



PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Maio, 2023

Prof. Augusto Albuquerque

Mestre Eng. Estruturas (USP – 1999)

Doutor Eng. Estruturas (USP – 2007)

Pesq. Visitante (University Nebraska -2006)





Prédio em Belém foi evacuado após o desabamento de 13 varandas; não houve feridos -
Divulgação/Prefeitura de Belém

PROGRAMA

1. Avaliação de Estruturas;
2. Principais métodos de avaliação de patologias;
3. Estratégias de recuperação estrutural aplicadas situação prática;

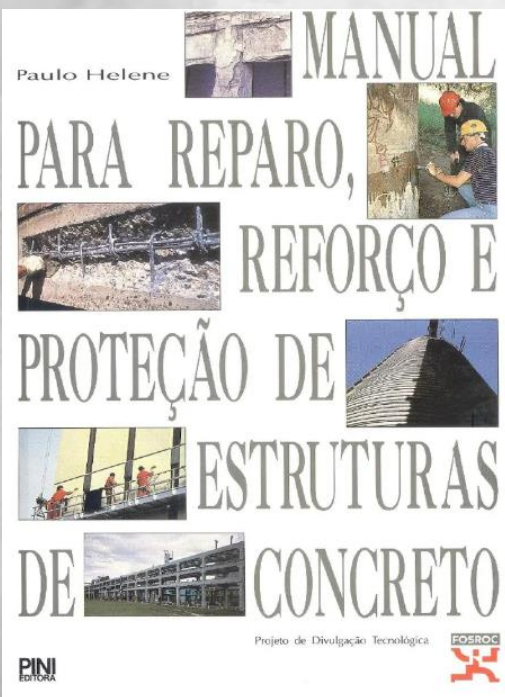
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOUZA, V.C.M. de; RIPPER, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo:PINI.

CÁNOVAS, M. F. (1988). *Patologia e terapia do concreto armado*. 1.ed. São Paulo: PINI.



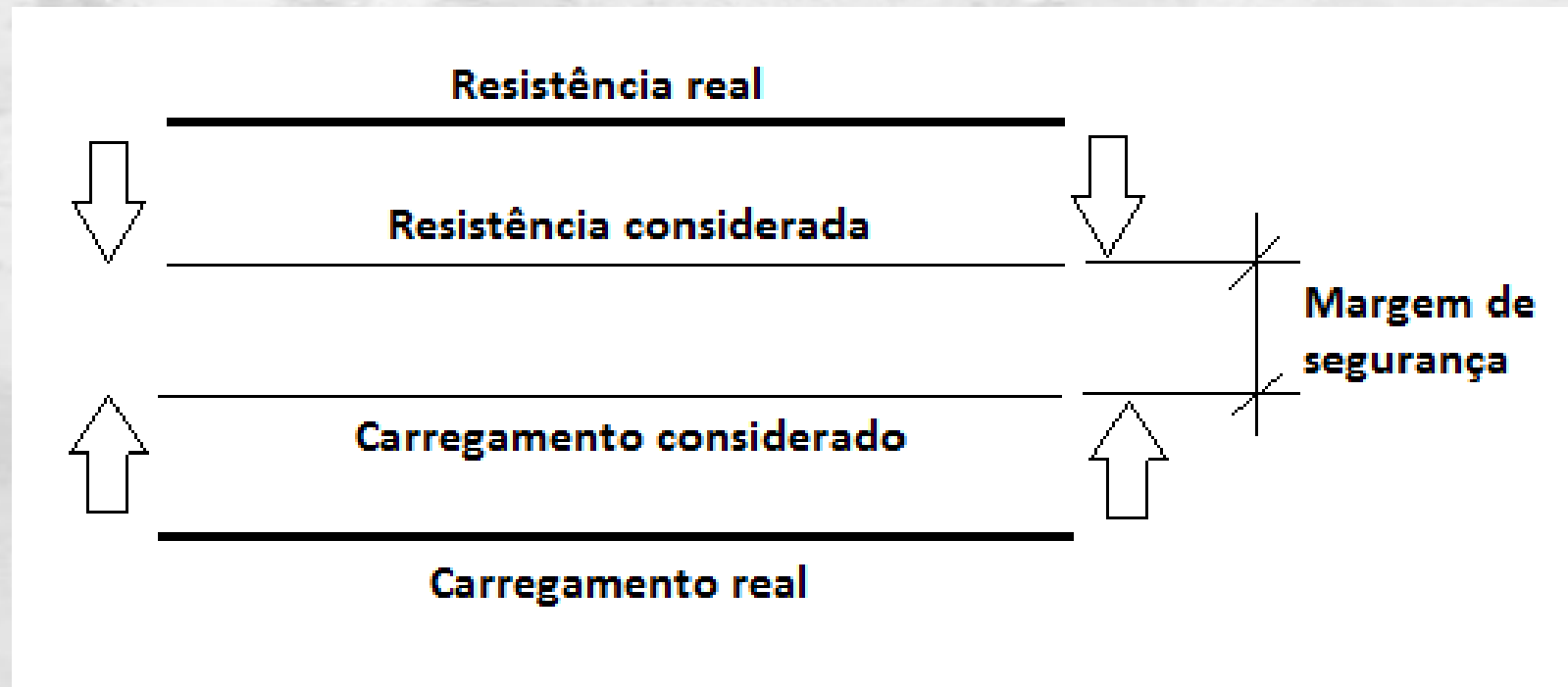
HELENE, P. R. L. (1992). *Manual para reparo, reforço e proteção de estrutura de concreto*. 2.ed. São Paulo:PINI, 1992. 203p.



Prof. Eduardo Cabral,
DEECC - UFC



Conceito de Segurança



4.2 Profissional responsável pelo projeto estrutural

Cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:

- a) registro da resistência característica à compressão do concreto, f_{ck} , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;
- b) especificação de f_{ckj} para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;
- c) especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive da classe de agressividade adotada em projeto (Tabela 1 e 2);
- d) especificação dos requisitos correspondentes às propriedades especiais do concreto, durante a fase construtiva e vida útil da estrutura.

ABNT NBR 6118

Terceira edição
29.04.2014

Válida a partir de
29.05.2014

Versão corrigida
07.08.2014

6.2 Vida útil de projeto

6.2.1 Por **vida útil de projeto**, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.3, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Tabela C.6 – Exemplos de VUP* aplicando os conceitos do Anexo C da NBR 15575-1

Parte da edificação	Exemplos	VUP anos		
		Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura principal	Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥ 50	≥ 63	≥ 75

PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

Campo da engenharia que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de falhas e da degradação das estruturas. (Souza & Ripper, 1998)

FOCOS USUAIS DE PATOLOGIAS



Causas ?



- ▶ Projetos;
- ▶ Execução;
- ▶ Material (f_{ck});
- ▶ Mau uso;
- ▶ Acidentes;
- ▶ Ausência Manutenção

Edifício Andrea 'era uma bomba-relógio maquiada', diz advogado de engenheiro responsável por reforma antes do desabamento



METRO

Denúncias à Defesa Civil após queda do Edifício Andrea aumentam 86% em apenas quatro dias

De 15 a 18 de outubro, as solicitações demandadas ao órgão municipal passaram de 49 para 91 em Fortaleza, sendo a maioria por risco de desabamento e oriundas da Regional II. Prazo para as vistorias é de dez dias



DESABAMENTO DO PRÉDIO ANDREA

Um prédio de 7 andares, no bairro Dionísio Tores em Fortaleza, desabou no dia 15 de outubro de 2019. Nove pessoas morreram no desastre e sete foram resgatadas com vida, de acordo com o Corpo de Bombeiros.

Prédio cai em Fortaleza 4 meses depois de colunas de bloco cederem na Maraponga

Por Redação, 11:45 / 15 de Outubro de 2019 **ATUALIZADO ÀS 10:26 / 16 DE OUTUBRO DE 2019**



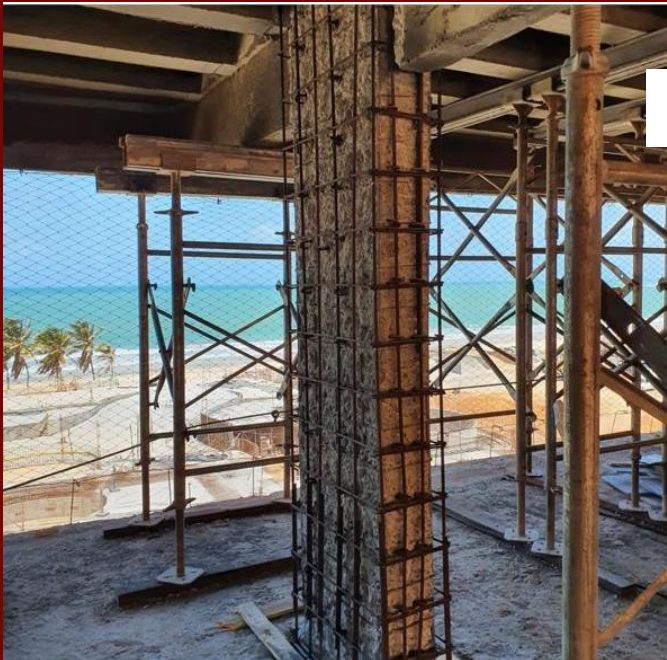
PATOLOGIA? PROJETO



Escoramento pilar



Apicoamento com remoção cobertura



Posicionamento reforço

PATOLOGIA? MATERIAL



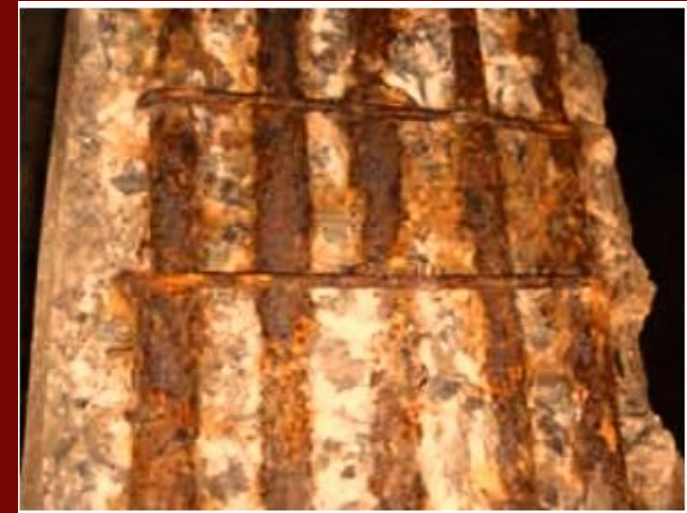
Forma para grauteamento

Tabela 1. 1 - Histórico de principais acidentes ocorridos no Brasil, SILVA (2011)

Ano	Obra	Estado	Cidade	Provável origem do problema	Vítimas fatais
1995	Edifício Atlântico	PR	Guaratuba	Falha na execução da estrutura	28
1997	Edifício Itália	SP	São José do Rio Preto	Falhas do projeto	0
1998	Edifício Palace II	RJ	Rio de Janeiro	Falha de projeto	9
1999	Edifícios Éricka e Enseada de Serrambi	PE	Olinda	Falhas de projeto	4
2004	Areia Branca	PE	Recife	Falhas na execução da obra	4
2006	Marquise da UEL	PR	Londrina	Falhas no projeto	2
2006	Obra na UERJ	RJ	Rio de Janeiro	Desconhecidas	0
2007	Obra do metrô de São Paulo	SP	São Paulo	Falha de gerenciamento: projeto + medidas de recalque	7
2008	Complexo esportivo	RS	Novo Hamburgo	Falha de projeto	3
2008	Edifício Dom Gerônimo	PR	Maringá	Falha estrutural de uma sacada que desabou e levou as inferiores em efeito dominó	0
2009	Edifício Santa Fé	RS	Capão de Canoa	Falhas de execução	4
2009	Igreja Renascer	SP	São Paulo	Falha de projeto	7
2010	Prédio antigo	RJ	Rio de Janeiro	Falha de manutenção	4
2011	Prédio de pequeno porte	RJ	Nova Friburgo	Desconhecidas	3
2011	Prédio - Real Class	PA	Belém	Desconhecidas	3

- ▶ Gases e fuligem escapamento veículos;
- ▶ Gases ácidos: indústrias;
- ▶ Sulfatos;
- ▶ Cloretos;
- ▶ Reações expansivas: Alcalis-agregado e Etringita tardia.

