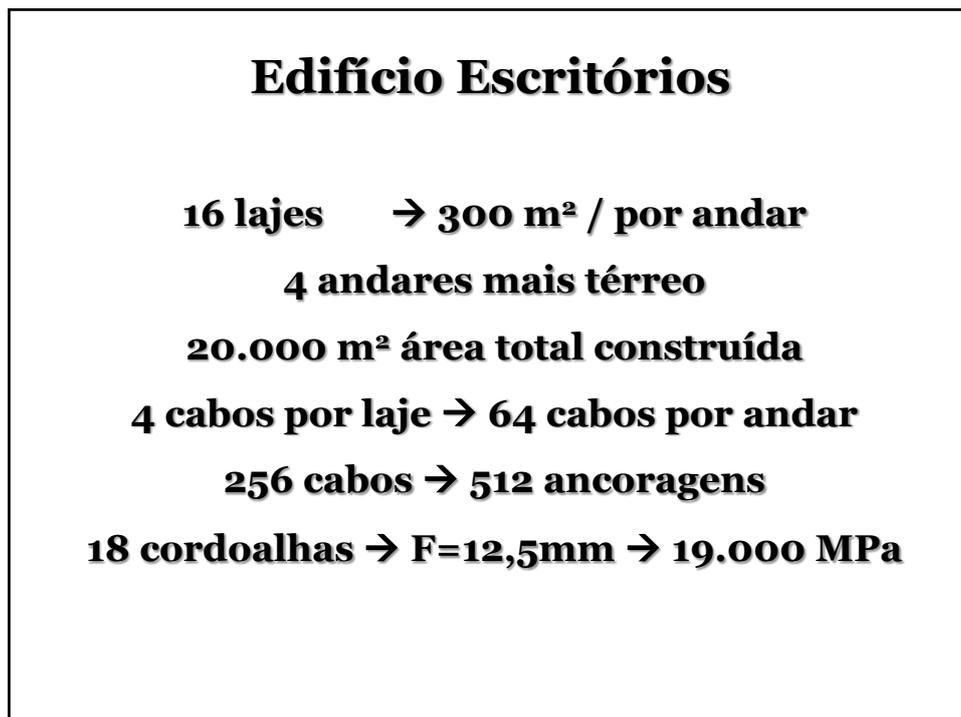
**um cabo colapsa → estrondo seco
→ a laje inclina**

**→ mesas e cadeiras escorregam
→ usuários correm muito assustados
→ grande preocupação com o estante**

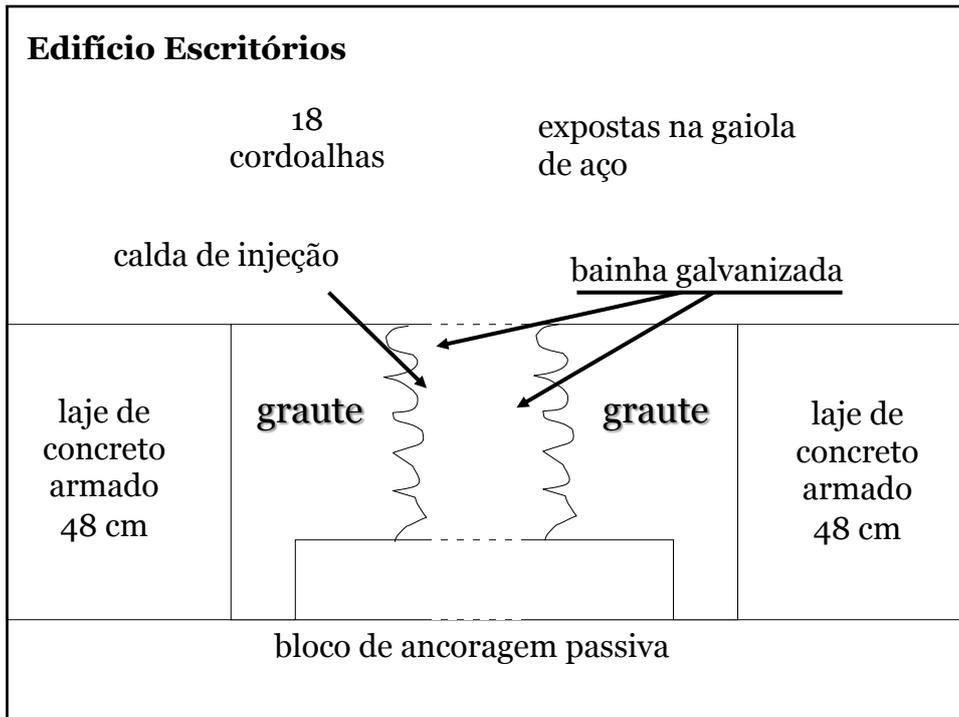
98



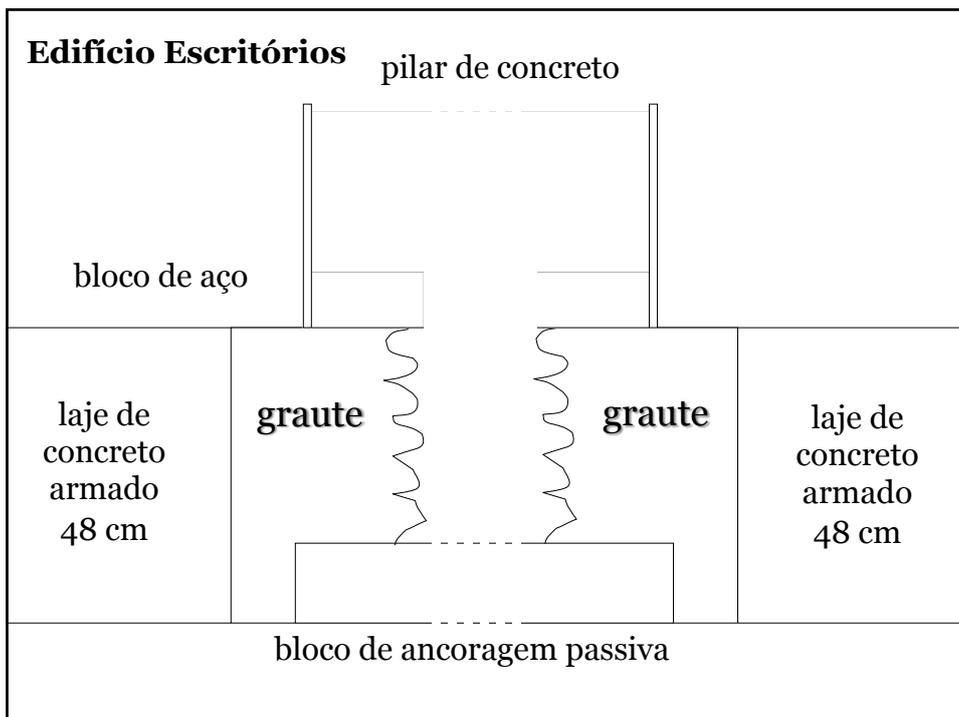
99



100



101



102

Edifício Escritórios

Inspeção e Diagnóstico

- 14 ancoragens passivas inspecionadas
- $i_{corr} = 2,25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (real, perda massa)
- 36% extensão da corrosão ~ 2,5 cm
- 1 já mostrava 2 cordoalhas rompidas
- $i_{coor} \rightarrow 0,01$ a $1,96 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (medida)
- $E_{coor} \rightarrow -50$ MV a -400 mV
- $\text{Cl}^- \rightarrow 0,06\%$ no concreto e $0,54\%$ no graute

