



Procedimientos de Reparación

Tradición y Modernidad

Eng. Paulo Helene
*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo PCC.USP
 Deputy Chairman of fib (CEB-FIP) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"
 Coordinador Internacional de la Red REHABILITAR CYTED
 Diretor Conselheiro do IBRACON*

Montevideo Uruguay 16 a 18 de Junio de 2003 REHABILITAR Red Temática XV.F

1

HARIK ⇒ ASCE USA Bridge Failures
DUNKER & RABAT ⇒ Iowa State University
SKALNY ⇒ Concrete Durability: a Multibillion-dollar Opportunity

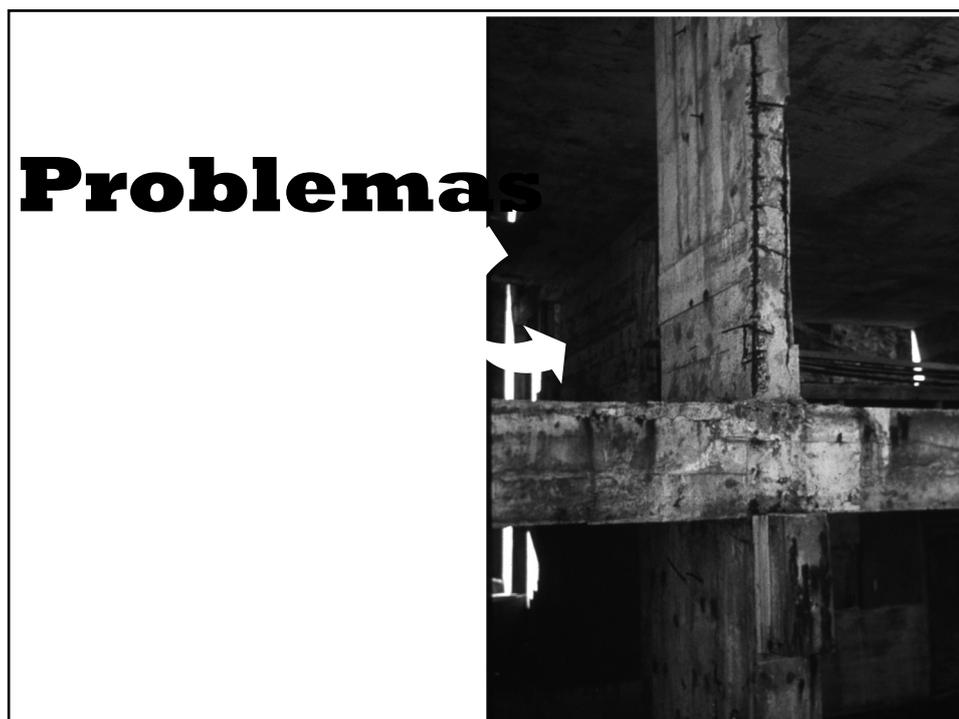
- **600.000 pontes**
- **40 anos → 120 incidentes graves**
- **40 anos → 91 colapsos**
- **200.000 deficientes**
- **130.000 restrições de carga**
- **6.000 interditadas**
- **150 a 200 tramos graves / ano**

2

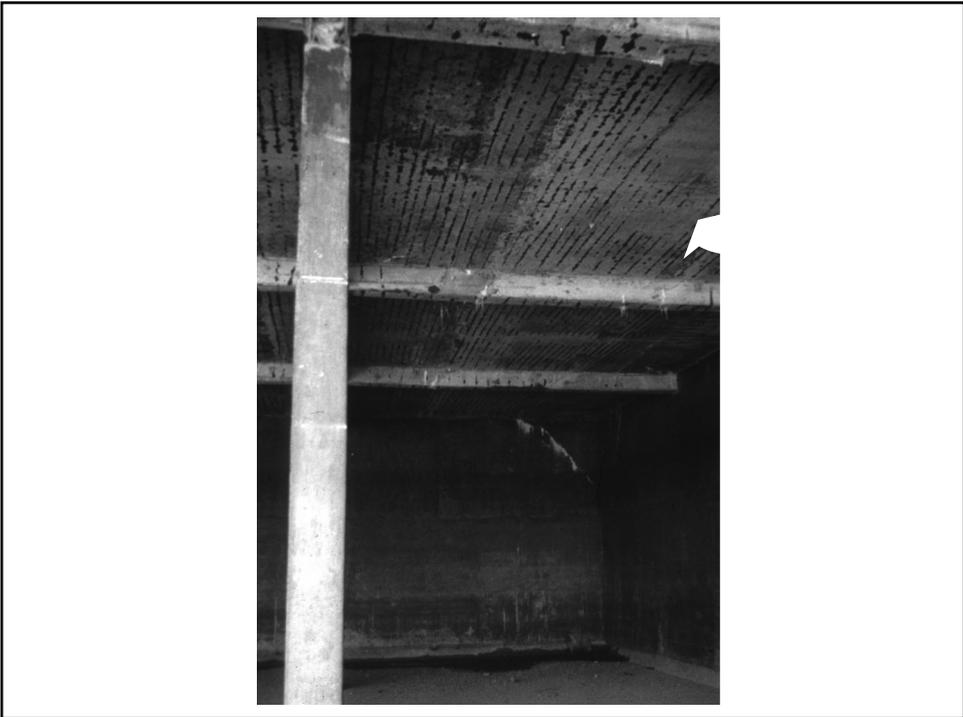
MAGALHÃES, POLLONI & FURMAN ⇒ Situação crítica das obras de arte SP e BR
KLEIN & CAMPAGNOLO ⇒ UFRGS Pontes e viadutos no país

- **60.000 pontes e viadutos**
- **São Paulo 30 pontes 181 viadutos**
- **SP → 6.128 obras DER / SP**
- **SP → 58% corrosão**
- **12% alto risco**
- **22% médio risco**
- **drenos; juntas; apoios; fissuras**

3



4



5



6

Por quê?

**Alteração das características
iniciais do concreto**

- ✓ *Perda da passivação*
- ✓ *Corrosão eletroquímica*

7

Por quê?

Falta diagnóstico:

- ✓ **origem;**
- ✓ **agentes causadores;**
- ✓ **sintomas;**
- ✓ **mecanismo.**

8

Por quê?

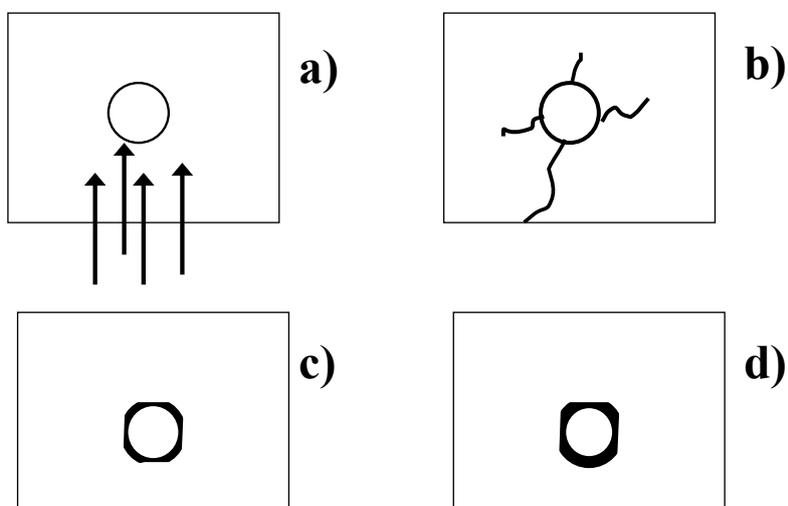
✓ cloretos

✓ carbonatação

húmus, fungos, fissuras, lixiviação, retração

9

Deterioração progressiva devida a corrosão de armaduras



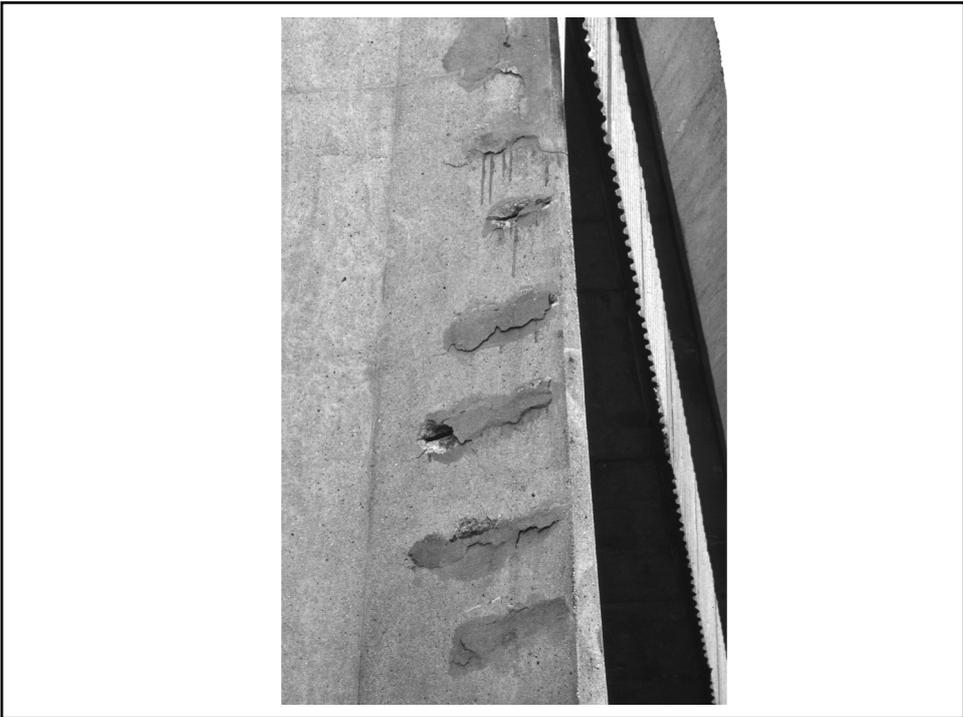
10

INSUCESSOS!