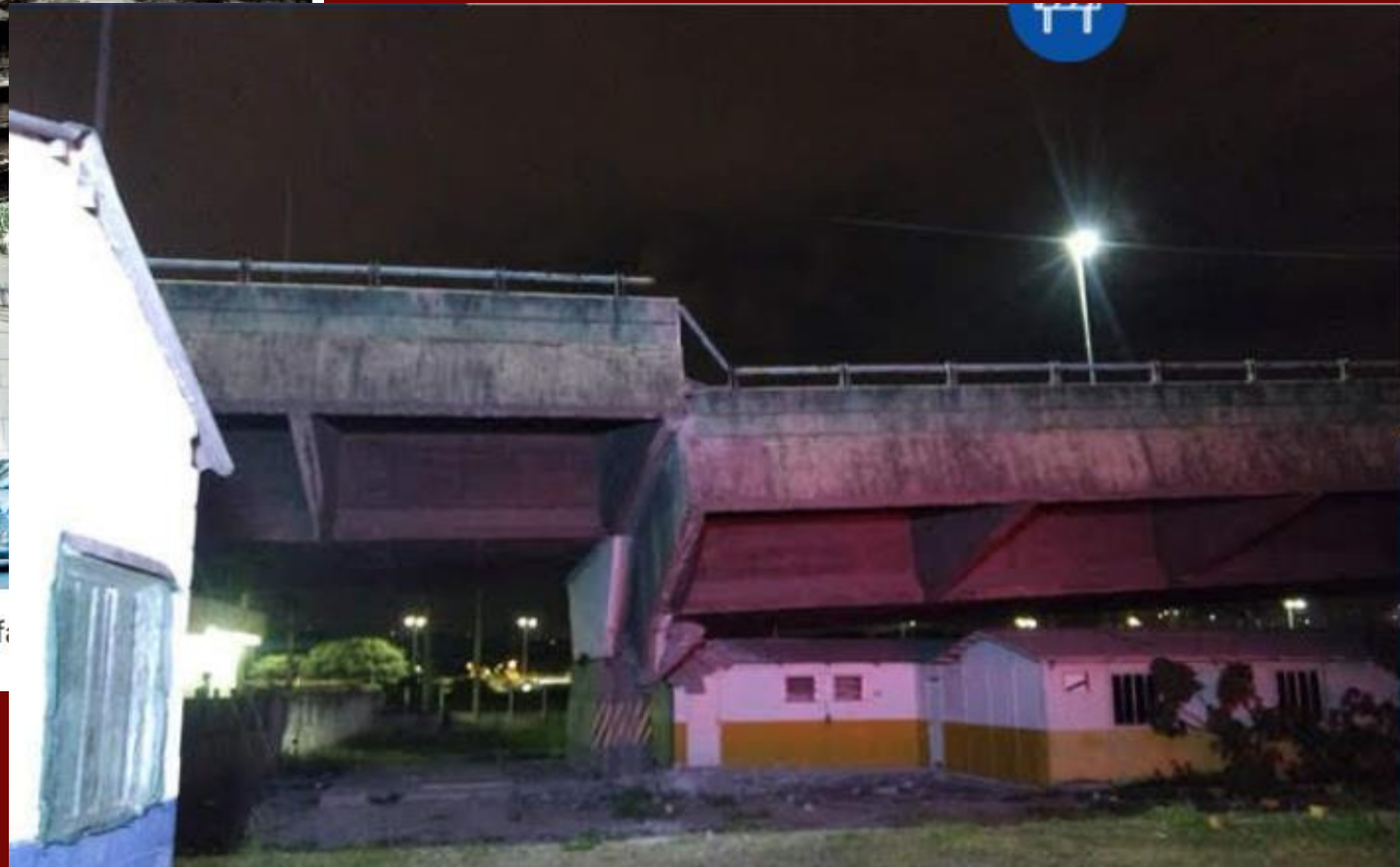
“Deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos” (Vicente Gentil, 1987)



CORROSÃO: DETERIORAÇÃO (CONCRETO E AÇO)



Teto de viaduto sobre a Avenida Pacaembu com ferragens à mostra: anos de f
(Alexandre Battibugli/Veja SP)