103

Edifício Escritórios

Conclusão e Solução

**Alto risco de
corrosão em
todas as
ancoragens**

**Troca de
todas as
ancoragens**

**Projeto errado
Materiais
inadequados
(com Cl^-)**

**\$ 9,5 vezes
o custo
inicial**

104

Marquises

Rio de Janeiro,
Porto Alegre,
São Paulo,
Recife,
Salvador...

105

Que processo a... leis de execução penal e de economia popular. Com as alterações, acaba a lei Fleury, que permitia aos réus primários responder processo em liberdade. Página 4

Os par... do Departamento Nacional de Produção Mineral. Ontem, o presidente José Sarney resolveu conceder-lhes um reajuste salarial entre 95% e 120%. Página 23

... será permitido o registro de candidaturas veiculadas por tribunais regionais porque a Constituição anterior fixava um prazo de um ano para o domicílio eleitoral.

... não precisarão cumprir o limite do tabelamento dos juros de 12% ao ano imposto pela nova Constituição. O Banco Central emitiu ontem uma circular estabelecendo que, en-

... quanto não sair a lei regulamentadora do sistema financeiro, continuarão a valer as normas atuais. O esclarecimento foi feito depois que o presidente José Sarney aprovou o parecer do consultor-geral da República, com o qual o projeto foi publicado hoje. Em consulta a uma posse data nimo.

Agricultura e Saúde brigam pelos dietéticos

Os refrigerantes dietéticos são disputados por dois ministérios. O da Saúde publica hoje no Diário Oficial uma liberação para o comércio, pela Antártica e pela Coca-Cola. O da Agricultura avisa: mandará apreendê-los. Página 24

Bom tempo para viajar no feriado

Quem vai passear no fim de semana pode contar com bom tempo. Os bancos fecham hoje e só reabrem terça. Os postos de gasolina estão liberados para funcionar domingo e segunda. Página 13

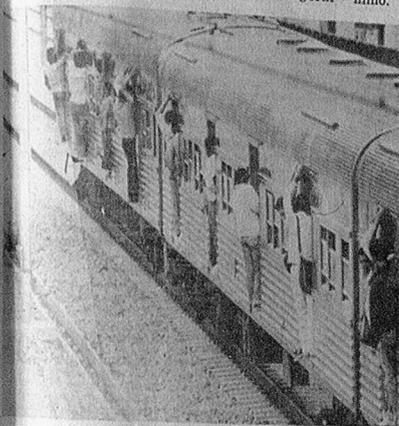
TURISMO

Boston é conhecida pela Universidade de Harvard, a mais tradicional dos Estados Unidos, e a tonalidade vermelha de seus prédios. Mas a capital de Massachusetts, na região da Nova

Marquise cai e mata nove em Porto Alegre

Nove pessoas morreram, entre as quais uma criança, dez ficaram gravemente feridas e outras 30 sofrem escoriações leves com o desabamento, ontem à tarde, da marquise da Loja Arapuá, no centro de Porto Alegre, na rua Doutor Flores. No momento do acidente, muitas crianças estavam na frente do prédio, recebendo doces de funcio-

nários, numa promoção da loja. O estrondo provocado pela queda das lajes de concreto espalhou o pânico entre as pessoas que passavam, dificultando o trabalho do Corpo de Bombeiros de remoção das vítimas. Técnicos do Instituto de Criminalística da Polícia Civil estiveram no local, mas o resultado da perícia ainda demorará dias. Página 14



O deslizamento da CBTU entre Jundiá e Paranapiacoba: o perigo, a violência e

Para PM, fogo no trem foi planejado

A Polícia Militar acredita que o incêndio do trem da CBTU na quarta-feira tenha sido uma ação premeditada. nos-

Notas e Informações

Apesar de todo o autoritarismo e de todo o temor que parecia inspirar, o governo do general Augusto Pinochet realizou um plebiscito livre e

CADERNO 2

Cícero Dias fala de pintar e viver

Aos 82 anos de idade e 60

46

Mais o Supl
Cidade...
Cidade e Tercel
Classificados...
Comportamento...
Corrupção...
Economia...
Educação...
Espaço...
Esportes...

106

Mancha de lama invade a lagoa Rodrigo de Freitas, depois da chuva que atingiu o Rio durante a madrugada e a manhã de ontem

Marquises desabam e matam 2 no ABC

O desabamento ontem à tarde de duas marquises de um prédio no centro de São Caetano do Sul (SP) matou duas pessoas que passavam pela rua e deixou outras duas feridas. As causas do acidente ainda são desconhecidas. Laudo deverá ficar pronto em 15 dias.

No Rio, uma mulher morreu e três pessoas ficaram feridas no desabamento de duas casas no Andaraí (zona norte), após temporal ontem de manhã.

A chuva, que começou de madrugada, parou a cidade. Houve congestionamentos de até 20 km devido ao alagamento de vários acessos ao centro.

Para o prefeito Luiz Paulo Conde (PEL), que decretou estado de alerta, "os mesmos lugares que enchem enchiam há 180 anos". São Paulo

FERNANDO RODRIGUES da Sucursal de Brasília
O deputado Sérgio Naya (sem partido-MG) mudou de ideia e tentará voltar ao PPS. Advogados o convenceram de que sua expulsão foi irregular. Responsável pelo prédio que ruiu no Rio, ele é acusado de falta de decoro e pode ter o mandato cassado — processo contra o qual Naya também resolverá. Pág. 3-8

brasil
Opinião da Folha
"Leia os editoriais "Difícil simonia fina", sobre entrada de capitais; "Demagogia e justiça", sobre o caso do Palace; e "Piratas nas estradas", acerca do roubo de cargas. Pág. 1-2