11



12



13



14



15



16



17



18

Por quê?

falta:

- **diagnóstico**
- **material**
- **procedimento**
- **visão sistêmica**

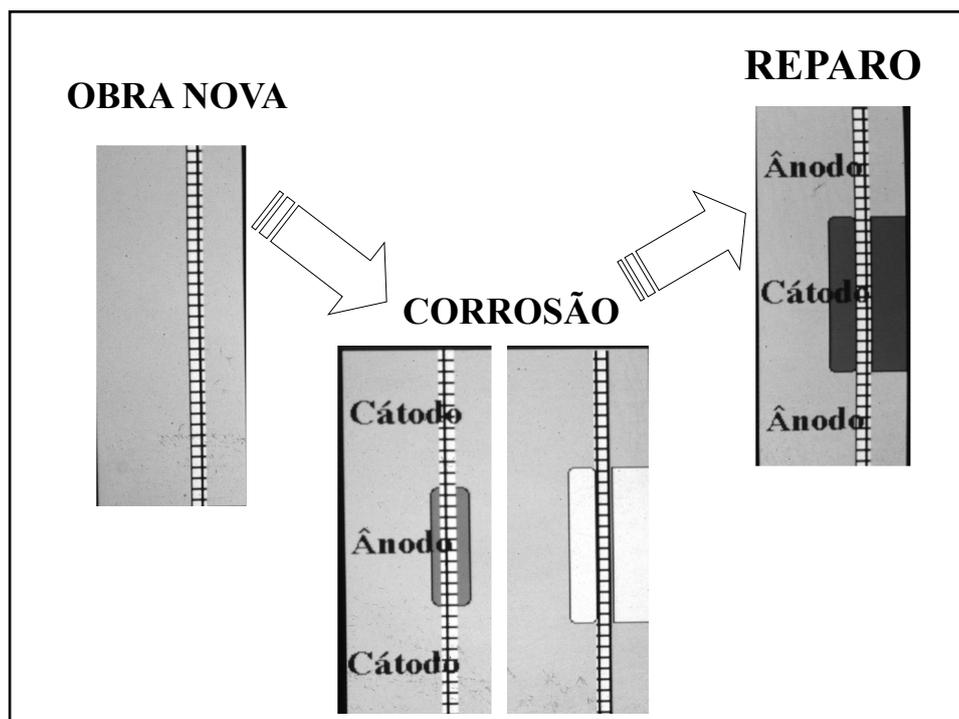
19

OBRA NOVA

X

REPARO

20



21

METODOLOGIA DE REPARO

22

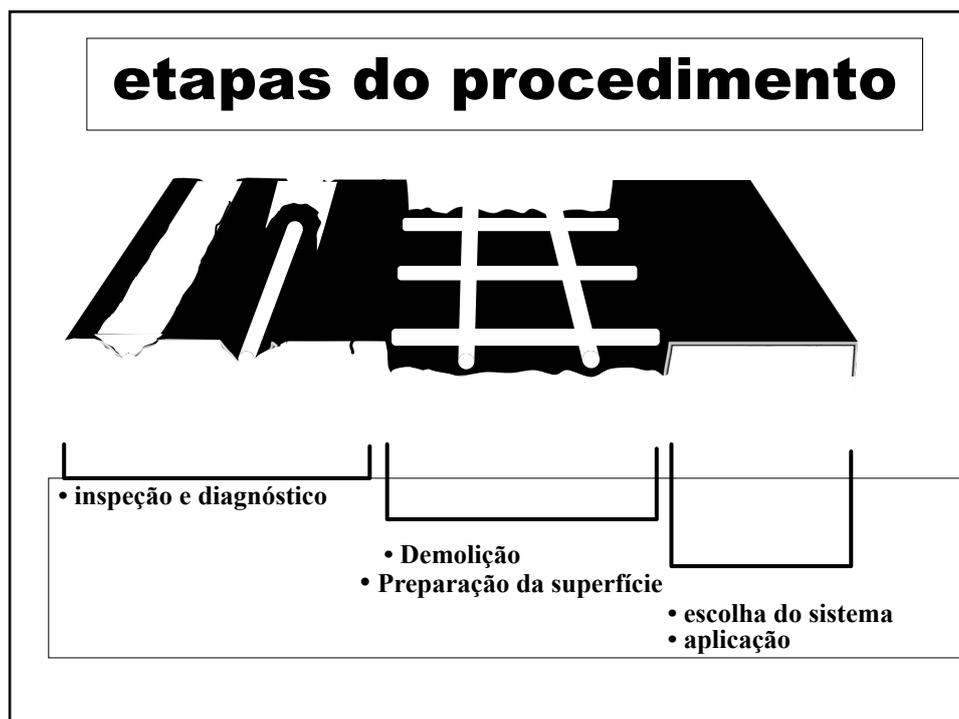
Referências:

- ❖ ACI 516 concrete repair
- ❖ CEB coating protection for reinforcement
- ❖ COMETT Project 7352 Cb concrete repair
- ❖ Red Rehabilitar manual de rehabilitación ..
- ❖ GEHO morteros de reparación
- ❖ IMCYC Reparación, Refuerzo y Protección de..
- ❖ RILEM 124 SRC repair strategies for concrete structures...