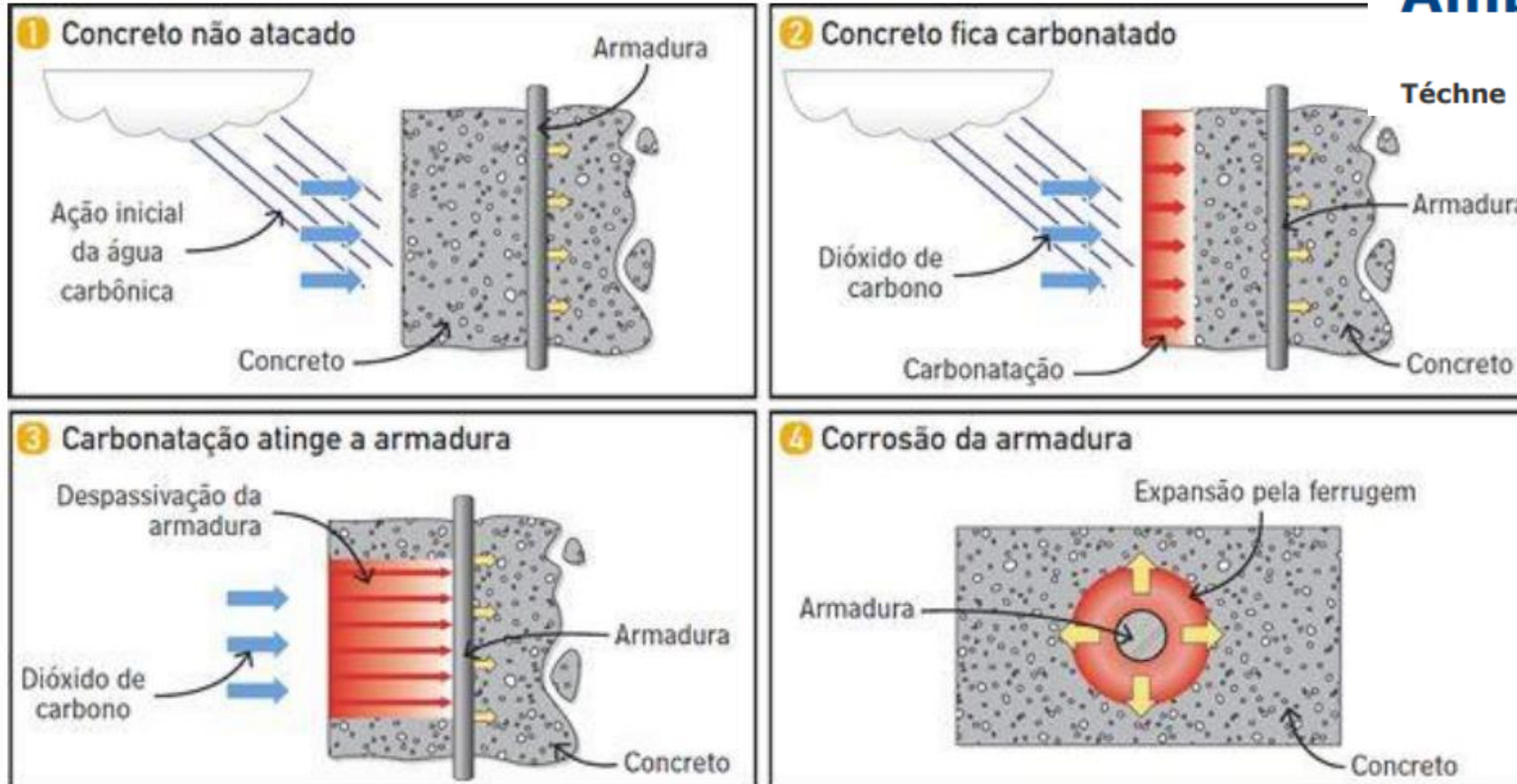


SÃO PAULO



Reação Alkali-Agregado





Esquema simplificado de corrosão de armadura por carbonatação

PROTEÇÃO CONCRETO: QUÍMICA E FÍSICA



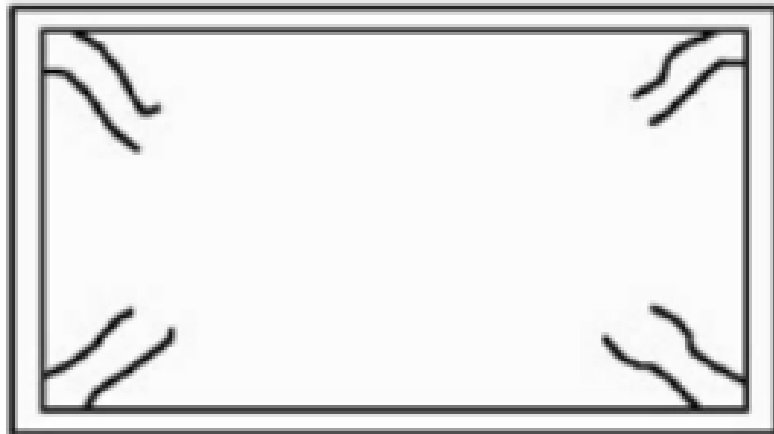
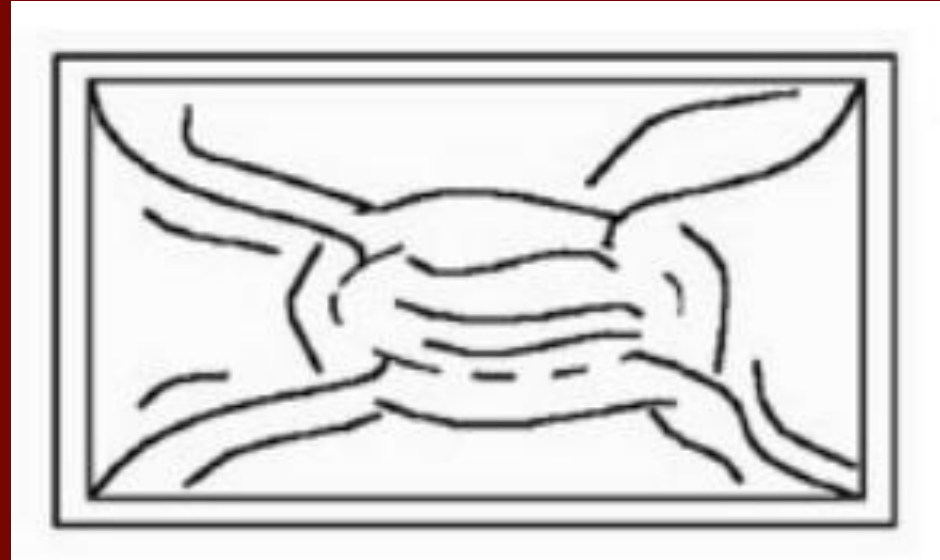
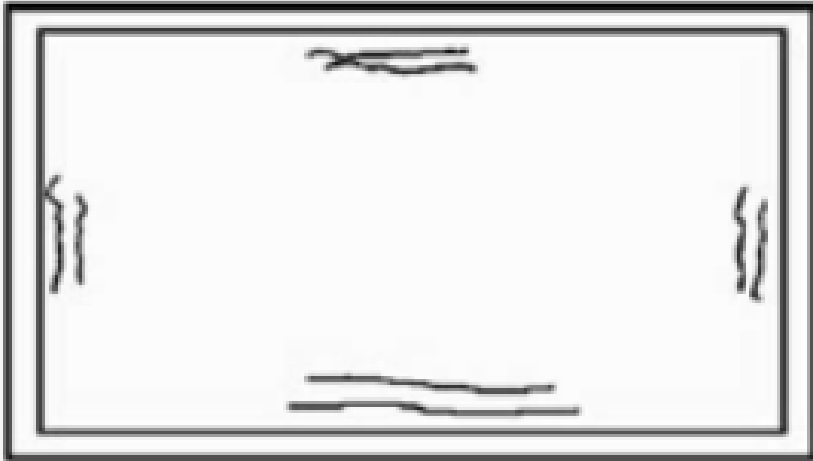
› **Overload affecting concrete**



Seismic excitations

1

AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS



Fonte: SOUZA; RIPPER (1998)

FISSURAS ESTRUTURAIS: LAJES

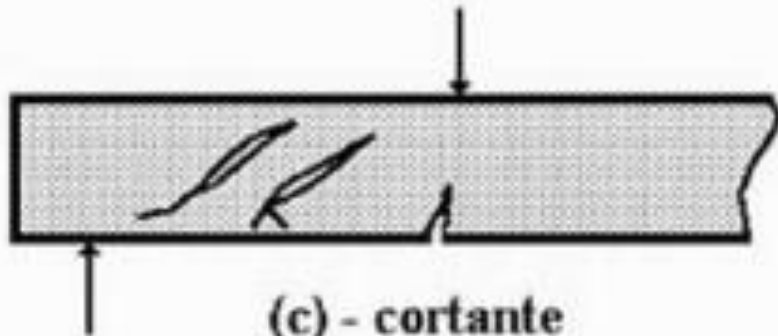
Fonte: SOUZA; RIPPER (1998)



(a) - flexão



(b) - tração

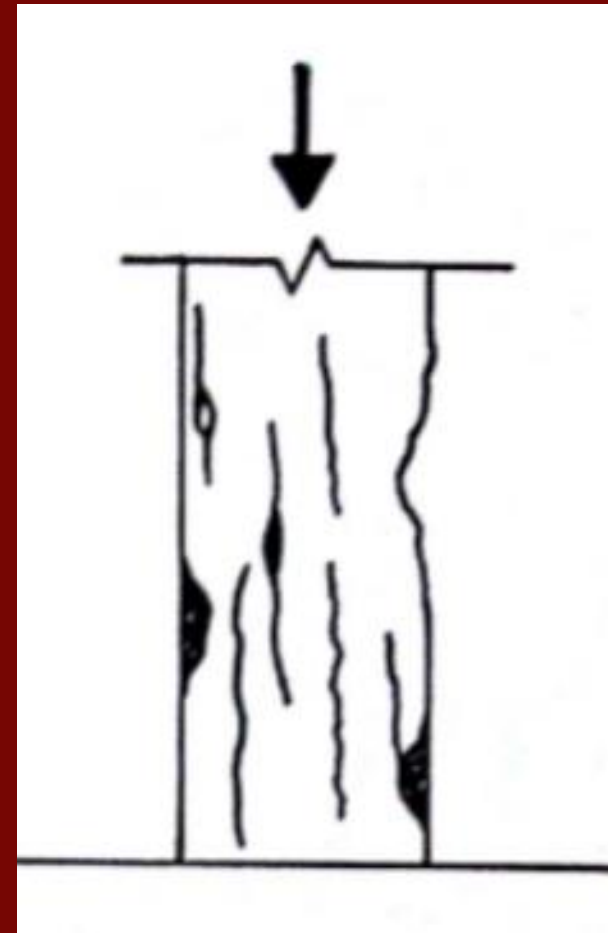


(c) - cortante

FISSURAS ESTRUTURAIS: VIGAS



Fonte: (Pellizzer, 2015)



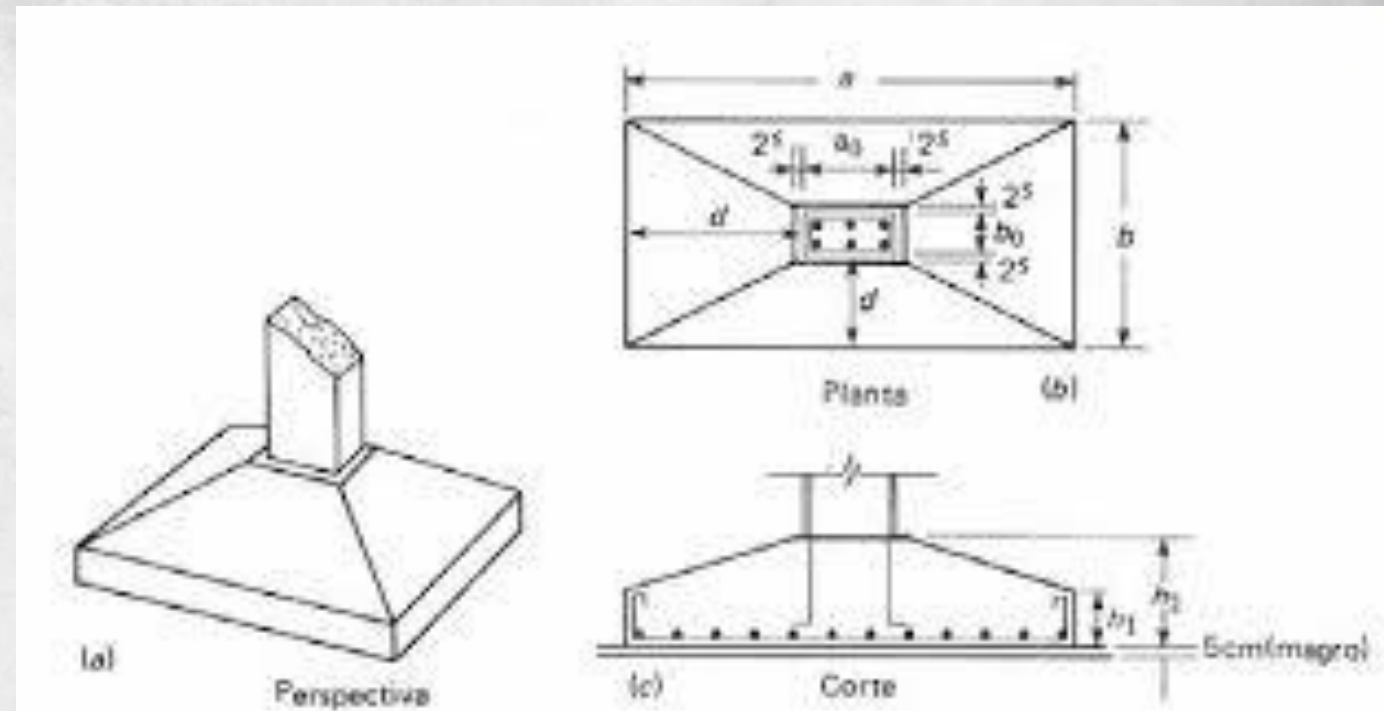
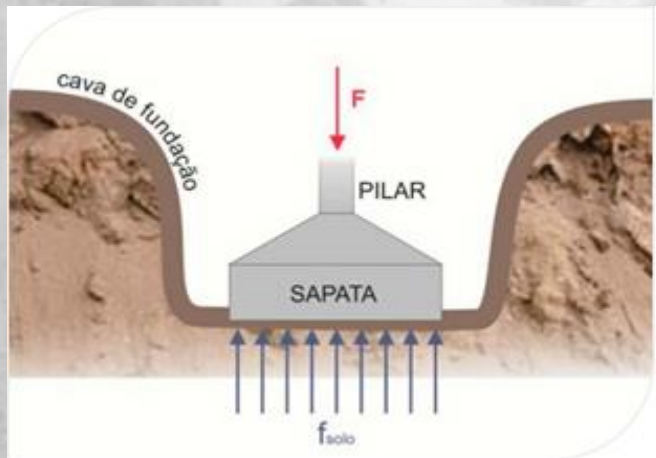
FISSURAS CORROSÃO

CONCEITO ESTRUTURAL

Como trabalham os elementos estruturais????



FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: FUNDAÇÕES (SAPATA ISOLADA)



FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: FUNDAÇÕES (BLOCO COROAMENTO)

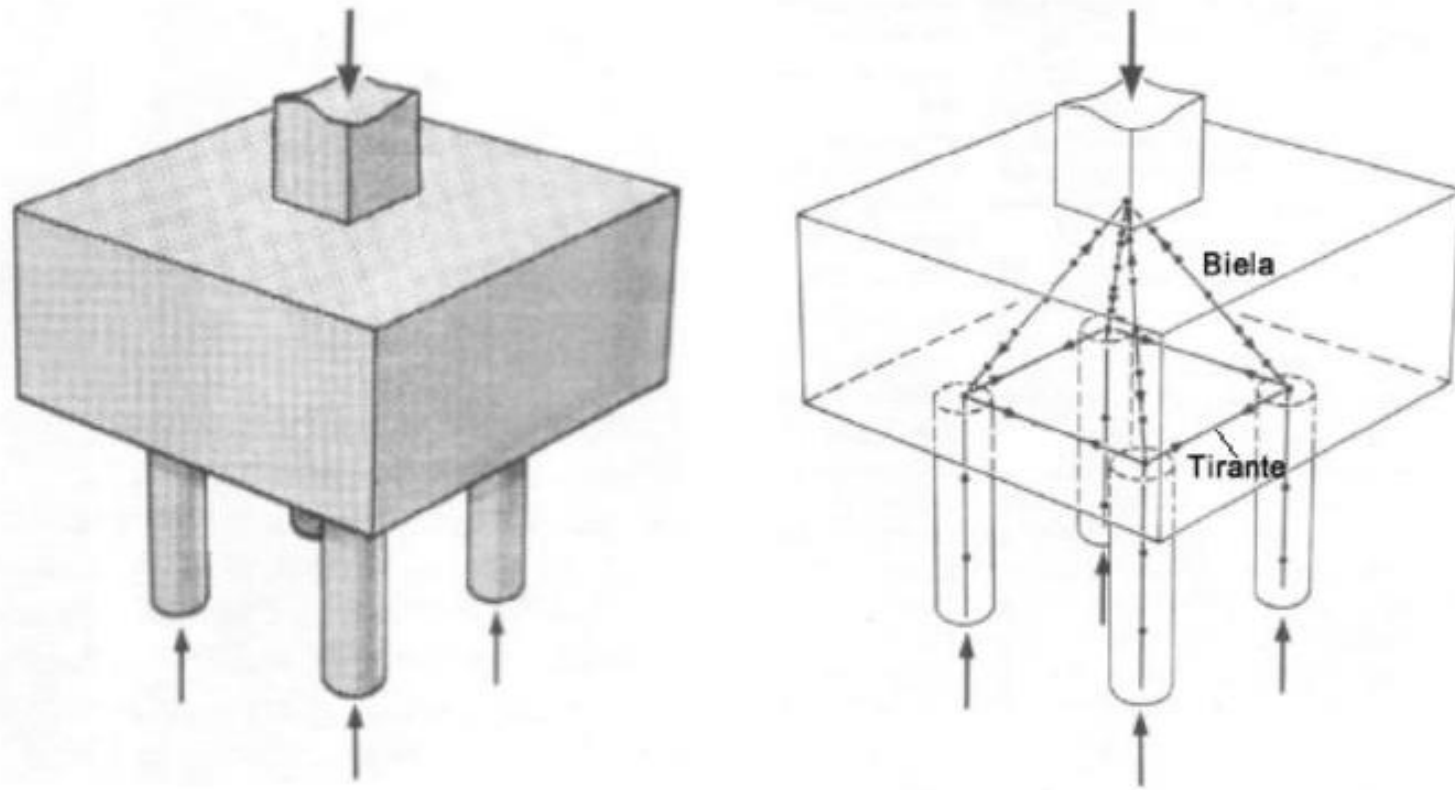
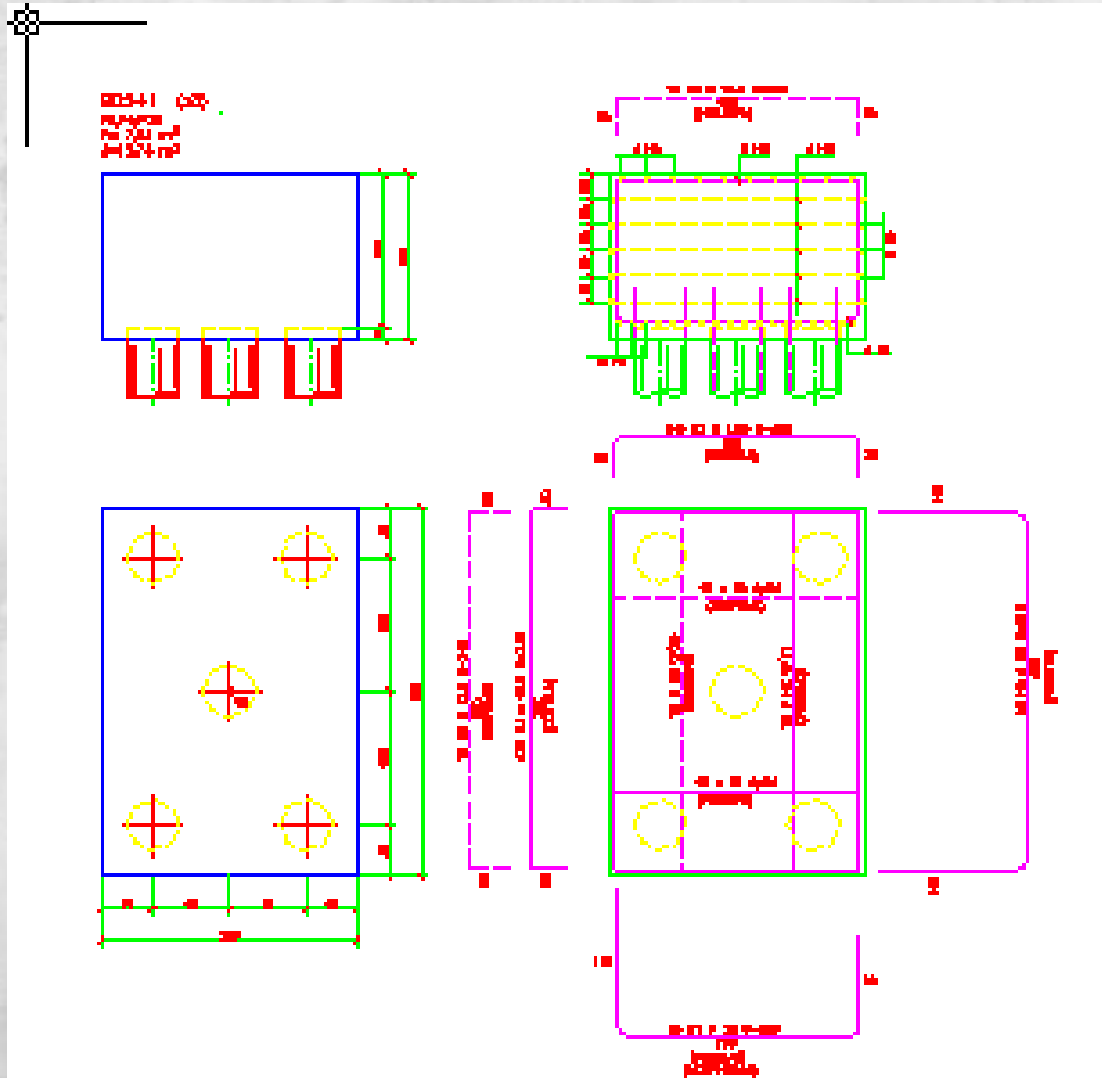
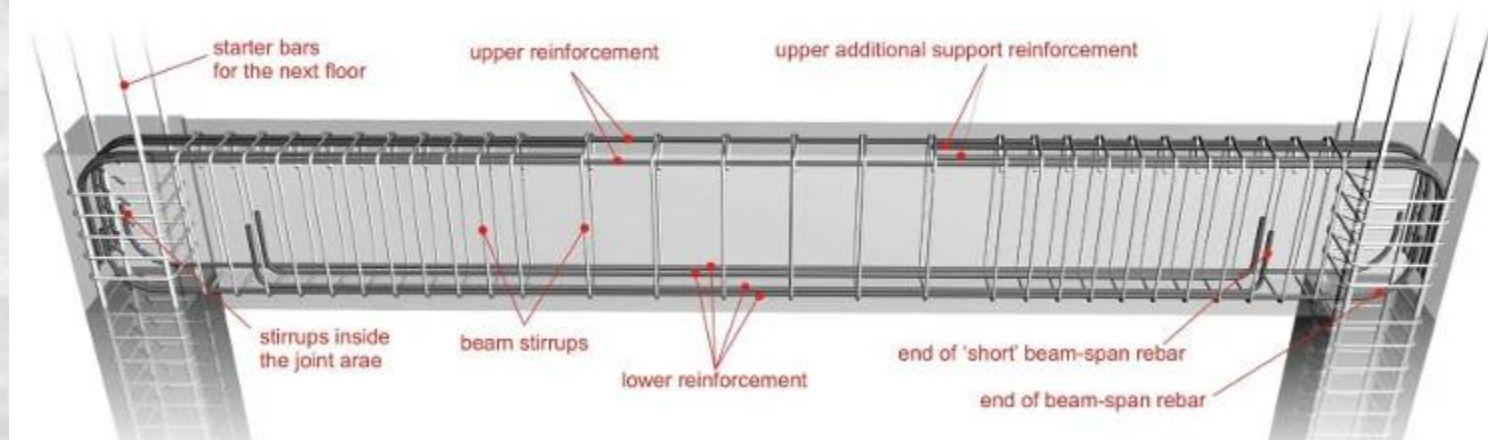
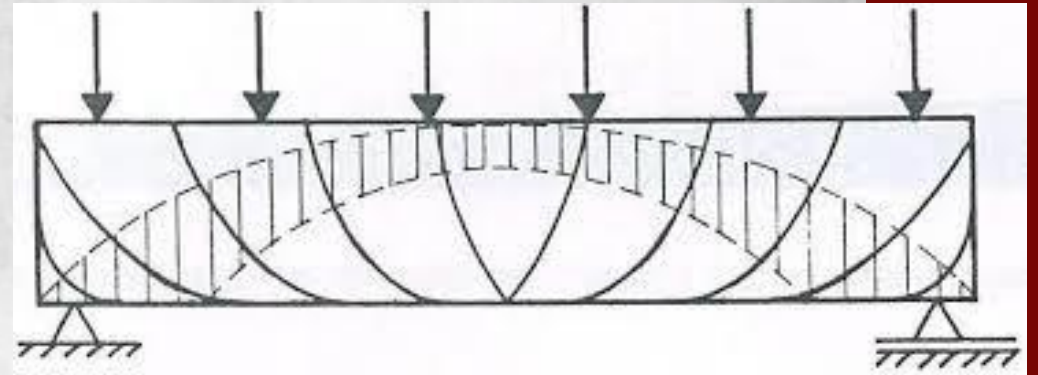
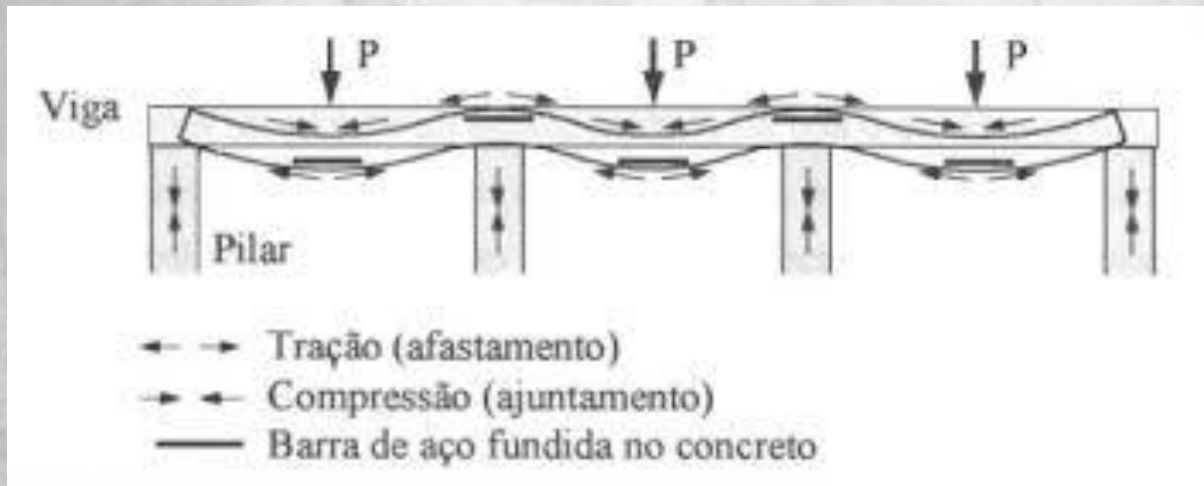