Campanha começa com pichações
Pág. 1-8

INDICE	
Brasil	3,6
Argentina	1,11
Bélgica	1,0
Canadá	1,0
Chile	1,0
Colômbia	1,0
Costa Rica	1,0
Equador	1,0
El Salvador	1,0
Estados Unidos	1,0
Guatemala	1,0
Haiti	1,0
Honduras	1,0
Índia	1,0
Japão	1,0
Paraná	1,0
Peru	1,0
Portugal	1,0
Uruguai	1,0
Venezuela	1,0
Brasil	3,6
Argentina	1,11
Bélgica	1,0
Canadá	1,0
Chile	1,0
Colômbia	1,0
Costa Rica	1,0
Equador	1,0
El Salvador	1,0
Estados Unidos	1,0
Guatemala	1,0
Haiti	1,0
Honduras	1,0
Índia	1,0
Japão	1,0
Paraná	1,0
Peru	1,0
Portugal	1,0
Uruguai	1,0
Venezuela	1,0

DESTRUÇÕES
Destroções das duas marquises de 30 metros de comprimento que desabaram da fachada de loja no centro de São Caetano do Sul

GUIA DA FOLHA SP
186 bares
300 restaurantes
54 filmes

107

DESTRUÇÕES

Marquise esmagou um bancário de 23 anos

A peça de concreto tinha o peso de quatro toneladas

Por **ULISSES ALMEIDA NENE**
Edição de Política 271

Várias falhas na construção da marquise do prédio do Lloyd's Bank International acabaram causando a morte de uma pessoa e ferimentos em outra, no início da manhã de ontem, no centro de Porto Alegre. A marquise, com 12 metros de extensão, dois de largura e 82 centímetros de espessura e pesando quatro toneladas, desabou e esmagou o bancário Júlio César Machado Camargo, 23 anos, que ainda chegou a ser socorrido por PMs e populares, mas morreu a caminho do Hospital de Fronteiras. Felício José de Fronte, 27 anos, residente em Novo Hamburgo, escapou por pouco. Ele sofreu escoriações nos braços e nas costas, ao ser atingido de raspão pelo concreto. Felício foi medicado no HPS e liberado, informou o inspetor Laudelino, do plantão policial do hospital.

Uma bomba
A tragédia só não foi bem maior porque o movimento na Rua General Câmara, onde está localizado o banco, ainda era pequeno às 10h30. Naquela área, estão concentrados vários bancos e Júlio César trabalhava no Bradesco, como gerente do Posto de Serviços das Tintas Tenner, na Asa Sul. Ele estava caminhando para o Bradesco da General Câmara, onde participaria de uma reunião de trabalho, quando foi atingido pela marquise do prédio número 249 do Lloyd's Bank.

O bancário Felício José Dupont, 27 anos, presenciou o fato. Ele seguiu para o Banco Mercantil caminhando pelo meio da rua, segundo afirmou, para evitar as guard-chuvas das pessoas que transitavam pelas calçadas. Nem bem ele passou em frente ao Lloyd's e ouviu o estrondo, como uma bomba. Apavorado, viu as quatro toneladas desabarem no chão. Logo ele e as pessoas que se aglomeraram no local notaram que havia alguém entalado na marquise. Quando perceberam que o rapaz estava vivo e popular, uma trilha, fazendo muita força conseguiram sugar um pouco de concreto e retirar Júlio César. "Por mais

o dole mestros ele teria se salvado", comentou Felício, explicando que Júlio foi atingido pela ponta da marquise. A agência para onde ele ia fica ao lado do Lloyd's. Júlio César foi carregado pelo soldado PM Moacir da Silva e Felício para a viatura 416 e transportado nela para o HPS. Mas, quando a viatura tomava a Avenida Osvaldo Aranha em direção ao hospital, Felício percebeu que ele expirou. O rapaz teve o crânio esmagado, várias costelas quebradas e seu rosto foi cortado pelo letreiro de ferro do banco. Ele era casado e deixa a esposa grávida de seu primeiro filho.

Até às 10h ainda havia a expectativa de que houvesse mais pessoas mortas sob os escombros. Doze bombeiros, em três viaturas do 1º Grupamento de Incêndios, comandados pelo Tenente Medeiros, compareceram no local para removerem a marquise demolida, um trabalho vagaroso que levou quase toda a manhã para ser concluído.

Perícias
Abalado e bastante nervoso, o gerente do Lloyd's Bank International, Alan Davidson, concedeu uma entrevista à imprensa. As 10h, ele explicou que pertencem ao banco seis dos quinze andares do prédio, que foi construído em 1974. Os funcionários da agência foram dispensados e o gerente informou que já estão sendo procuradas instalações provisórias para o Lloyd's e que uma equipe especializada do próprio banco fará uma avaliação da atual sede para determinar as condições em que se encontra. Alan não soube informar quem são os responsáveis pela construção do edifício.

Vários engenheiros e técnicos se dirigiram ao prédio para ver o que tinha acontecido.

Engenheiro e Arquiteta (CREA), Luis Fernando Odeiro, 30 anos, e Luis Augusto Ercole, 36 anos, fizeram um levantamento técnico dos escombros. Segundo eles, para um processo administrativo que a entidade moverá para apurar as responsabilidades pelo desabamento. Porém não quiseram adiantar qualquer conclusão.

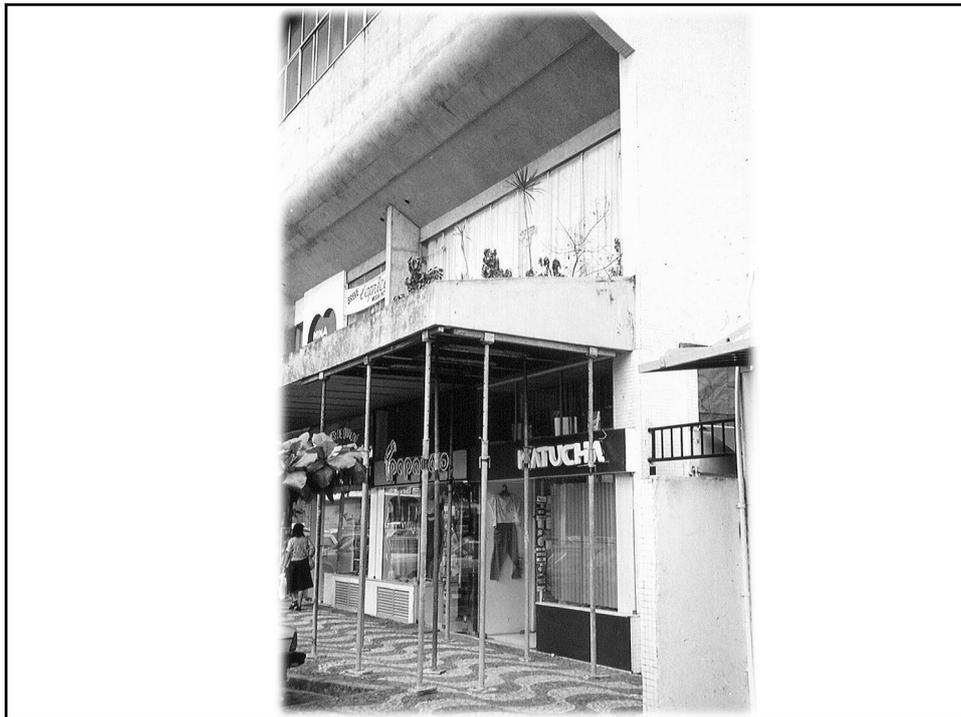
Já Romeu Fachin, da Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV), disse que os técnicos da Secretaria estavam ali apenas fazendo "uma verificação", nada para fins de inquérito ou processo. Mas, juntamente com diversos colegas à sua volta, enumerou várias falhas que, numa rápida averiguação, puderam ser constatadas: "O cascalho utilizado na marquise é muito estranho; a ferragem, muito fina, está distribuída de maneira inadequada; há sobrecarga de enchimento; e é quase certo que as tubulações de escoamento d'água estejam entupidas". Por isso, o engenheiro da SMOV acredita que as chuvas que caíram