23



24



25

Lavagem da Superfície

26

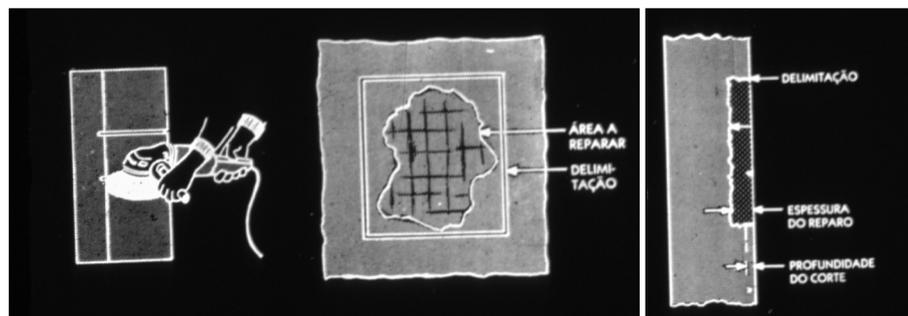


27

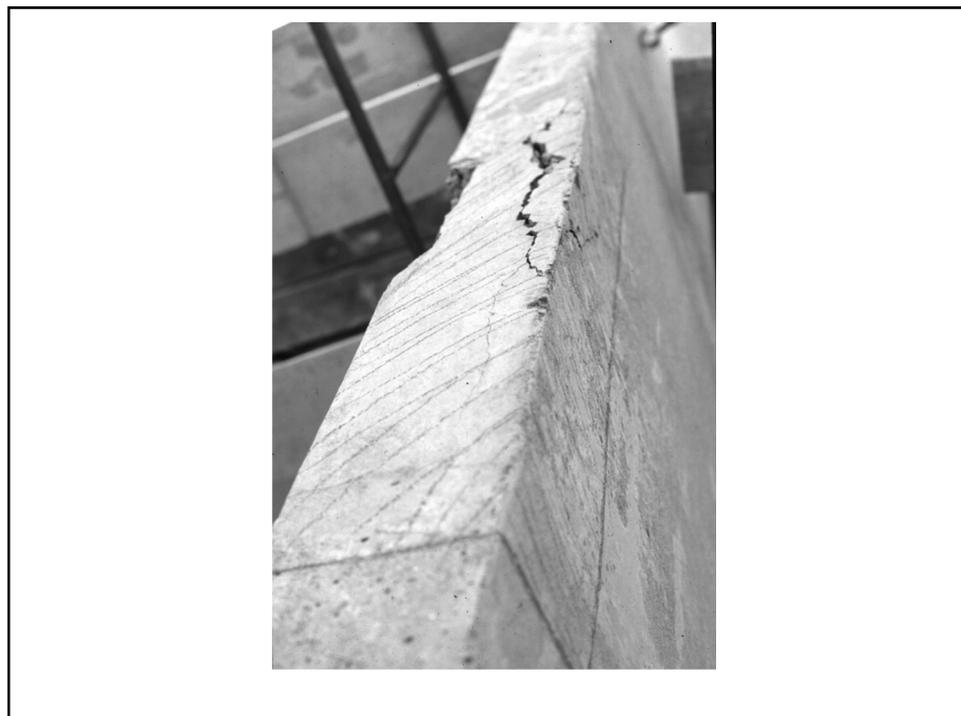
Delimitação das Regiões de Reparo

28

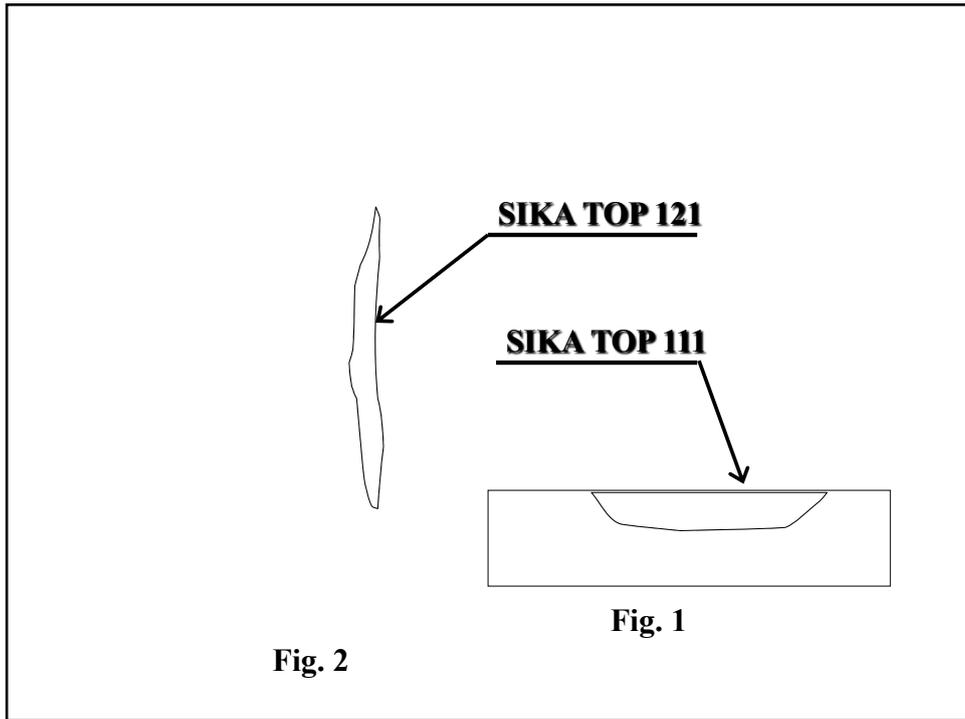
Delimitação das regiões de reparo



29



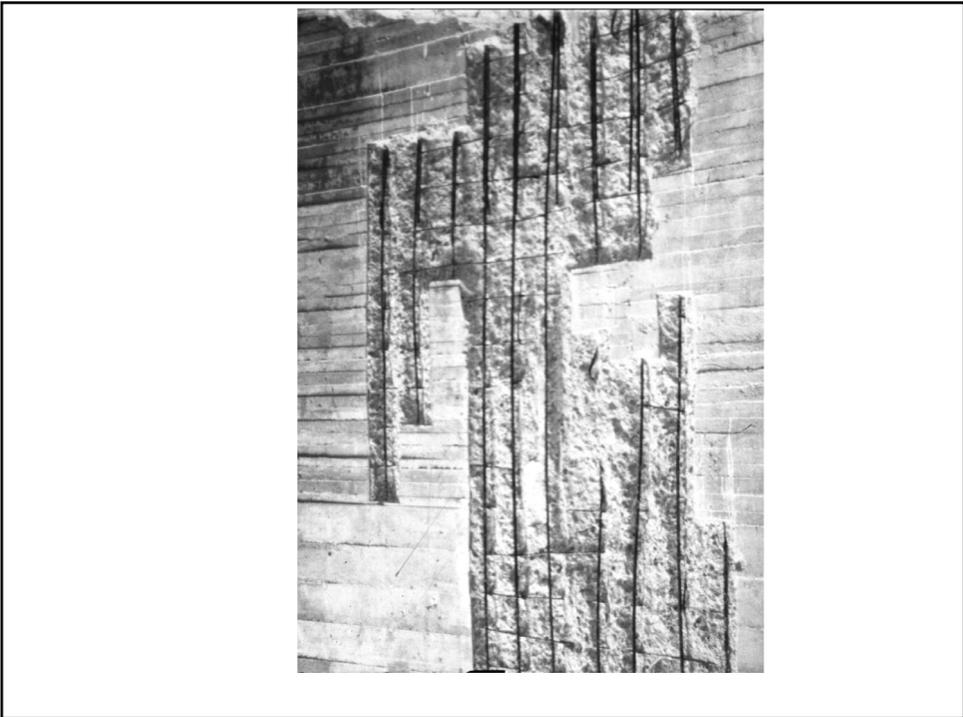
30



31



32



33

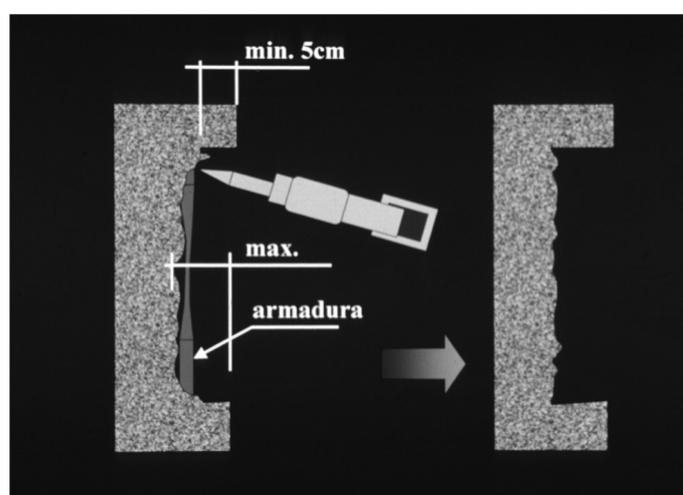


34



35

ESCARIFICAR, CORTAR ARMADURA, LIMPAR



36



37



38



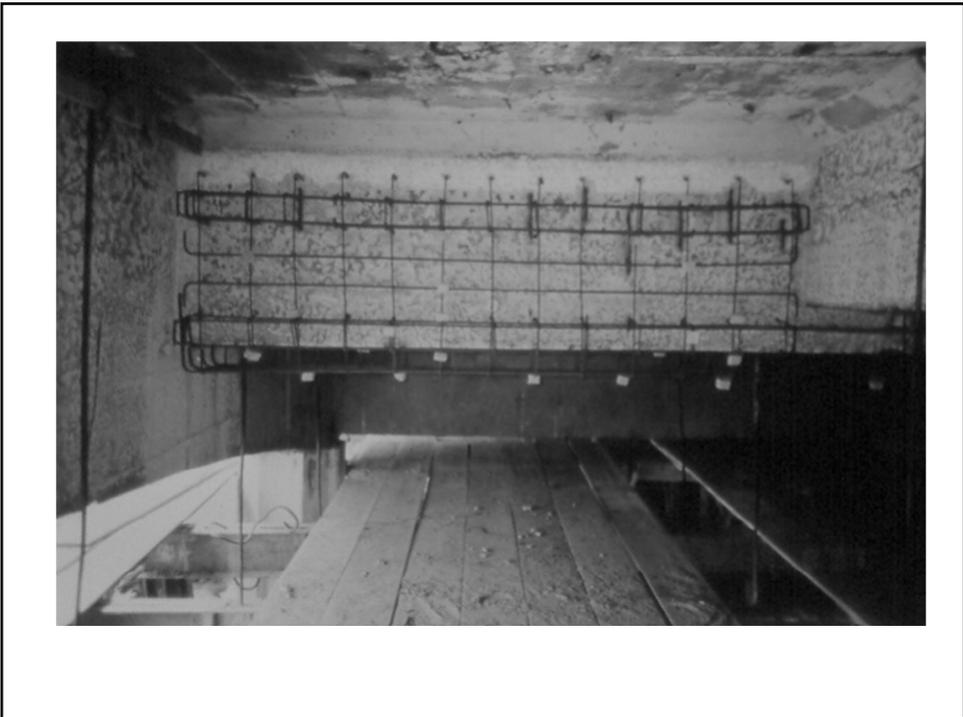
39



40



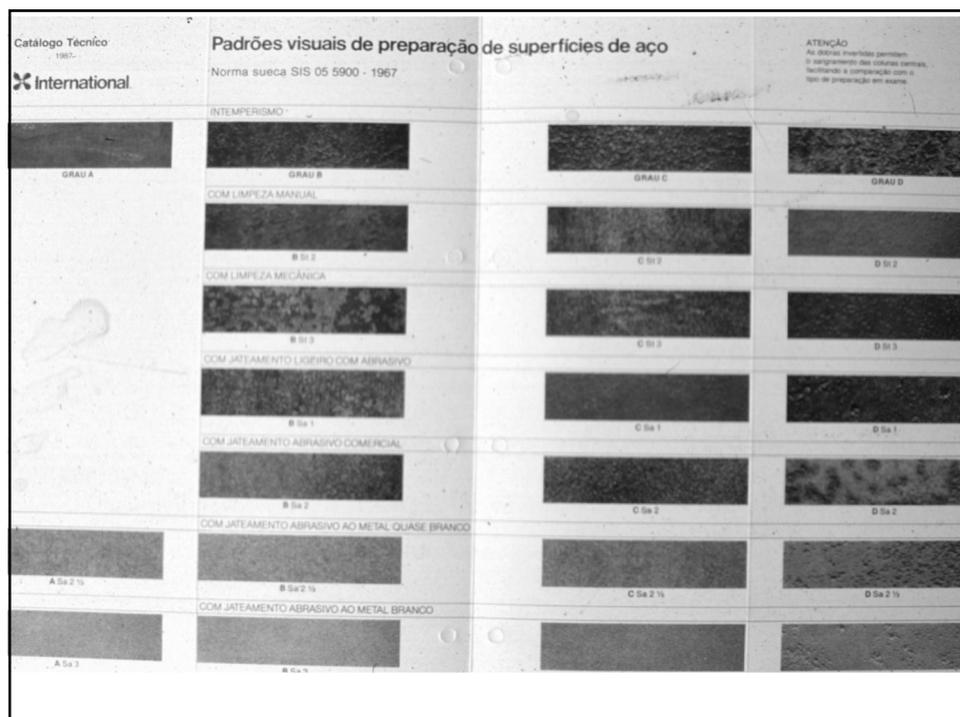
41



42

LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES DO CONCRETO E ARMADURAS

43

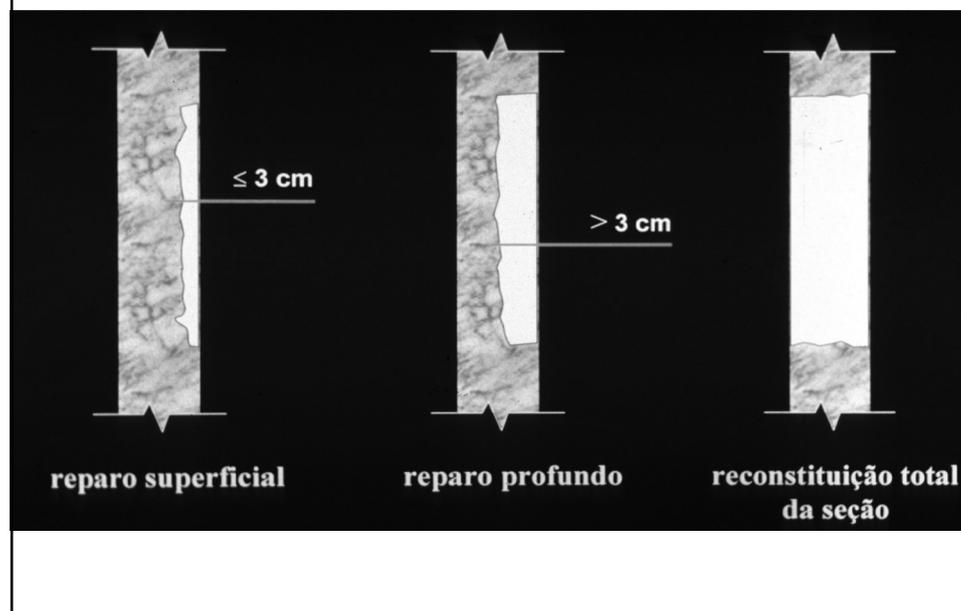


44

RECONSTITUIÇÃO DA PEÇA EM REPARO

45

Segundo a profundidade da escarificação

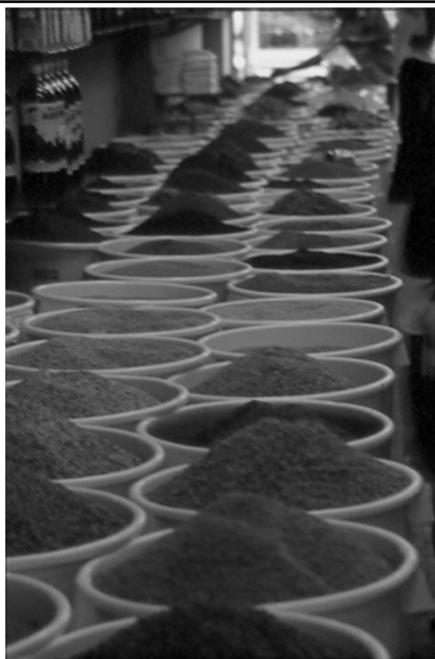


46

Morteros

- **Base cimento modificado com polímeros**
- **Base orgânica (epóxi, poliéster)**

47



48



49



50



51



52



53



54

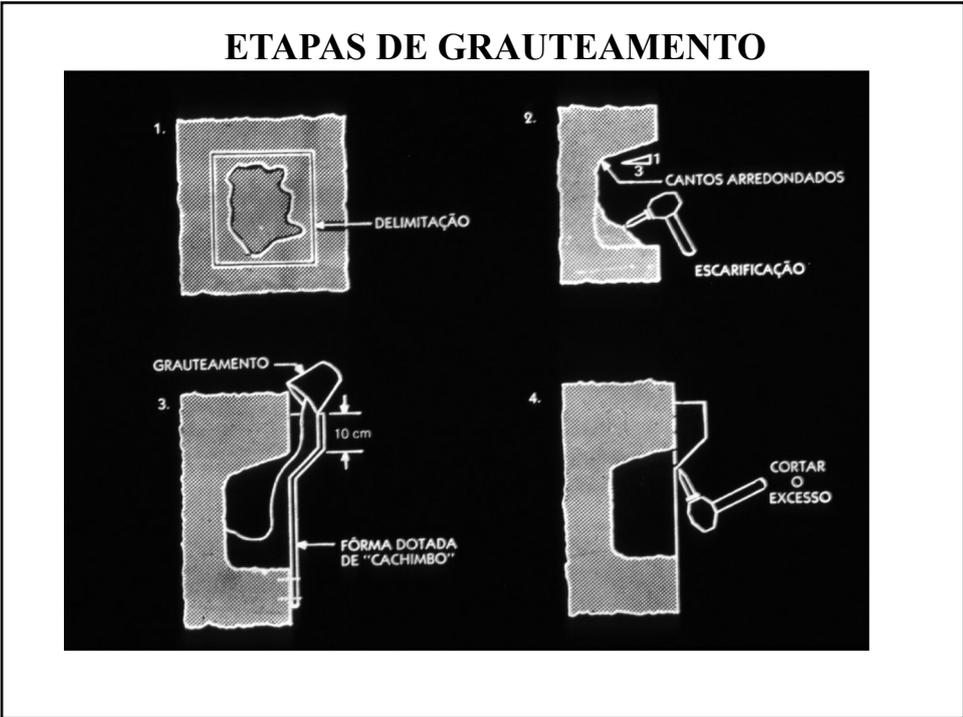


55

REPAROS PROFUNDOS ($e > 50$ mm)

- 1. GRAUTE BASE DE CIMENTO**
(Adição de agregados graúdos)
- 2. MICRO-CONCRETO**
- 3. CONCRETO**
- 4. CONCRETO PROJETADO**