Figura 5 - Exemplo de modelo de treliça espacial para bloco de 4 estacas

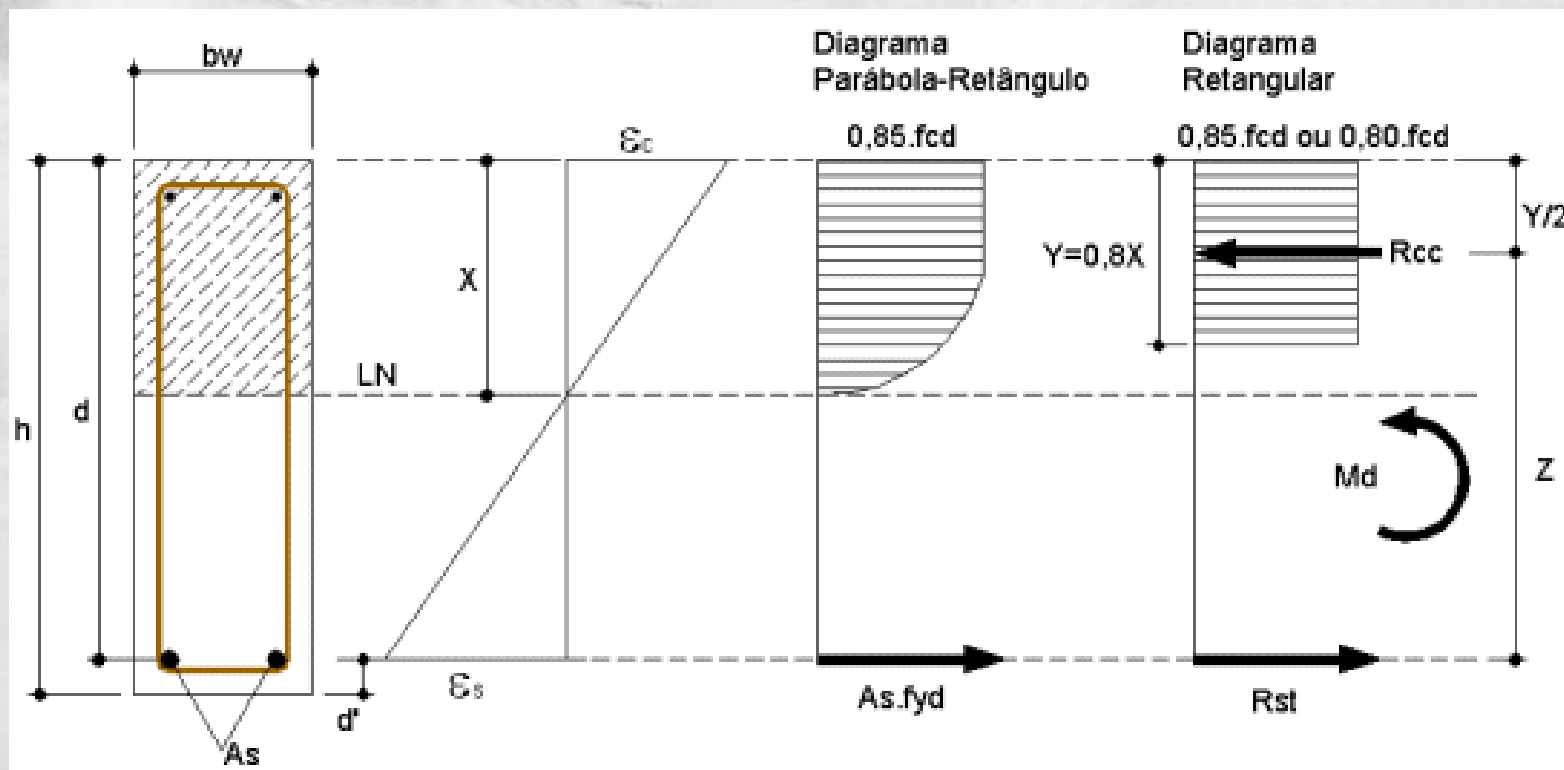
FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: FUNDAÇÕES (BLOCO COROAMENTO)



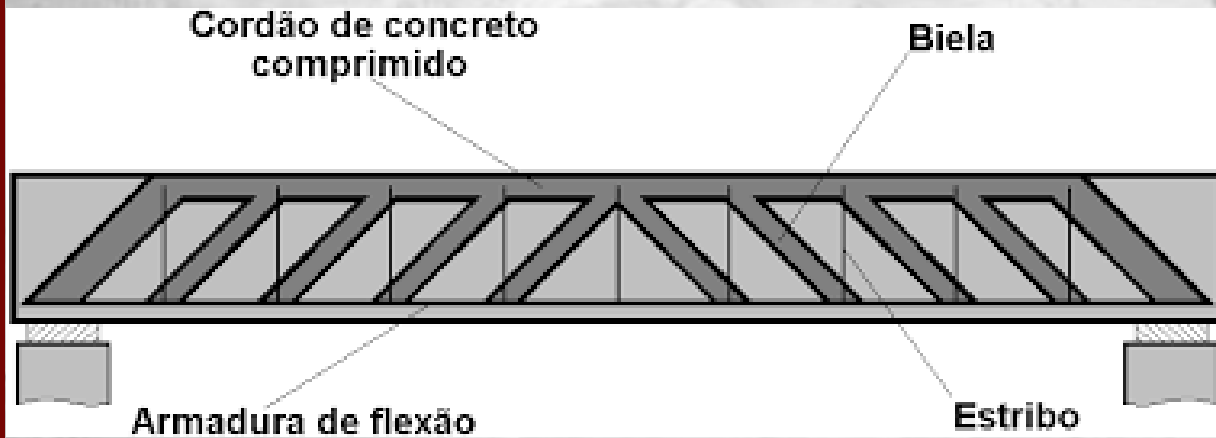
FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: VIGAS (FLEXÃO)



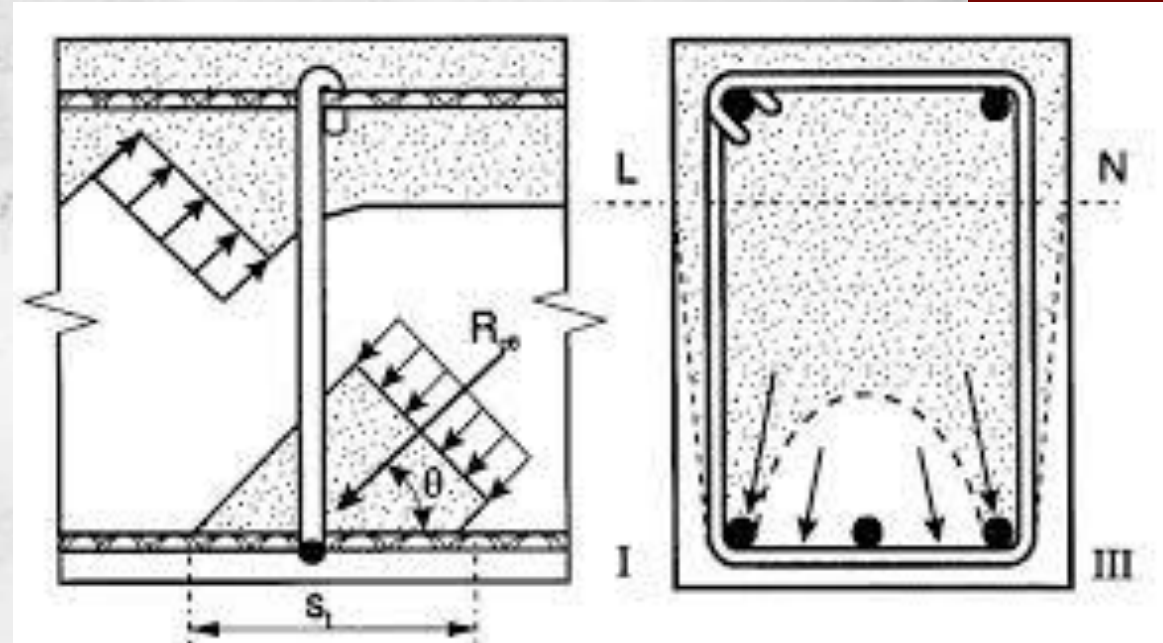
FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: VIGAS (FLEXÃO)



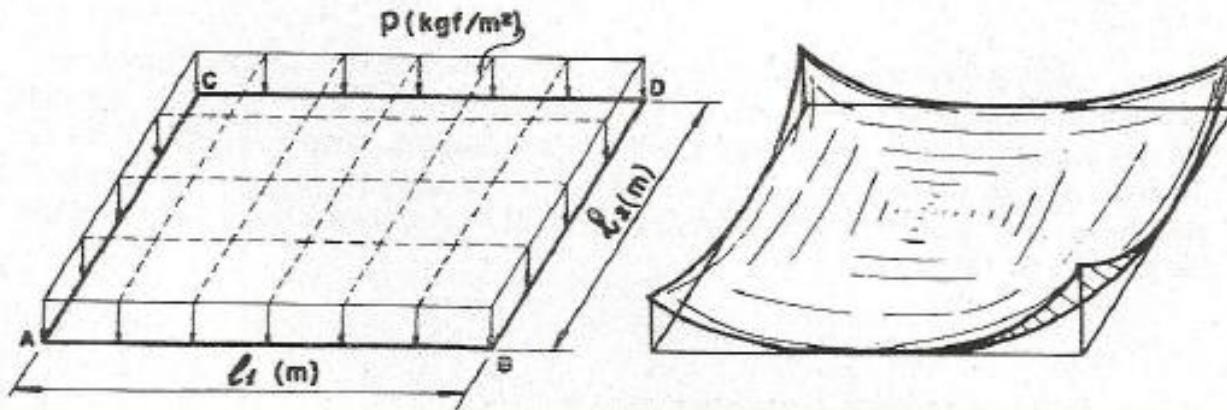
FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: VIGAS (CISALHAMENTO)