GUIA DA FOLHA SP
186 bares
300 restaurantes
54 filmes

108



109



110

PERIGO 2 Prefeitura diz que só vistoria prédios quando vai conceder Habite-se; polícia procura o proprietário do imóvel

Falta de ferragens pode ter causado queda



Área interditada em calçada do centro de São Caetano com parte da marquise que desabou de prédio comercial, matando duas pessoas ontem

da Reportagem Local

As causas do desabamento das marquises da loja Out-Let ainda são desconhecidas. O Instituto de Criminalística fará uma pericia no local. O laudo deve ficar pronto em 15 dias.

Para o engenheiro José Galvão, da Defesa Civil, numa primeira análise, as marquises tinham ferragens insuficientes para o peso delas e apresentavam umidade. "O prédio apresenta uma idade de 50 anos".

Na avenida Conde Francisco Matarazzo, onde ocorreu o acidente, a prefeitura está fazendo obras para criar uma espécie de canteiro de 24 horas.

Alguns vizinhos e funcionários da loja suspeitam que as obras possam ter influido no acidente. "O prédio vibrava sempre que as britadeiras trabalhavam na rua", disse a balconista da Out-Let Miriam Dávila dos Santos.

O diretor de Obras da Prefeitura de São Caetano, Homar Darroqui, afirma que as obras não tem

nenhuma relação com o acidente. "As obras foram até ditas, pois se a avenida não estivesse parcialmente interditada, mais pessoas poderiam estar passando sob as marquises no momento do desabamento", disse.

Segundo Darroqui, que interditou o prédio ontem, a prefeitura só vistoria as obras para concessão do Habite-se.

O diretor afirmou ainda que essa vistoria não avalia condições de segurança da estrutura. "Isso é de responsabilidade do engenheiro que faz a obra", afirmou. Pelo Código Civil, uma construtora é responsável nos cinco primeiros anos após a conclusão da obra.

O dono da loja, Omar Abdouni, disse que é inquilino do prédio há três anos e que ele nunca havia apresentado problemas nesse período. Abdouni não confirmou a informação da funcionária de que o prédio vibrava com o trabalho das britadeiras. A polícia agora vai localizar o proprietário do prédio.

RENATO KRAVITZ

Vítima não teve tempo de correr Delegado vai ouvir dono 2 vezes

da Reportagem Local

As marquises da Out-Let caíram tão rápido que as duas pessoas que morriam nem sequer tiveram tempo de correr, segundo testemunhas.

De acordo com Alexandre Athanasio, 18, funcionário de uma farmácia vizinha à loja, o rapaz Alex dos Santos, que estava no 1º andar, já tinha passado pela marquise, mas, com o barulho, deu um passo para trás e acabou atingido.

A família de Alex soube do acidente pela televisão. O pai, Benedito dos Santos, chegou à sua casa e encontrou a mulher chorando. Santos foi à delegacia e, após confirmar que era mesmo seu filho, ficou em estado de choque.

RENATO KRAVITZ

zinha Nakasato também soube pela televisão. Terzinha era casada e tinha quatro filhos.

O electricista Aloizio da Silva escapou por pouco, segundo seu irmão Everaldo da Silva, 40.

Aloizio sofreu apenas uma escoriação no braço. Após o acidente ele não quis ir ao hospital e voltou para o trabalho. "De tão assustado, ele chegou aqui tremendo e suando muito", disse o irmão.

O outro ferido, Samuel Corrêa Rippe, teve escoriações na mão e nas costas. Ele foi levado ao PS Municipal de São Caetano.

Uma mulher que também passava sob a marquise saiu ileso por alguns milímetros. Segundo testemunhas, a mulher deu um passo para dentro da Out-Let e as marquises caíram na sua frente. (R2)

da Reportagem Local

O delegado Marco Antonio Barreiras, titular do 1º DP de São Caetano do Sul, disse que vai aguardar o laudo do IC para identificar os culpados pelo acidente na loja Out-Let.

"Se houve negligência, alguém irá responder por homicídio culposo (sem intenção)".

De acordo com o delegado, caso fique comprovado que os responsáveis já sabessem de problemas nas marquises, sem tomar providências, é possível que ocorra um indiciamento por homicídio doloso (com intenção).

Barreiras deve consultar hoje o registro de imóveis para localizar os proprietários do prédio. O delegado afirmou que preten-

de ouvir o proprietário e o inquilino do imóvel pelo menos duas vezes antes e depois de receber o laudo do IC.

O procurador-geral de Justiça de São Paulo, Luiz Antonio Marrey, designou ontem dois promotores para acompanhar o inquérito policial.

O dono da loja, Omar Abdouni, disse que o prédio pertence à família Zeuser. Nenhum membro da família foi localizado ontem.

Segundo Abdouni, o edifício anteriormente havia sido alugado para uma espécie de shopping center, com várias lojas.

Com o tempo, os outros inquilinos foram saindo e o local acabou virando uma só loja. A área construída do prédio é de aproximadamente 2.000 m². (R2)

Lições

- Utilizar cobrimentos superiores a 50mm;
- Utilizar concretos com a/c inferiores a 0,5 com $f_{ck} > 35\text{MPa}$;
- Utilizar armadura de compressão suficiente para "pendurar" a marquise;
- Inspeccionar periodicamente (POA, BUE, NY, Salvador, etc.)