56



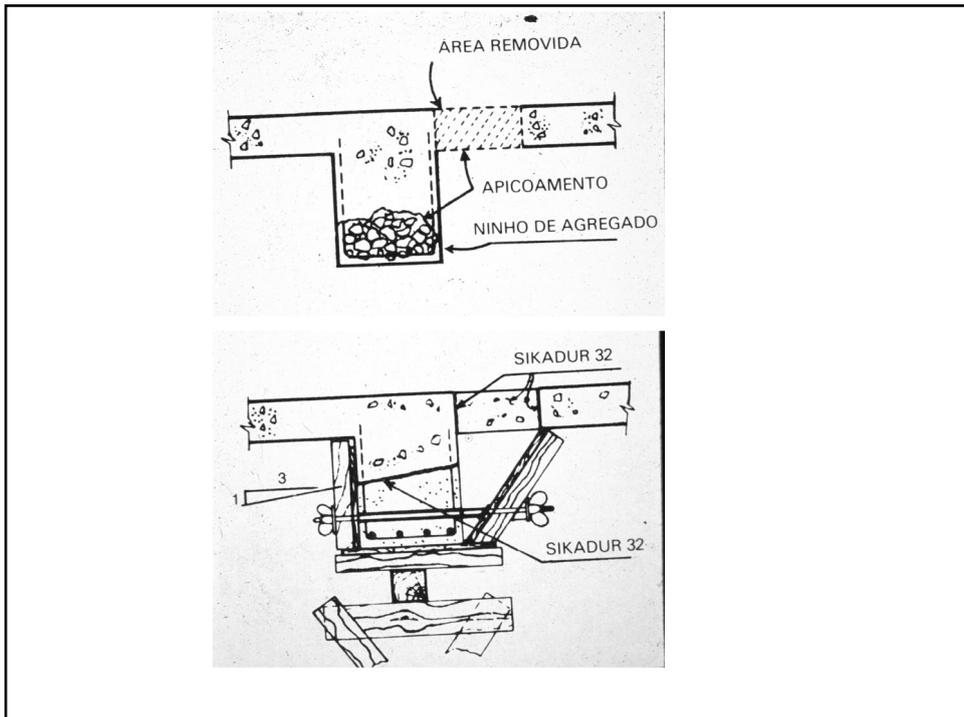
57



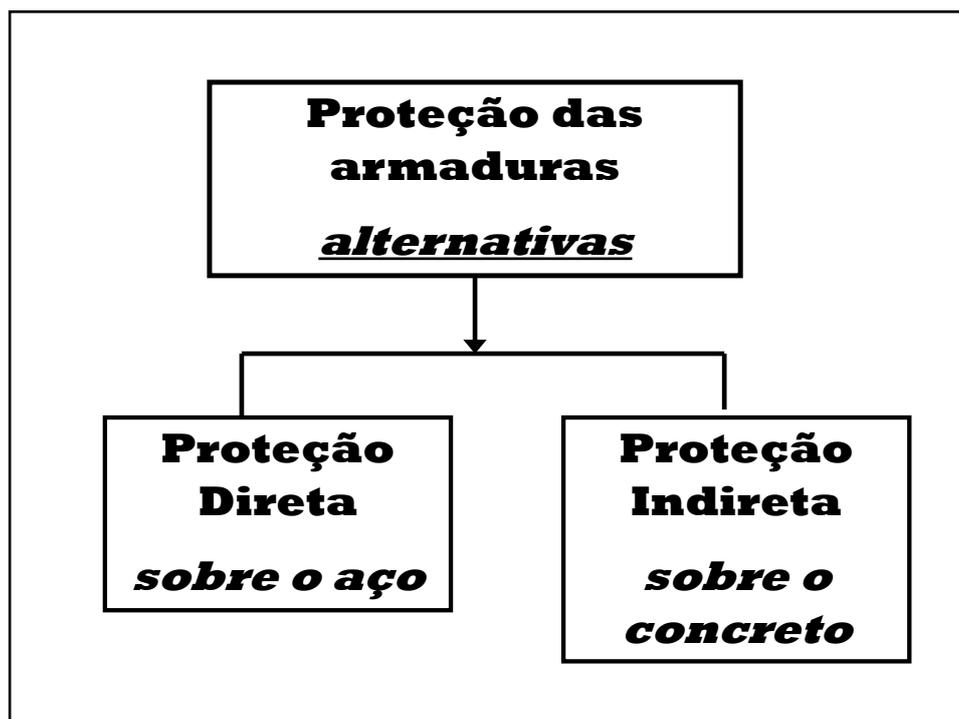
58



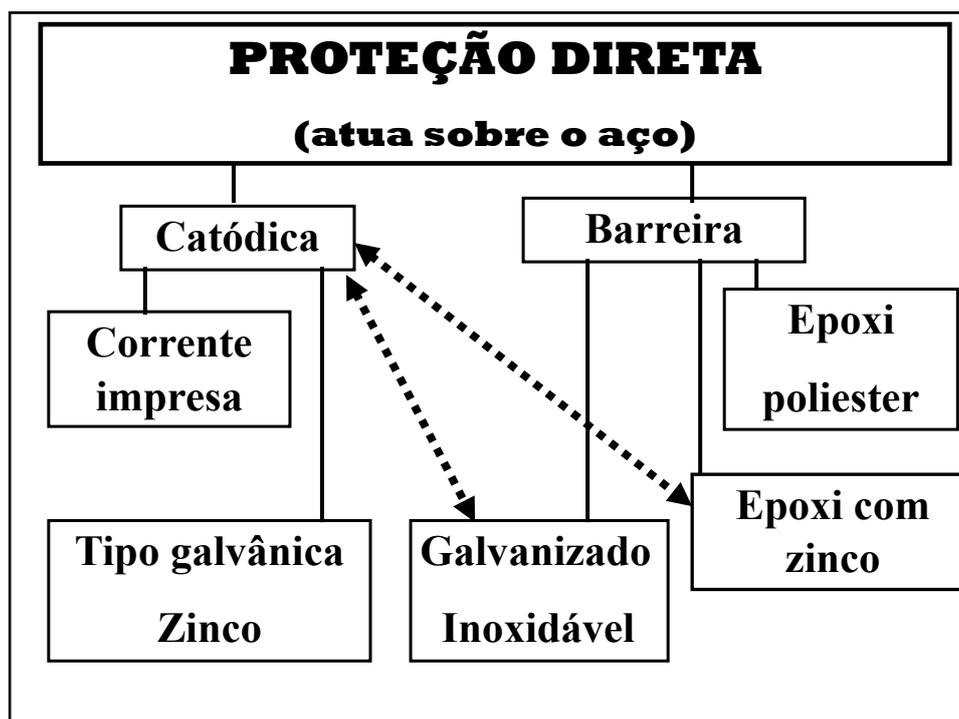
59



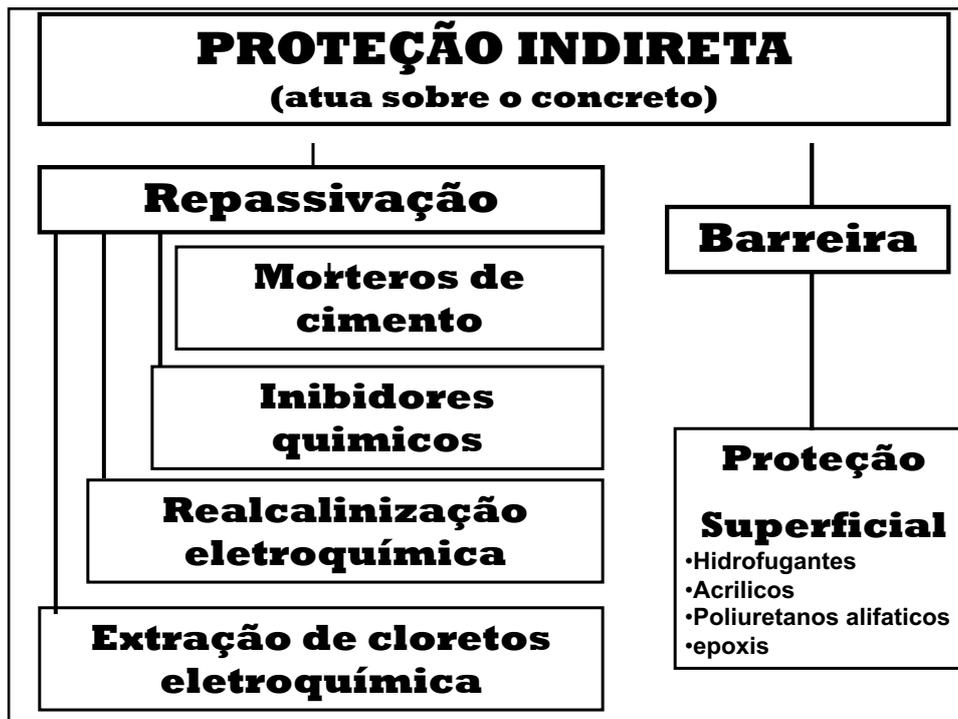
60



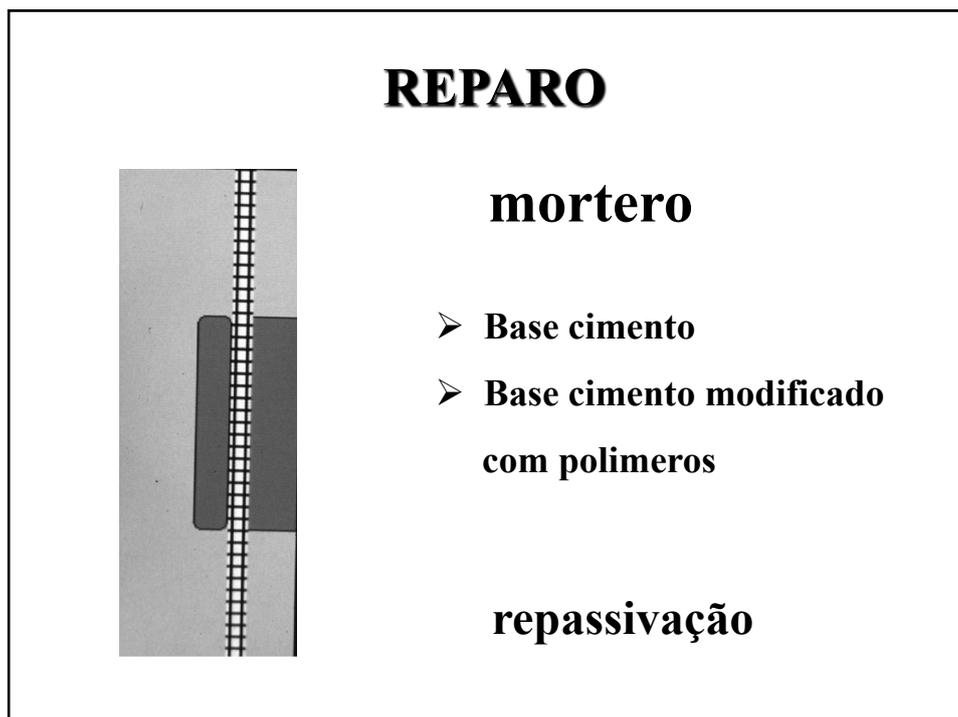
61



62

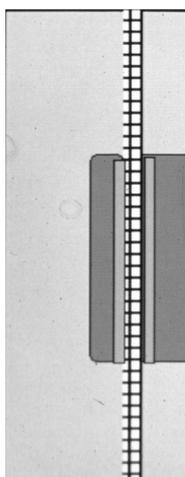


63



64

REPARO



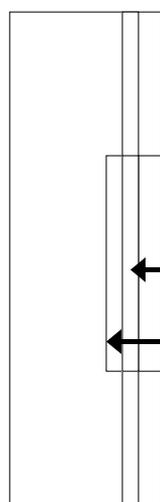
Primer + mortero

- Base cimento
- Base epóxi

barreira + repassivação

65

APLICAÇÃO DE ADESIVO SOBRE AS SUPERFÍCIES DAS ARMADURAS E DO CONCRETO EXISTENTE



- SBR ou acrílico sobre substrato úmido
- Epoxi sobre substrato seco

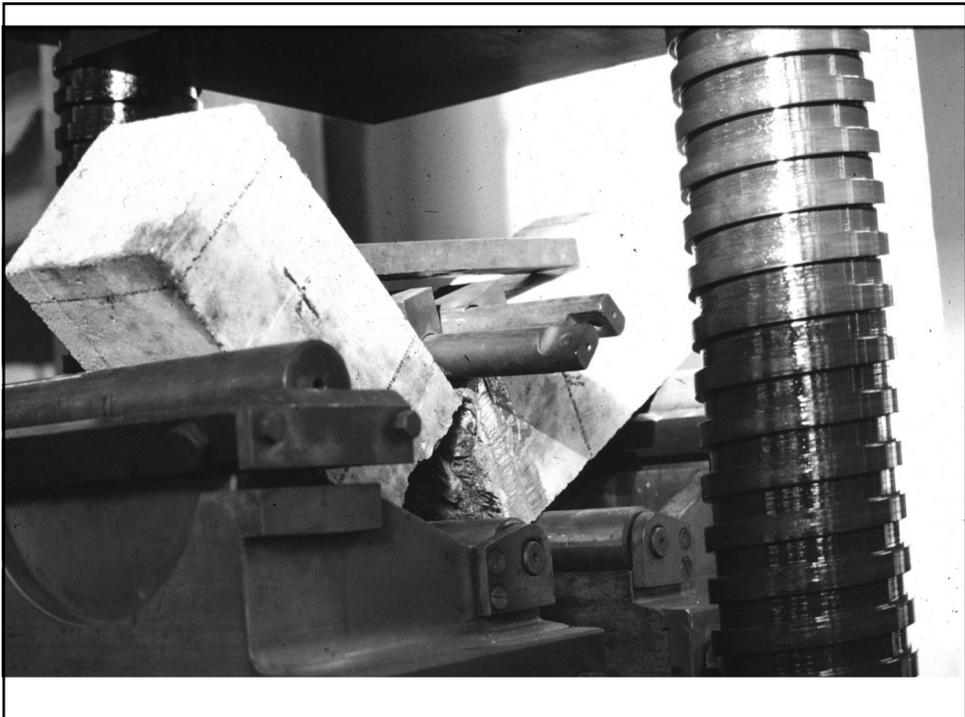
← Adesivo (armadura)

← Adesivo
(concreto existente)

66



67



68

RECONSTITUIÇÃO DO CILINDRO

69



70