Set.eesc.br

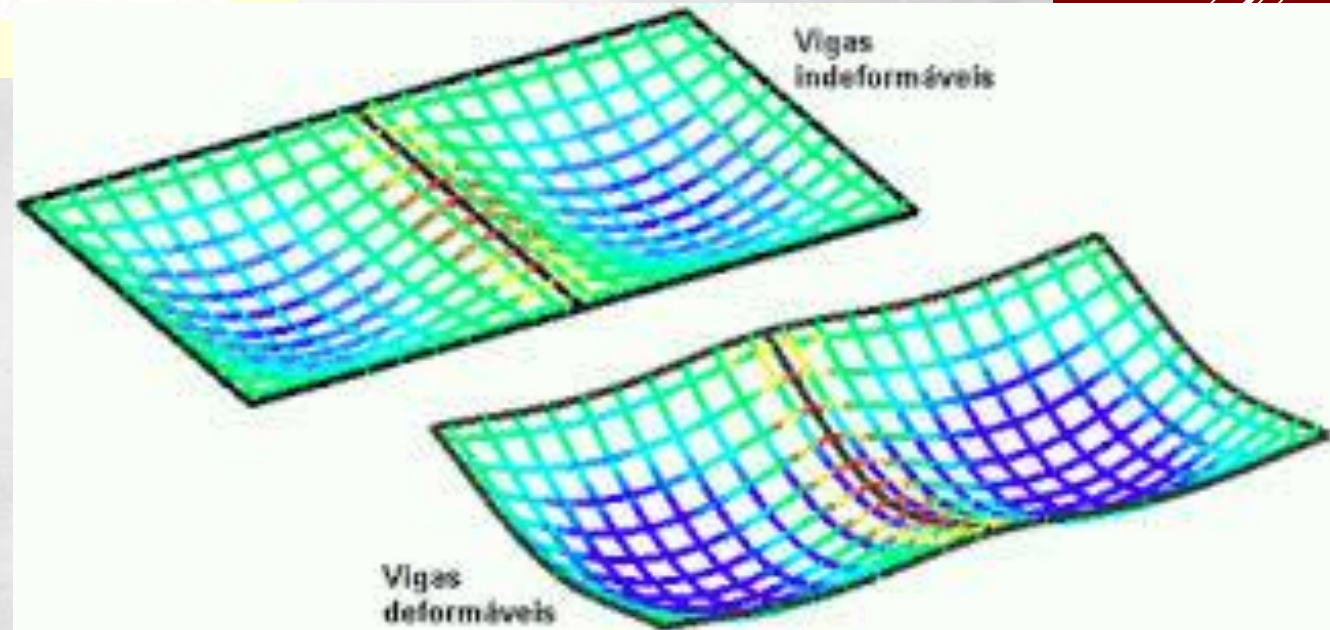


FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: LAJES

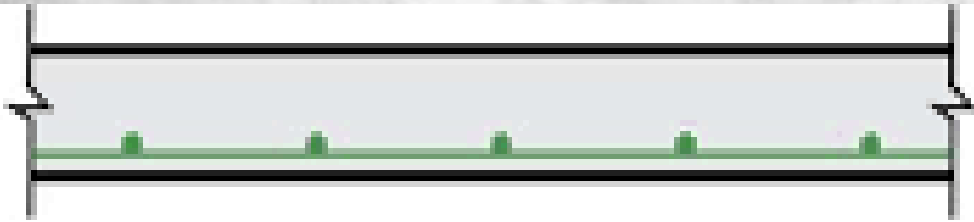


altoqi.com.br

FUNDAMENTOS DO PROJETO ESTRUTURAL – PÉRICLES FUSCO



FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: LAJES



laje maciça

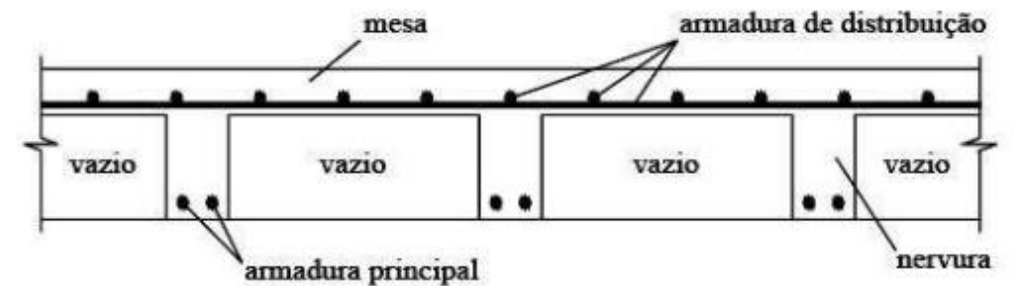
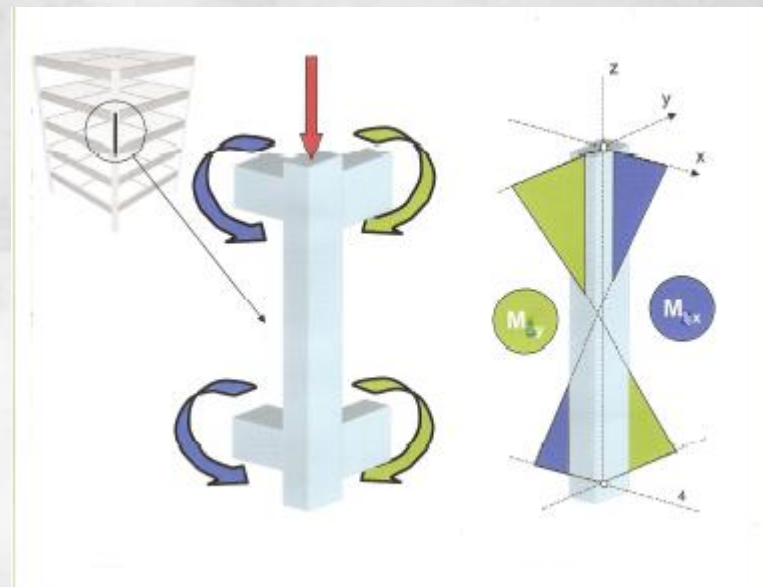


Fig. 01 - Laje nervurada moldada no local

FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: PILARES

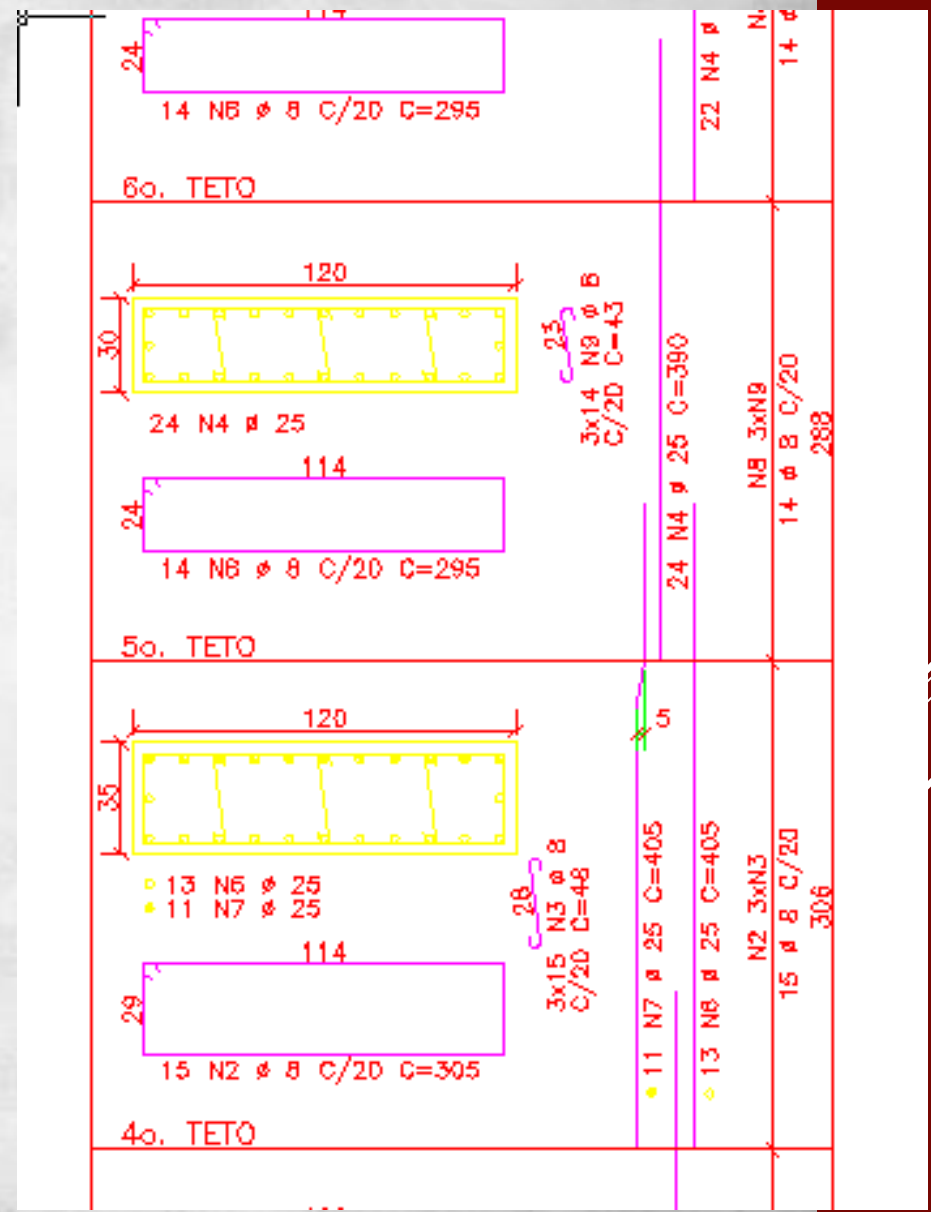
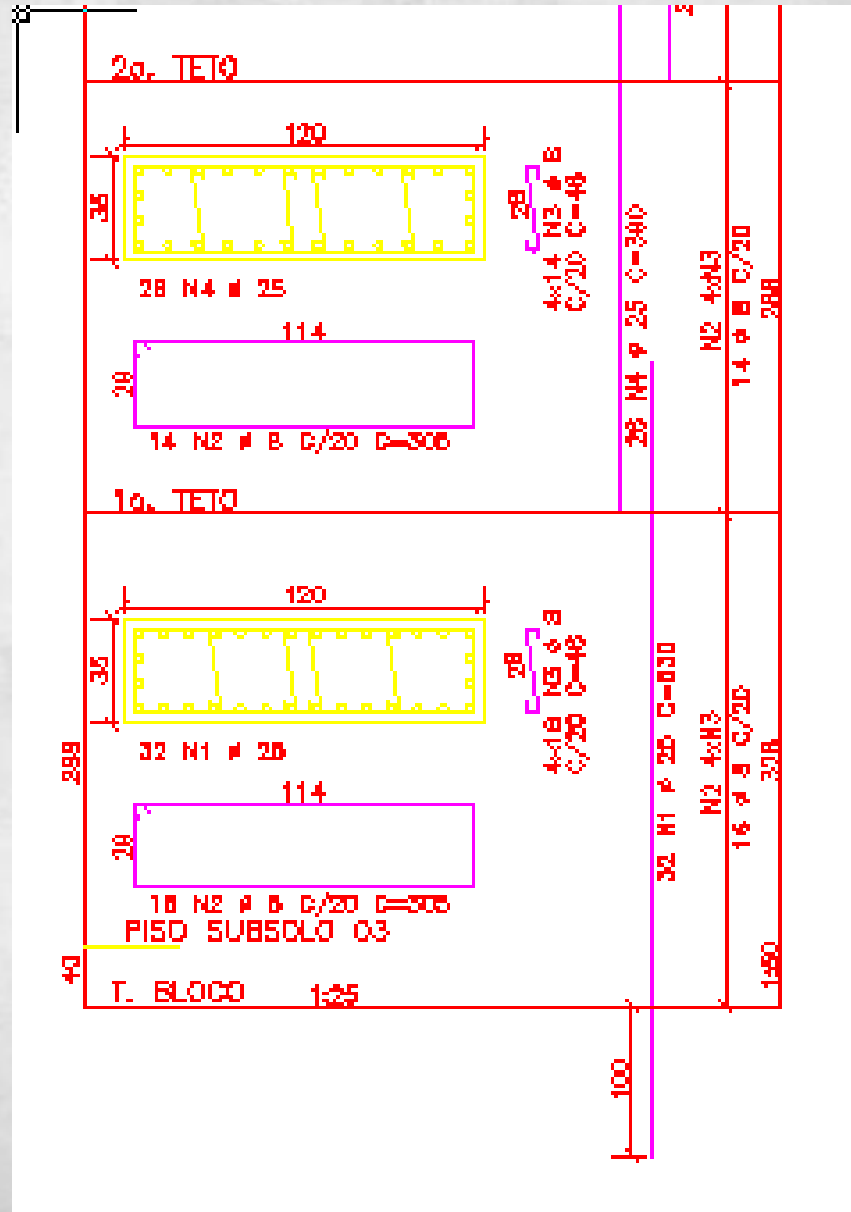