Edifício Habitacional

concretagem
de pilares
obra nova

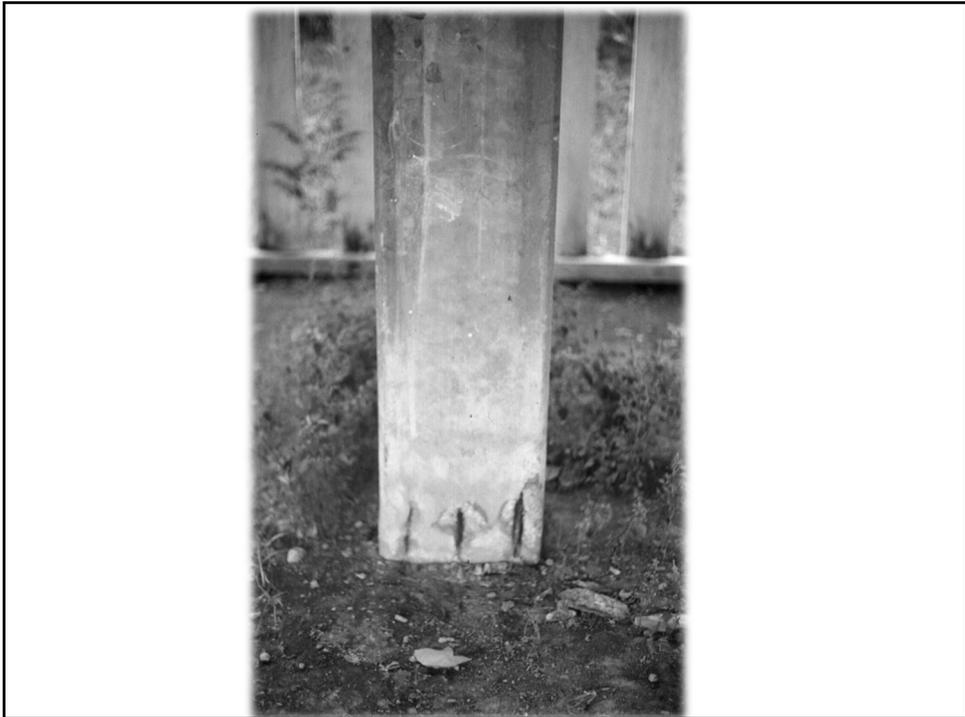
113



114



115



116



117



118

Reparo Estrutural !?



Todo reparo estrutural deve ser realizado com argamassa, graute ou concreto com resistência bem superior à do elemento. No mínimo igual.

119

Reparo Estrutural !?



Todo reparo estrutural deve ser realizado com argamassa, graute ou concreto com resistência bem superior à do elemento. No mínimo igual.

120

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que a consequência
de seus atos pode levar
anos para aparecer!

121

Edifício Areia Branca

Recife, Pernambuco
14 de outubro de 2004
quinta-feira às 20:30h
1977 → 1979
25 anos
12 andares + térreo + 1 garagem

122



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

123



124



Escombros - manhã seguinte do desabamento

125



126

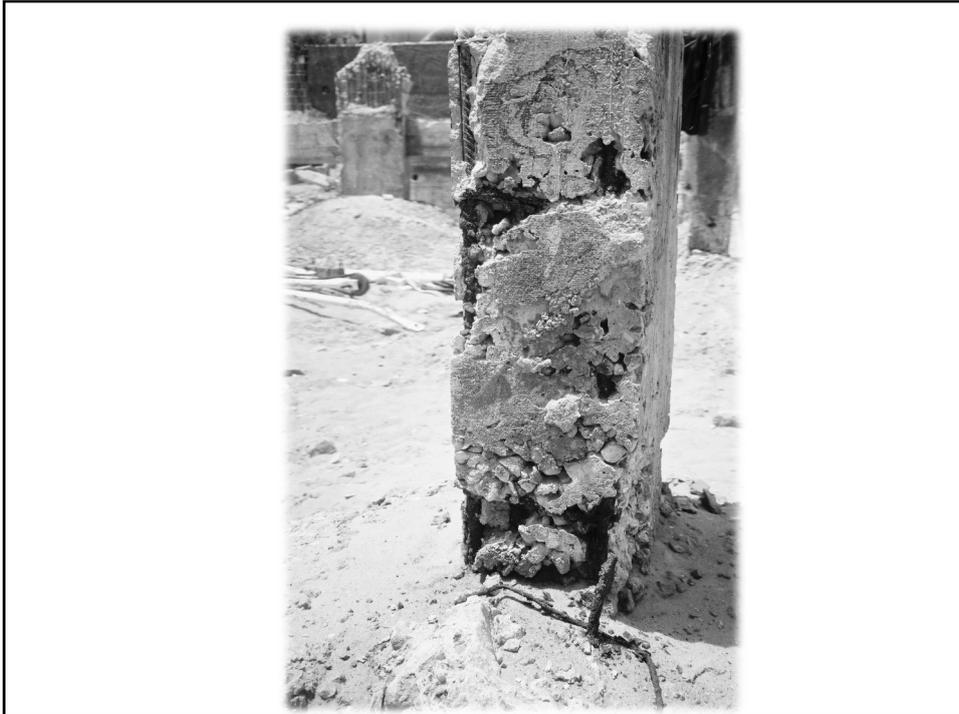


Edificações Vizinhas

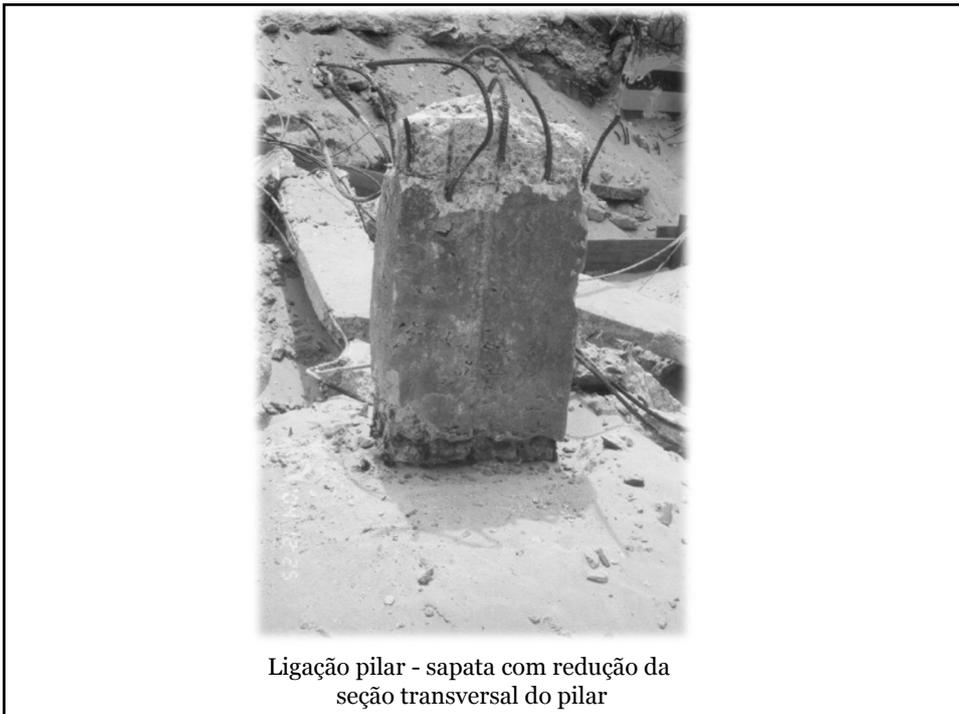
127



128



129



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

130



131



132



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

133



> 20cm!!!