71



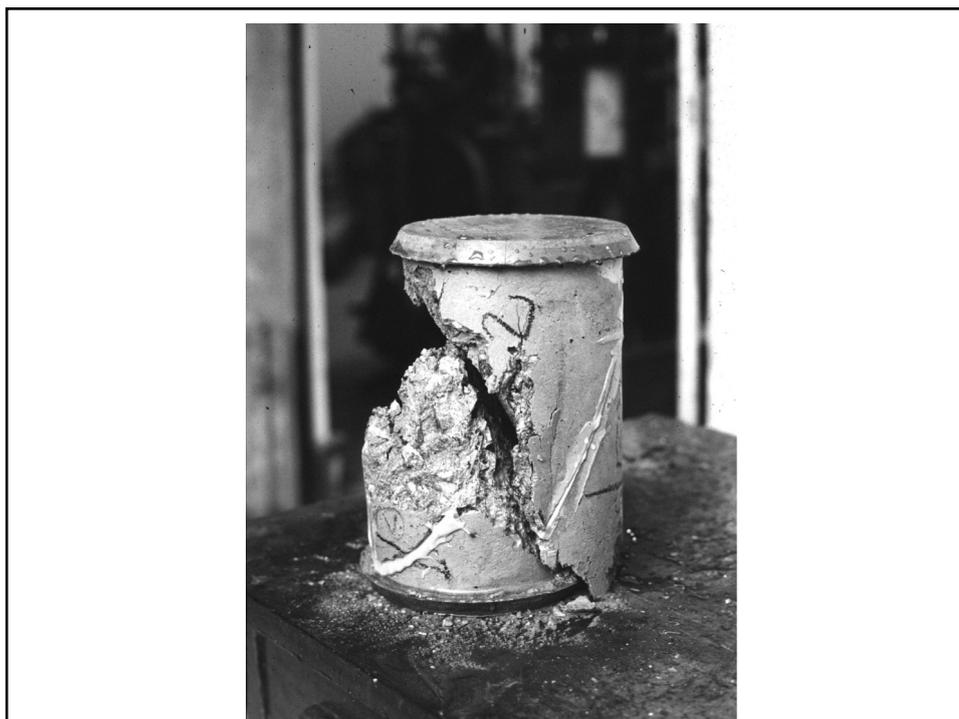
72



73



74

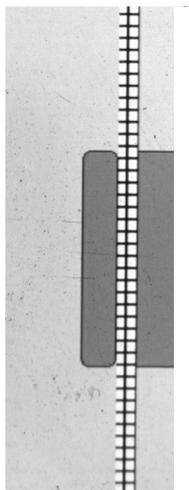


75

CONDIÇÃO	absoluto		relativo	
	MPa		%	
REFERÊNCIA	31,8		100	
UNIÃO ENDURECIDO COM FRESCO	NIHIL	26,3	13,1	82
	A	15,8	7,9	50
	B	27,1	13,5	85
	C	31,9	16,0	100
	D	25,0	12,5	79
UNIÃO ENDURECIDO COM ENDURECIDO	A	19,9	10,0	62
	B	30,3	15,2	95
	C	29,3	14,6	92
	D	28,7	14,4	90

76

REPARO

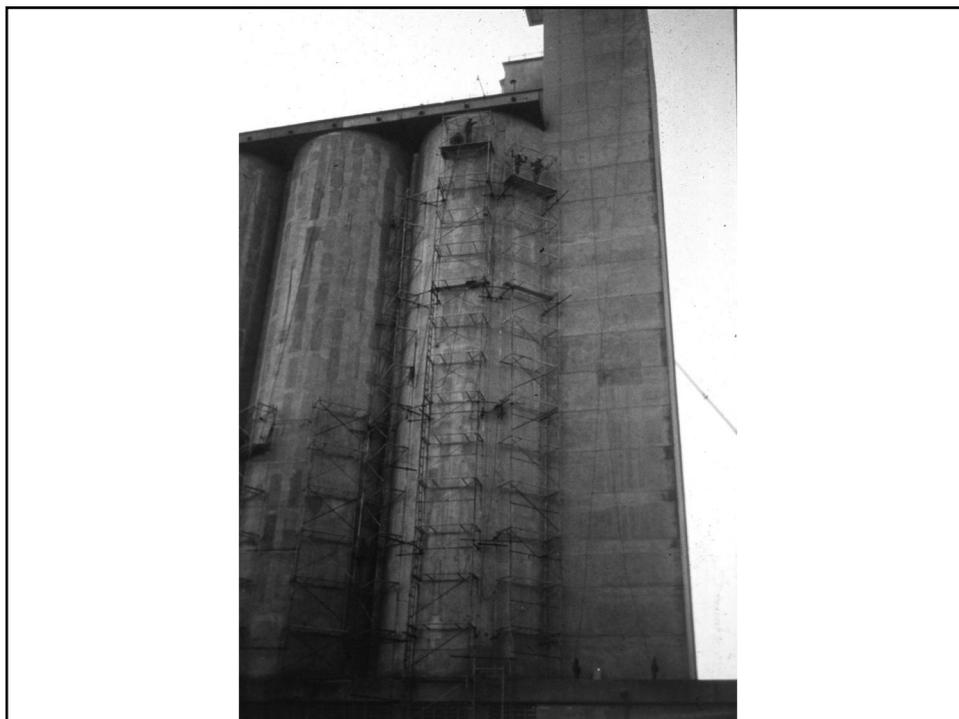


**Mortero +
revestimento:**

- filme impermeável
ao O_2 e H_2O

Repassivação + barreira

77



78



79



80

Comprovação

KAZMIERCZACK, Cláudio. Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação.

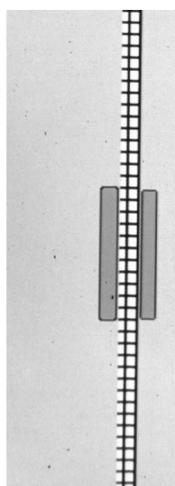
Universidade de São Paulo PCC / USP, 01 junho 1995.