13.2.3 Pilares e pilares-parede

A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na Tabela 13.1 e na Seção 11. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm^2 .

FUNCIONAMENTO ELEMENTOS ESTRUTURAIS: PILARES

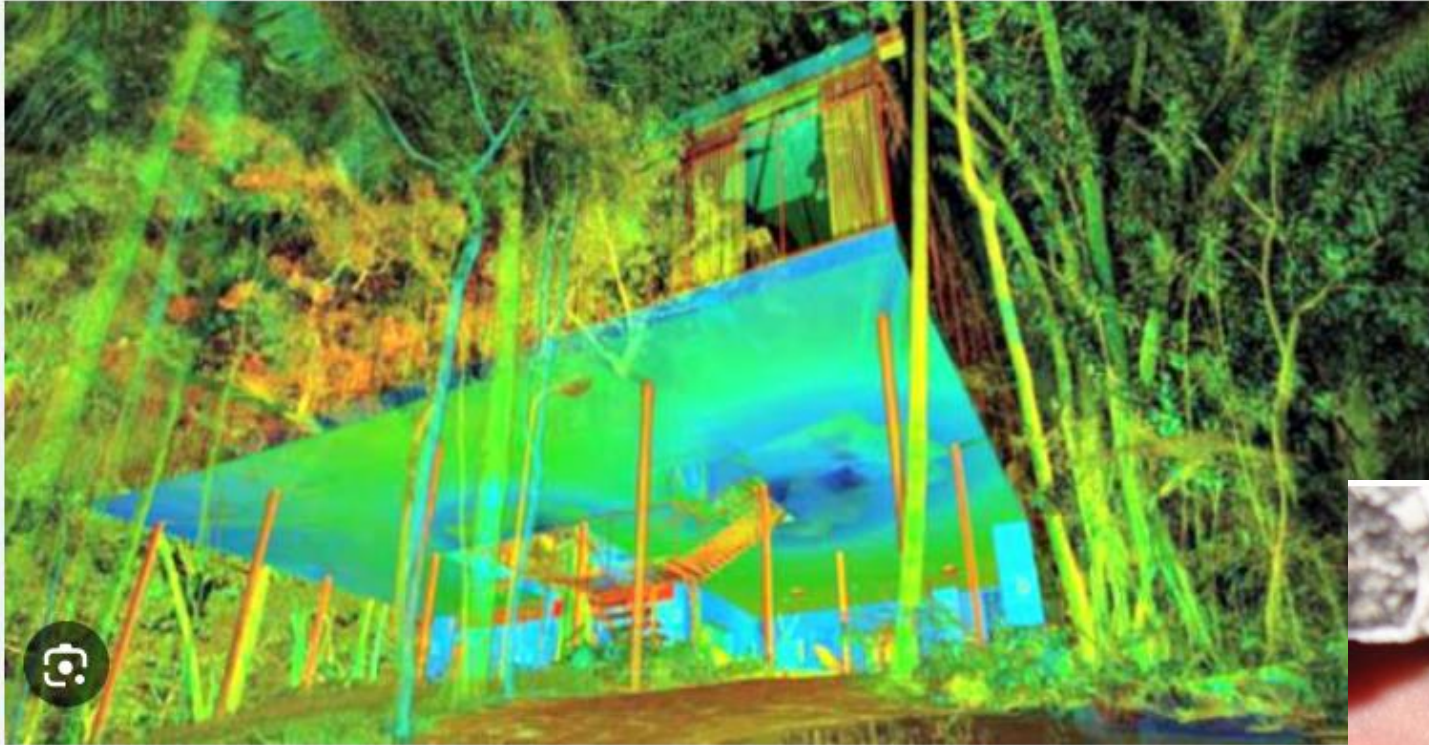


2

PRINCIPAIS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS



Cimento Itambé



Escaneamento a laser 3D recupera obras com precisão |
Cimento Itambé

Visita

LEVANTAMENTO



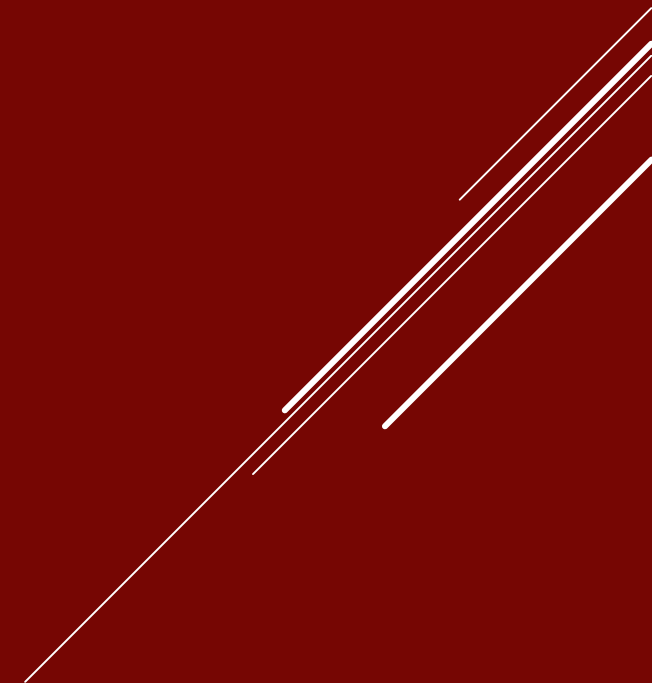
1. Exame Visual
2. Histórico da Patologia !!!
3. Identificar agressividade meio
4. Eliminar cobrimento
5. Ensaios



INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO: PRELIMINAR

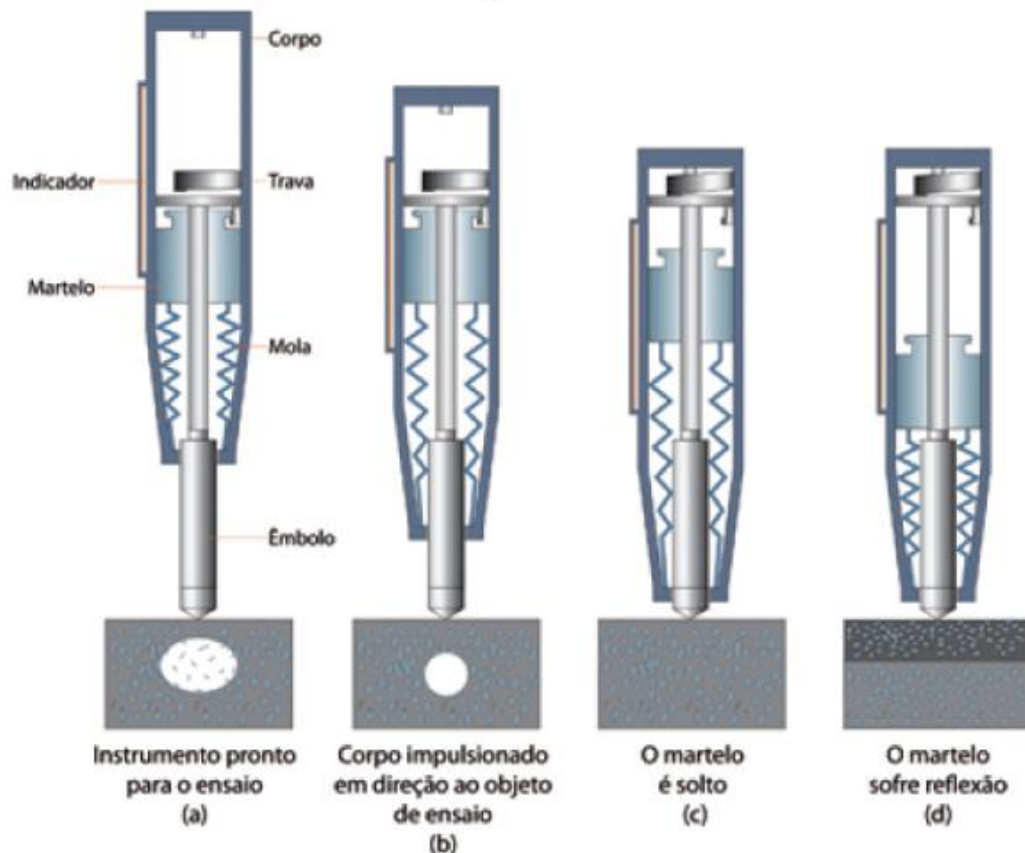
1. Resistência mecânica do concreto
2. Teor Cloretos
3. Carbonatação
4. Potencial de corrosão
5. Avaliar perda de seção de Aço

INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO:
ENSAIOS



- Esclerometria

- Princípio de funcionamento do aparelho



ENSAIOS: ESCLEROMETRIA



prof.eduardo.cabral
prof.eduardo.cabral · Áudio original

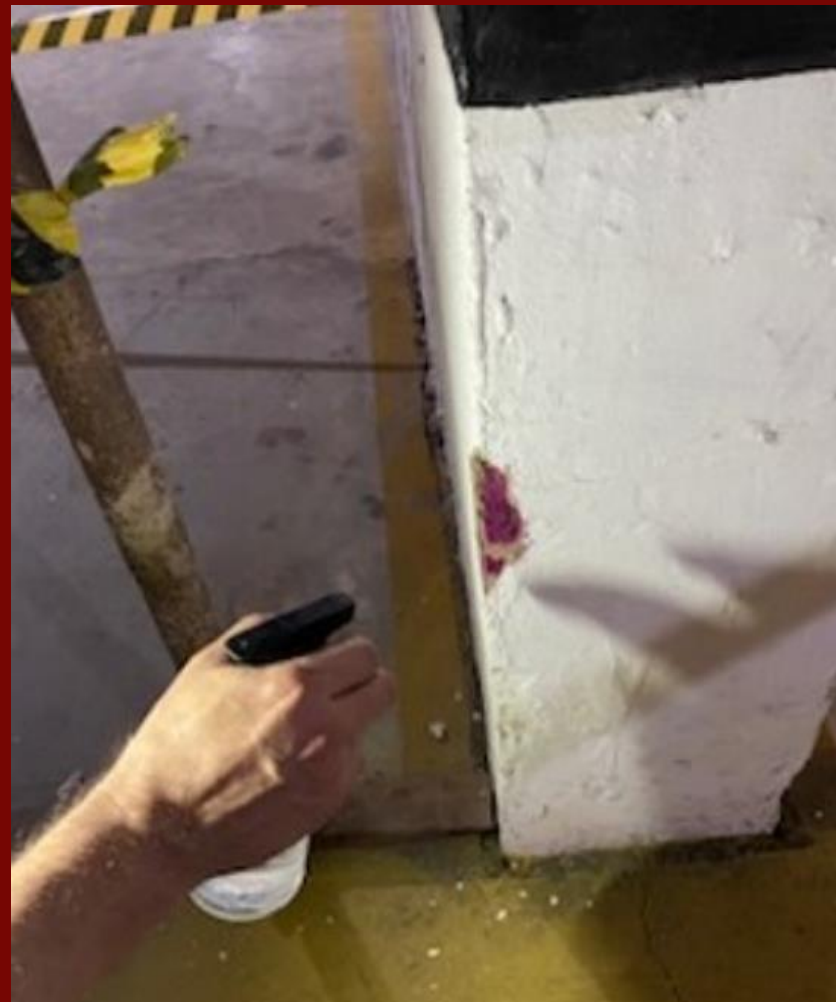
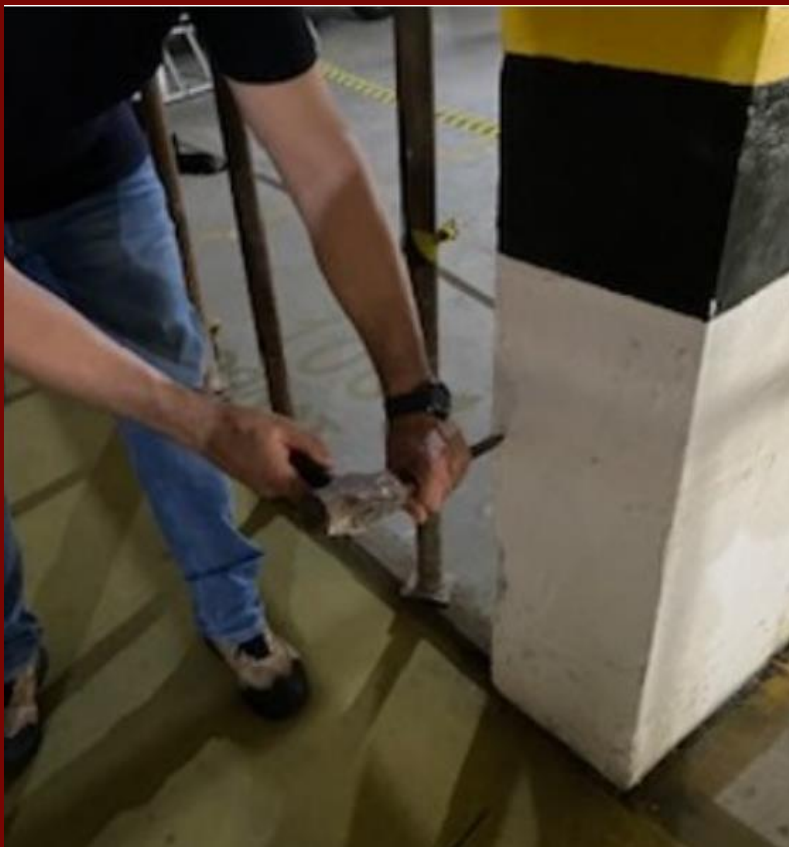




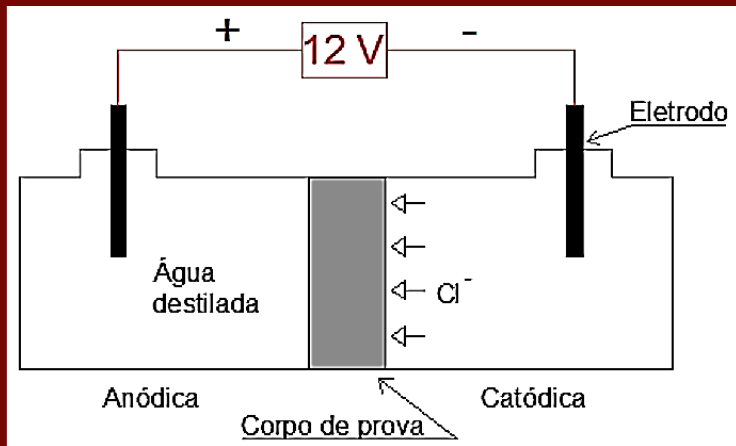
ENSAIOS: EXTRAÇÃO CP



ENSAIOS: PACÔMETRO



ENSAIOS: CARBONATAÇÃO



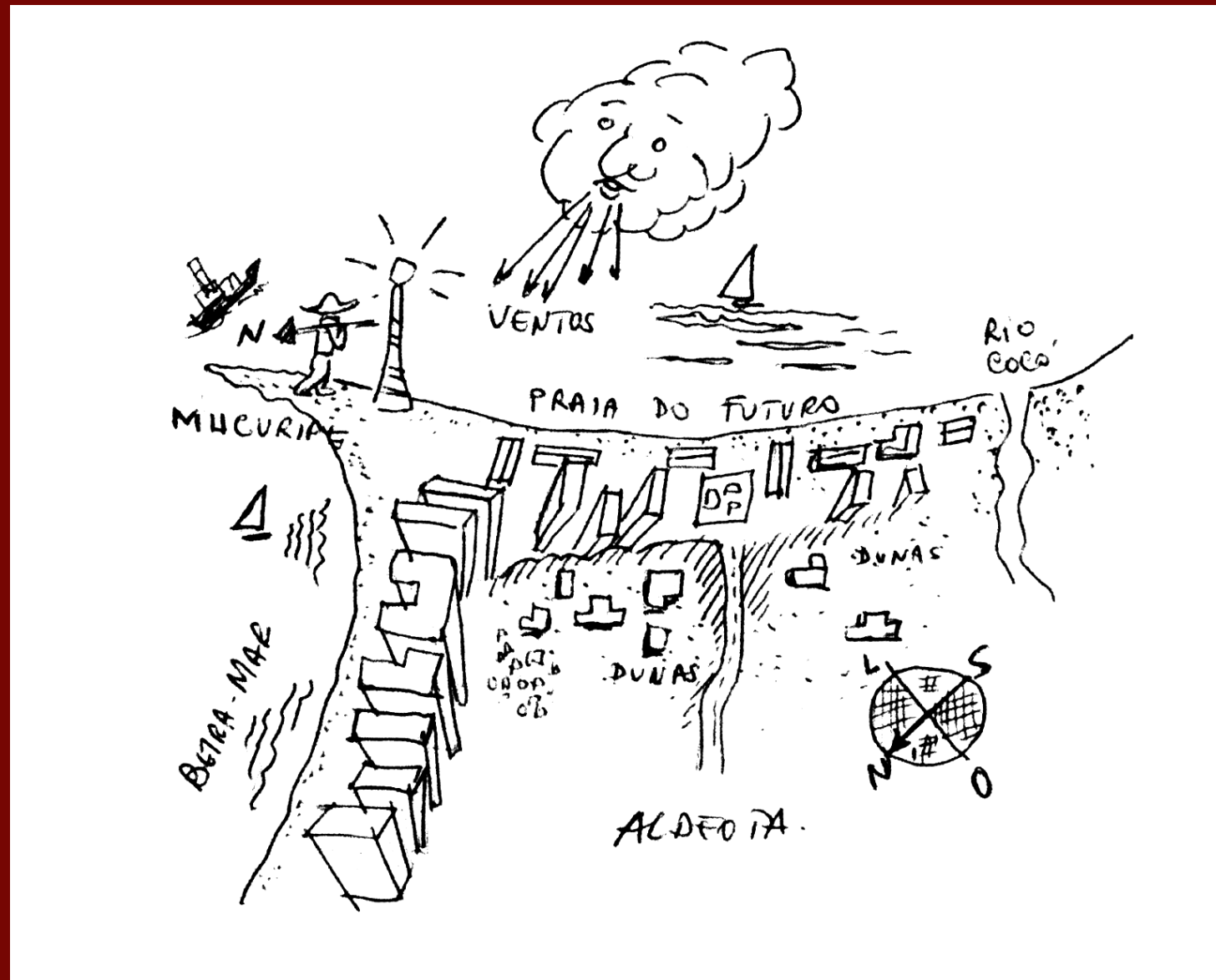
ENSAIOS: DIFUSÃO DE CLORETOS

PRAIA DO FUTURO (FORTALEZA)

"PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES (2002)"

PROF. JOSÉ EMÍDIO BEZERRA

JOTEC ENGENHARIA



REQUISITOS DE NORMAS

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

^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.

FIGURA 22 - PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS DE AGRESSIVIDADE SEGUNDO A 2ª LEI DE FICK.



- CLASSE IV - MUITO FORTE
- CLASSE III - FORTE
- CLASSE II - MODERADA
- CLASSE I - FRACA

REQUISITOS DE NORMAS

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

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 ≥ 15 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 Nos casos de estruturas expostas a ambientes agressivos, o cobrimento nominal deve ser determinado de acordo com a classe de agressividade ambiental e o tipo de elemento estrutural.



COM3: Existing Concrete Structures

ACI code for evaluating existing buildings prior to repair

Q. Which ACI code, ACI 318 or ACI 562, should be used for an evaluation of an existing building prior to its repair?



American Concrete Institute
Always advancing

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA



Obrigado