134

Ponte dos Remédios

São Paulo, 1997

Lauda 6 meses antes

36 anos

$f_{ck} = 21 \text{ MPa}$

Custo = 3 vezes uma ponte nova

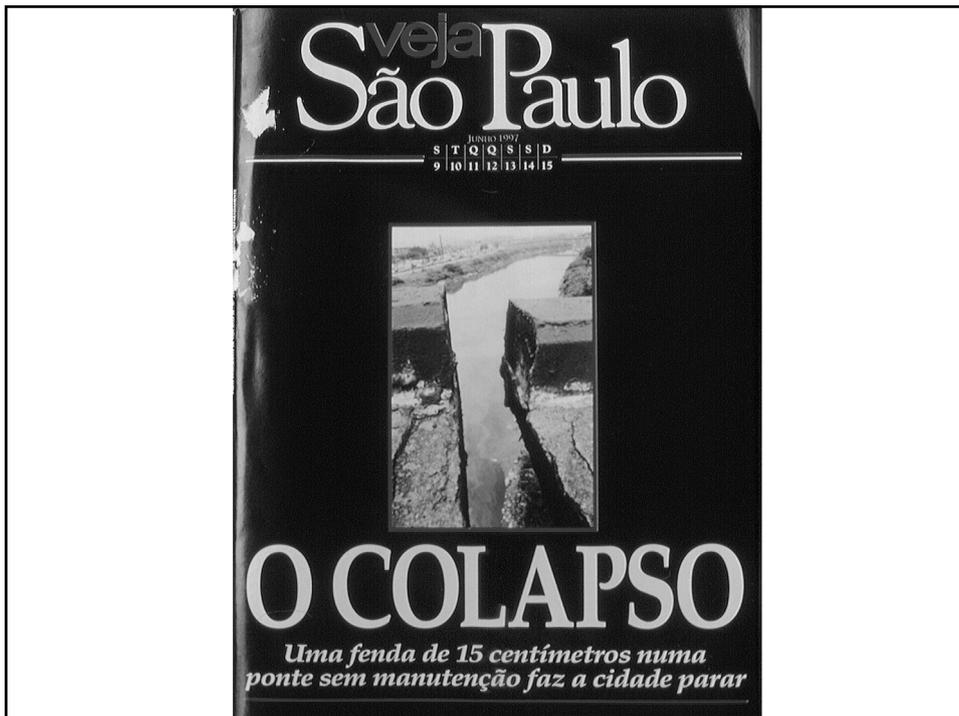
135



136



137



138



139

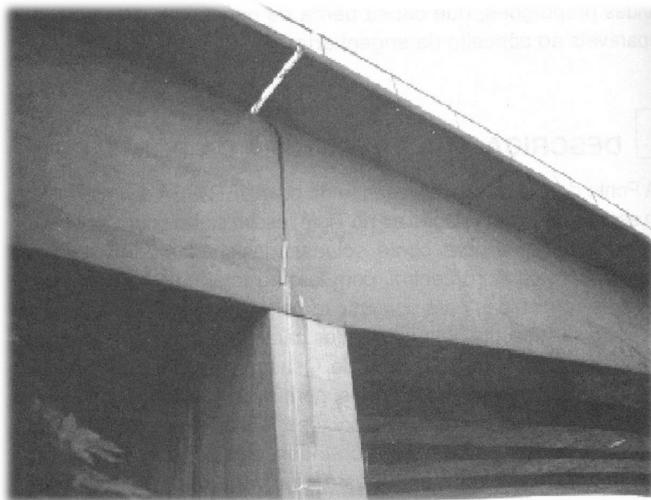


140



141

Ponte dos Remédios



Vista lateral da rachadura

142



Vista superior da rachadura

143



144



145



146



147

Silo de Cereais

Santa Catarina, 1995

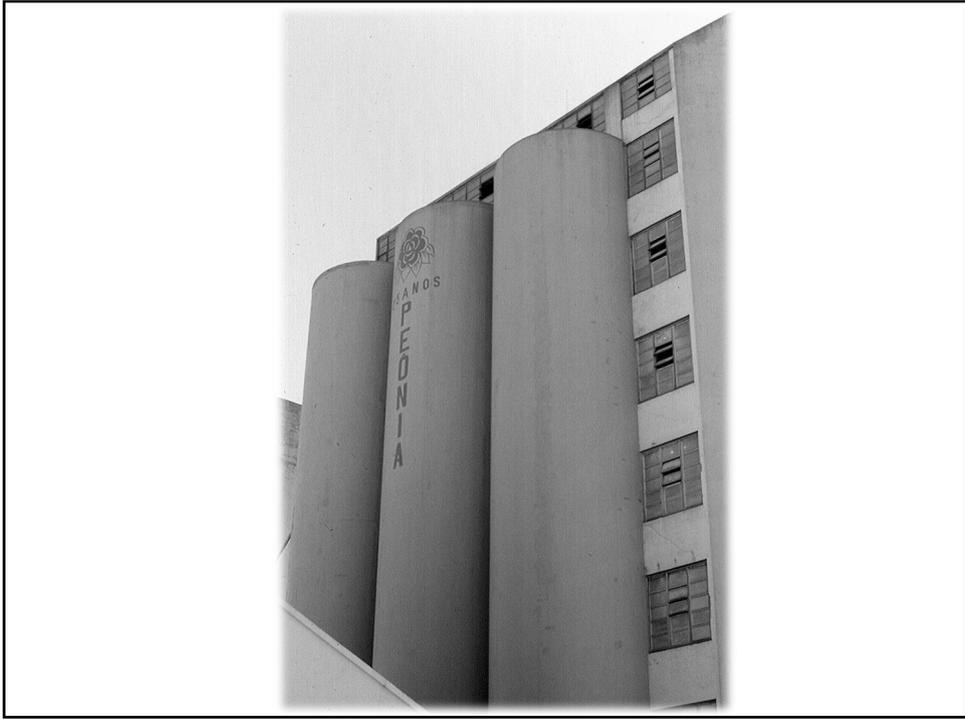
Laudo de vistoria 2 meses antes

21 anos

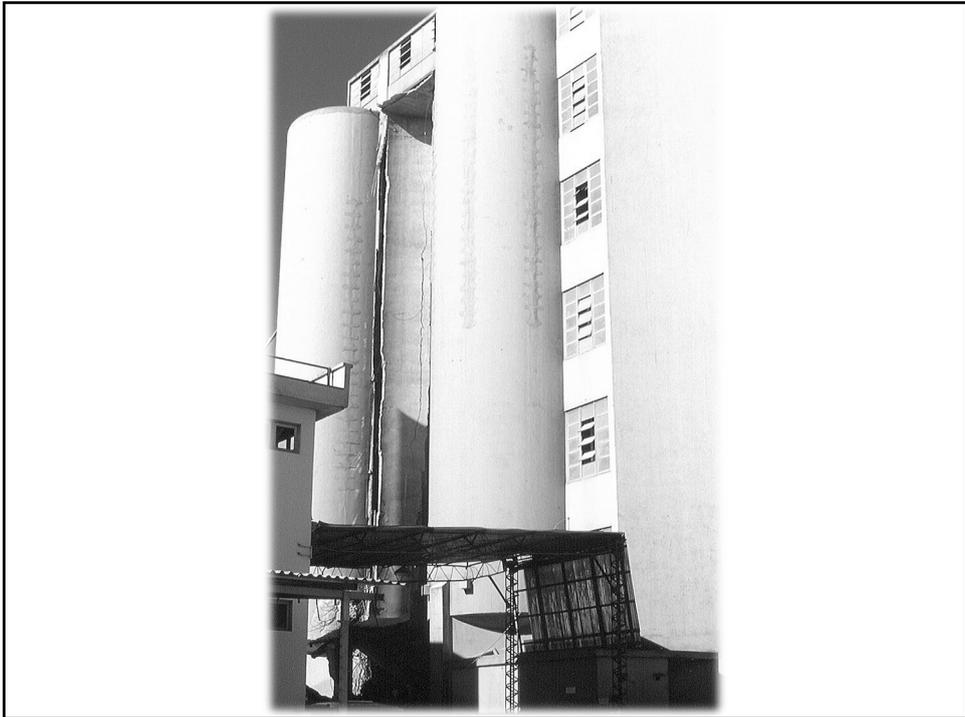
$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$

Custo = 1,2 novo

148



149



150



151

Recomendações

**ATENÇÃO ÀS SOLUÇÕES com
TIRANTES em umidade alta (não avisam)**

DIMENSIONAR para NÃO fissuração (!)