ISA, Mário. Aderência concreto-armadura: influência da corrosão e da proteção catódica.

Universidade de São Paulo PCC / USP, 06 junho 1997.

81

REPARO

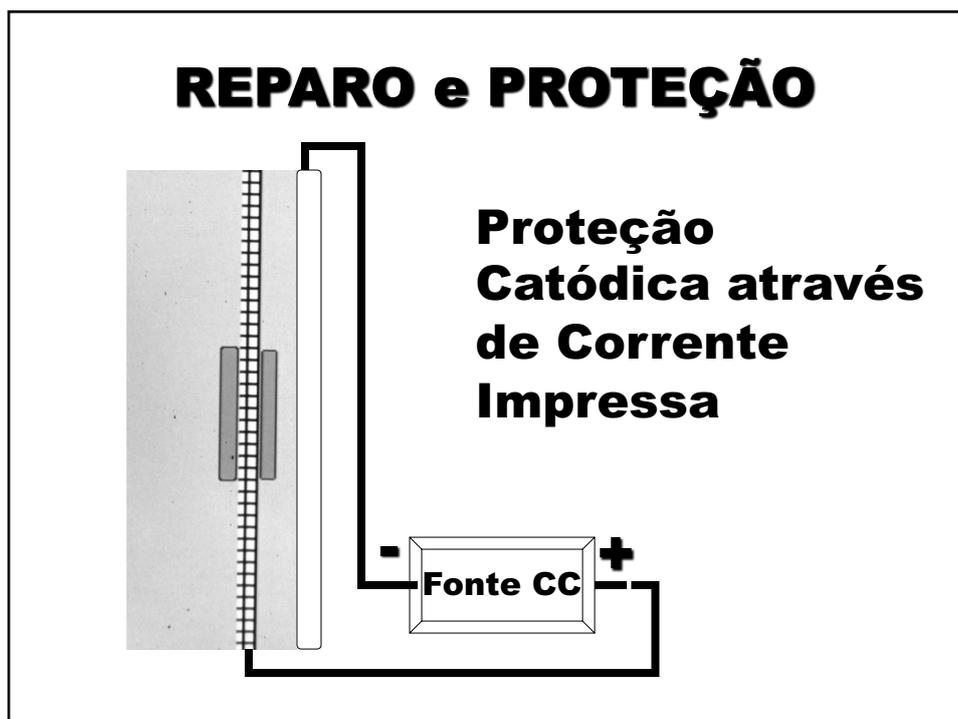


Secagem e
impregnação com
polímeros:

➤ metil metacrilato

barreira

82



83

NDT Métodos de Controle do Desempenho de Sistemas de Proteção Catódica

- E Log I**
- Polarização a 100 mV**
- Queda de polarização**

NACE Standard RP0290-2000

84

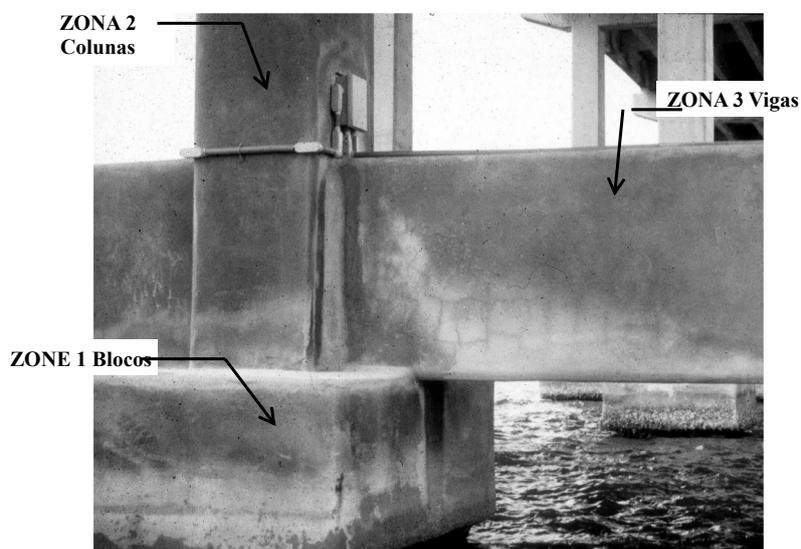
Anodo de sacrificio com malha de titânio



- Sistema mais frequentemente utilizado para proteção de estruturas de concreto por corrente impressa
- O ânodo de sacrifício, de titânio, deve ser instalado sobre a superfície de concreto através de pinos não metálicos
- Todo componente metálico presente na superfície do concreto deve ser isolado do ânodo

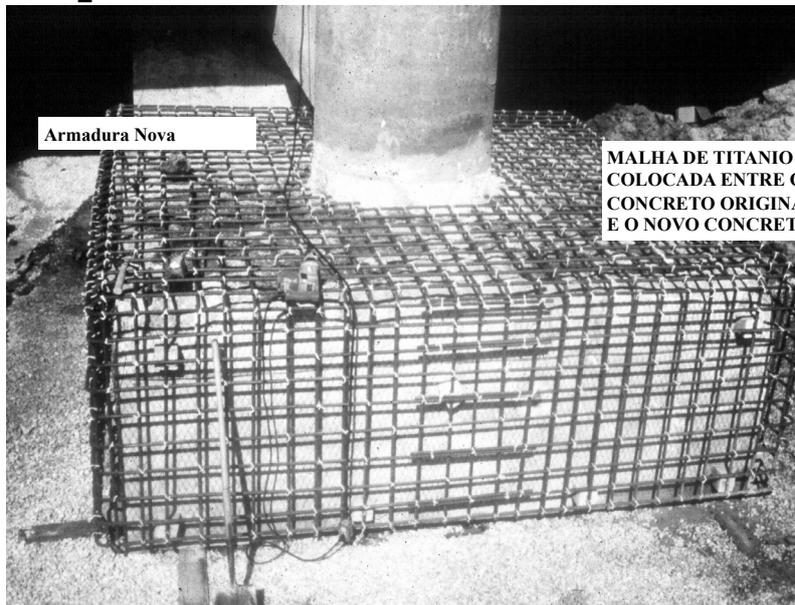
85

Anodo de sacrificio com malha de titânio encapsulado com mortero projetado



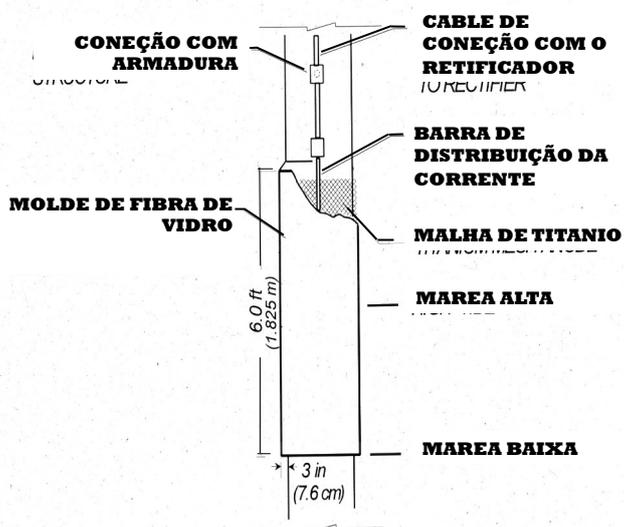
86

Anodo de sacrificio com malha de titânio encapsulado com concreto estrutural



87

JACKET SYSTEM MALHA DE TITANIO PARA COLUNA

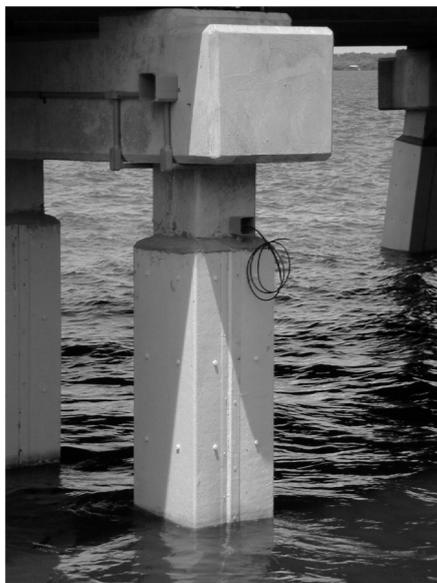


88

JACKET SYSTEM MALHA DE TITANIO PARA COLUNA

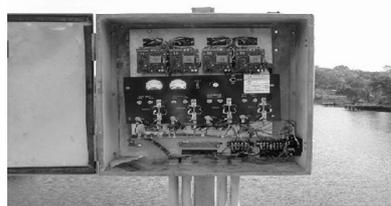
-GRAUTE ou CONCRETO

- CONEXÃO



89

FONTES DE ENERGIA PAAR CORRENTE IMPRESA



RETIFICADOR



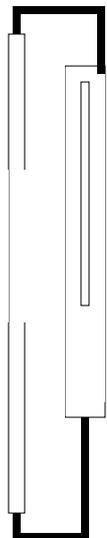
**BATERIA
GALVÁNICA**



ENERGIA SOLAR

90

REPARO e PROTEÇÃO



**Proteção
catódica tipo
galvânica
com anodo
externo**

91

Sistema de zinco projetado



92

ARC-SPRAYED ZINC



- Equipamento de projeção de zinco a quente
- Preparação da superfície inclui jato de areia e remoção de concreto solto
- Aderência mínima de 1 MPa