PROTEGER (Como ?)

**INSPECIONAR PERIODICAMENTE
(Como ?)**

152

Prudência

- **Utilizar cobrimentos superiores a 50mm;**
- **Utilizar concretos com a/c inferiores a 0,5 e > de 35MPa;**
- **Utilizar armadura de compressão suficiente para “pendurar” a marquise;**
- **Inspeccionar periodicamente (POA, BUE, NY, Salvador, etc.)**

153

Reflexão

Não será o caso de rever as tolerâncias de abertura máxima característica de fissura para componentes estruturais fletidos e tracionados onde ocorra risco de umidade e corrosão?

154

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

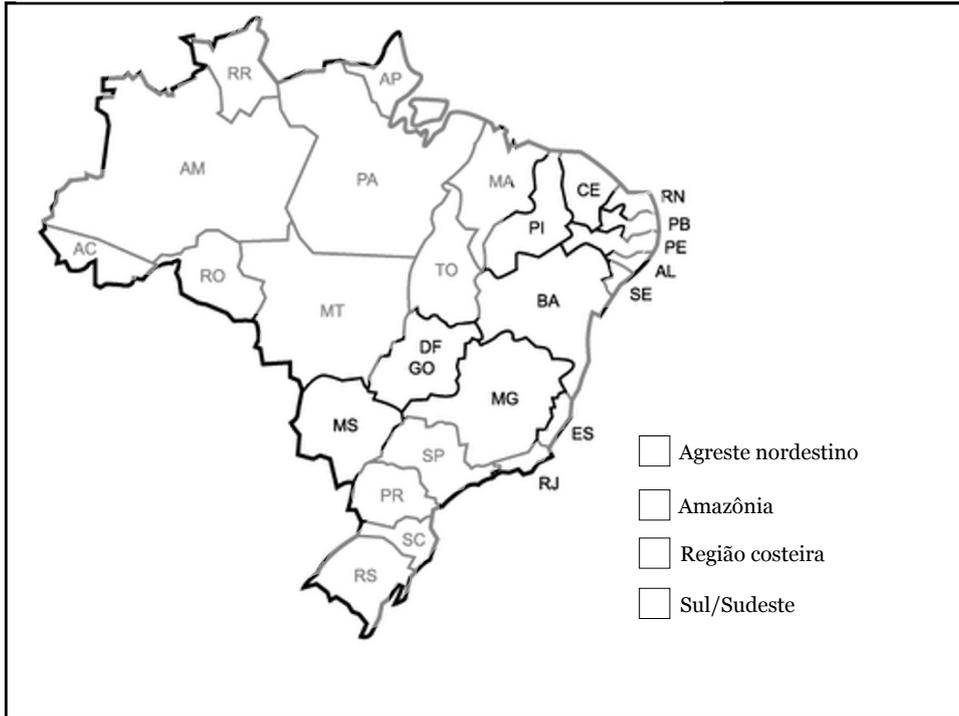
1. Experiência (normas prescritivas)
2. Ensaio Acelerados ?
3. Modelos Deterministas
4. Modelos Probabilistas

155

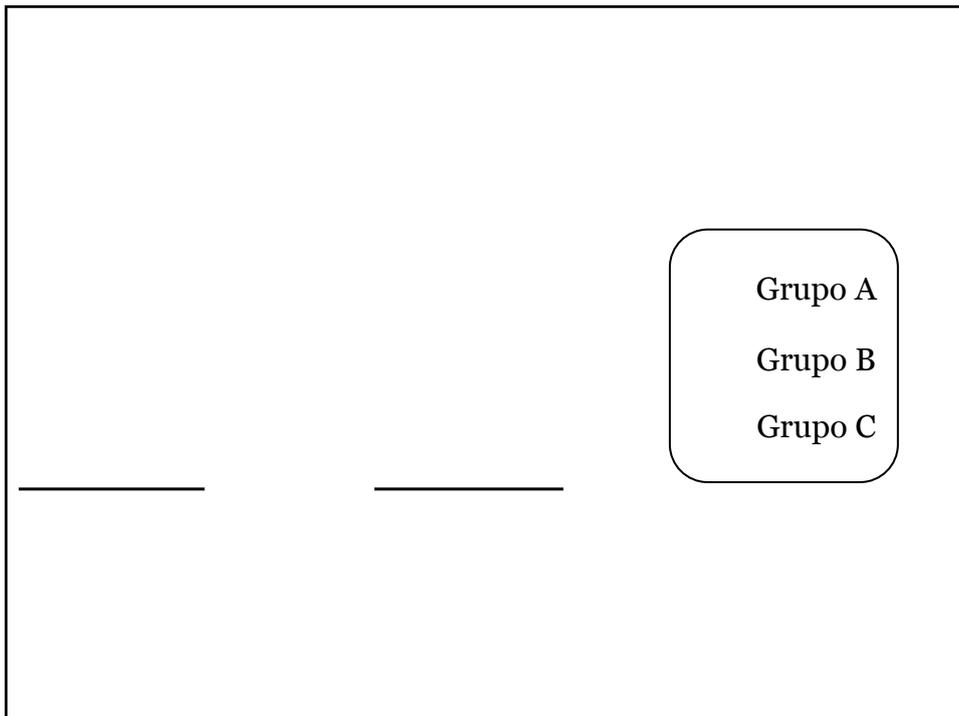
1º passo

Agressividade Ambiental

156



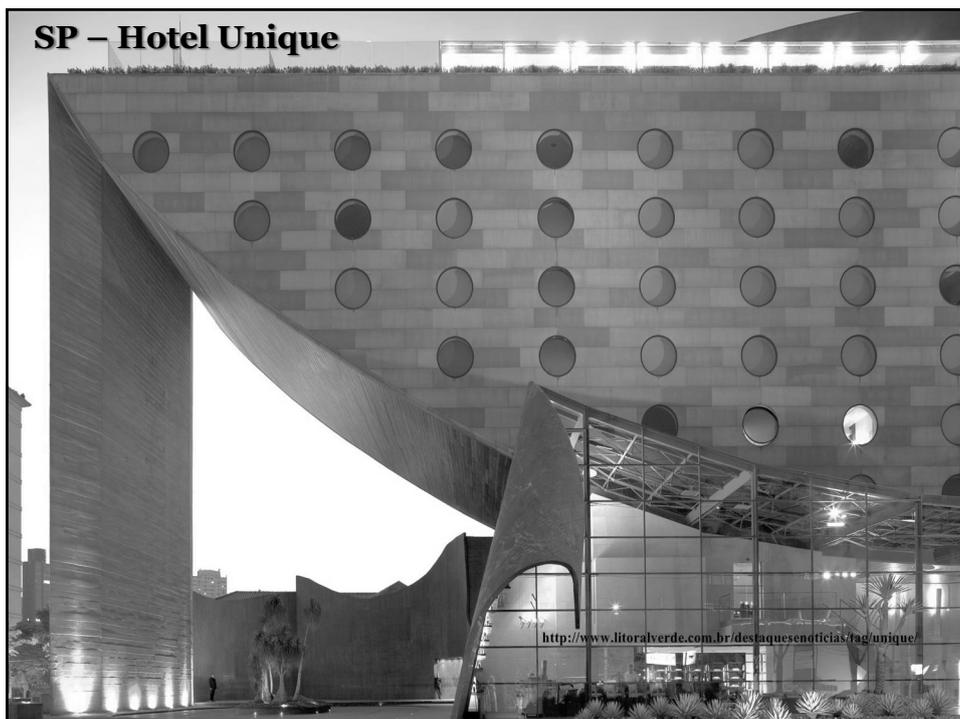
157



158



159



160



161

Classificação MACRO (e micro) Ambiental

162

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a,b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

163

2º passo

**Escolher concreto e
cobrimento**

164

Tabela 7.2 Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$ (ABNT NBR 6118:2014)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15\text{mm}$.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45\text{mm}$.

165

Modelos de previsão de vida útil Difusão de cloretos

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

166

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

167

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

168

Exemplo

Um edifício deverá ser projetado na região de Recife/PE, com cobrimentos de 40mm e 75mm, atendendo a vida útil de 50 anos, considerando o ataque por cloreto.

Para isso devem ser analisados:

- Tipo de cimento
- Relação a/c
- adições



Utilizando os softwares Duracon e Life-365, tendo em vista as seguintes regiões:

- Obra na zona de respingos de maré ($C_s = 1,0$)
- Obra localizada a 800m da praia ($C_s = 0,6$)

169

Exemplo

Cobrimento	c	mm
Relação água/cimento	a/c	-
Coefficiente de difusibilidade aos 28 dias	D₂₈	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Concentração crítica de cloreto	C_{cr}	wt. concr. (%)
Concentração superficial de cloreto	C_s	wt. concr. (%)
Idade do concreto quando realizado o ensaio	28	dias

170

CPI ou CPV Alta resistência inicial (0% adições) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)		Life/Duracon
					Life 365	Duracon	
40	0,05	1	0,55	4,8611	3,6	1	3,6
			0,5	3,6575	4,2	2	2,1
			0,45	2,7973	5,1	2	2,6
			0,35	1,6096	7,4	5	1,5
75	0,05	1	0,55	4,8611	12,8	6	2,1
			0,5	3,6575	16,1	9	1,8
			0,45	2,7973	20,5	12	1,7
			0,35	1,6096	34,3	24	1,4

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ₂₈ (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

171

CPI ou CPV Alta resistência inicial (0% adições) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)		Life/Duracon
					Life 365	Duracon	
40	0,05	0,6	0,55	4,8611	5,8	1	5,8
			0,5	3,6575	6,8	2	3,4
			0,45	2,7973	8	3	2,7
			0,35	1,6096	11,2	6	1,9
75	0,05	0,6	0,55	4,8611	18,1	7	2,6
			0,5	3,6575	22,3	11	2,0
			0,45	2,7973	28	15	1,9
			0,35	1,6096	45,2	29	1,6

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ₂₈ (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

172

Exemplo

Um edifício deverá ser projetado em região litorânea, considerando o ataque por cloretos (classe III, fora dos respingos de maré).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014:

Para $f_{ck} = 30\text{MPa}$, $a/c = 0,55$ e $c=40\text{mm}$

Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$, $a/c = 0,45$ e $c=35\text{mm}$

Para $f_{ck} = 60\text{MPa}$, $a/c = 0,35$ e $c=35\text{mm}$

Segundo a EN 1992 (considerando as mesmas relações a/c):

Para $f_{ck} = 30\text{MPa}$ e $c= 45\text{mm}$

Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$ e $c=40\text{mm}$

Para $f_{ck} = 60\text{MPa}$ e $c=40\text{mm}$

Variáveis:

- CP I ou CP V (+8% SA ou MC): coef. $m = 0,20$
- CP III (+8% SA ou MC): coef. $m=0,54$
- CP IV (+8% SA ou MC): coef. $m=0,44$

Utilizando os softwares Duracon e Life-365, e tendo em vista que a obra está localizada na atmosfera marinha livre de respingos de maré ($C_s = 0,6\%$) e sendo $C_{cr} = 0,05\%$ (sobre a massa de concreto).

173

Comparação de Requisitos de diferentes normas VU = 50 anos (carbonatação)

Membros sujeitos a classificações de exposições B1 = XC4 CEM 1, serão:

Recobrimento, livre de armadura:

Holanda $\rightarrow a/c < 0,5$ 25mm cover

Alemanha $\rightarrow a/c < 0,60$ 25mm cover

México $\rightarrow a/c < 0,40$? 25mm cover ($f'_c > 60\text{MPa}$)

Brasil $\rightarrow a/c < 0,55$ 25mm cover ($f_{ck} > 30\text{MPa}$)

174

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

175



176