93

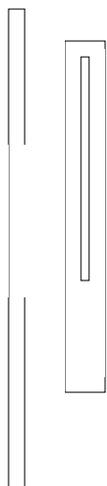
CUSTOS PROMEDIOS Inicial

SISTEMA	N pontes	anos de serviço	Custo \$/m ²
Malha de Titânio em Mortero ou Concreto	4	13	\$250.00*
Malha de Titânio Jaqueta	10	12	\$900.00
Reparo Tradicional localizado	2670	25	\$103.00
Proteção verniza	1973	4	\$25.00
Zinco Projetado a Quente	13	12	\$190.00*

* Não inclui reparação do concreto ni custos do sistema elétrico

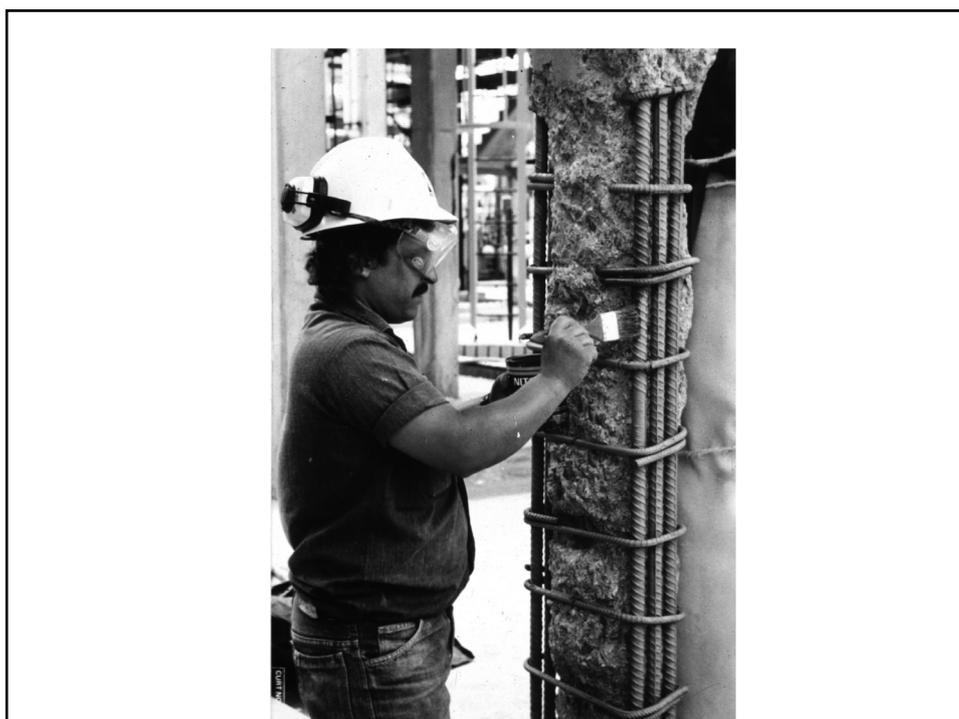
94

REPARO e PROTEÇÃO

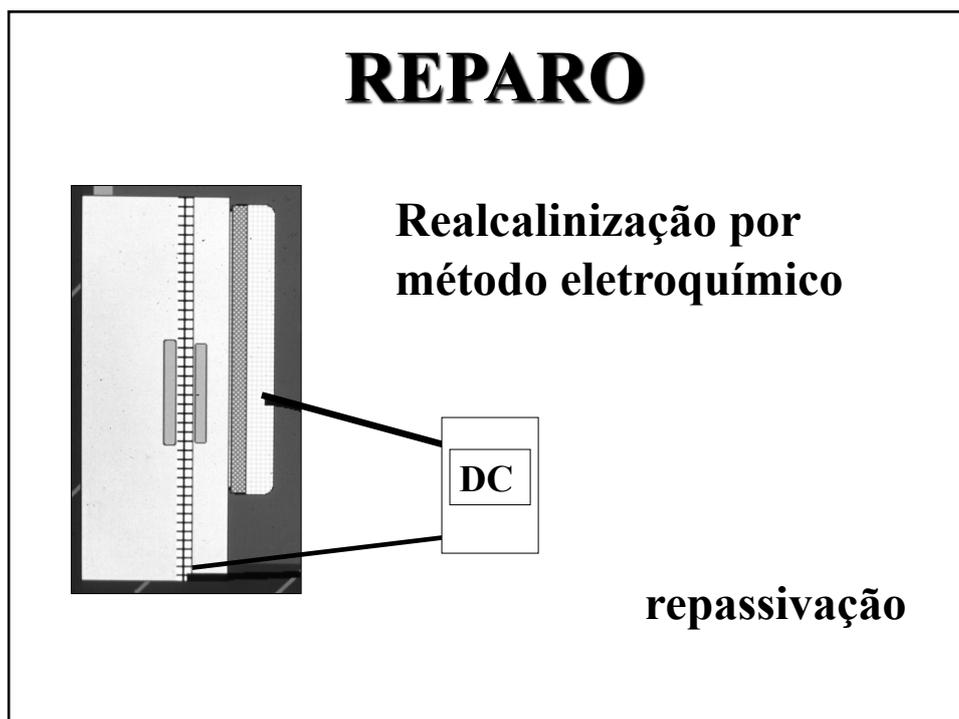


**Proteção catódica tipo
galvânica com anodo
interno**

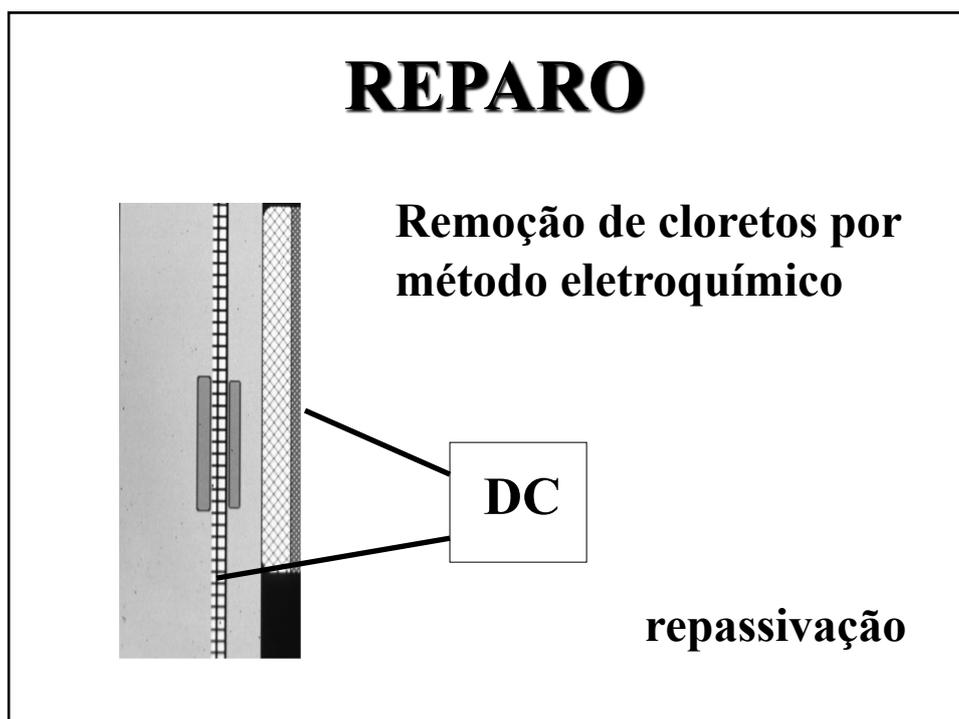
95



96



97



98

REPARO e PROTEÇÃO

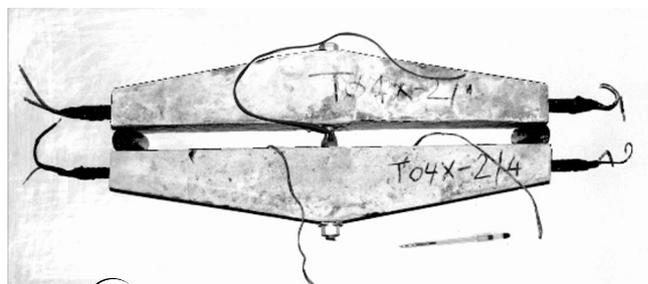
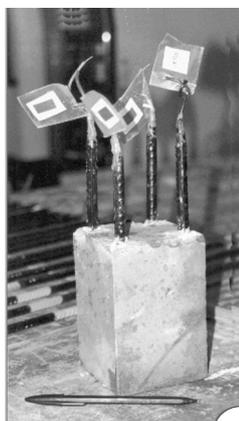
ESPECIAIS

Acero Inoxidable

Galvanizado

99

Corpos de Prova



(T) Tensionados

(R) Relaxados

100

Comprovação

TULA, Leonel. Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras de aço inoxidável. Universidade de São Paulo PCC.USP, 31 março 2000.

101



Exóticos

“a caixinha”

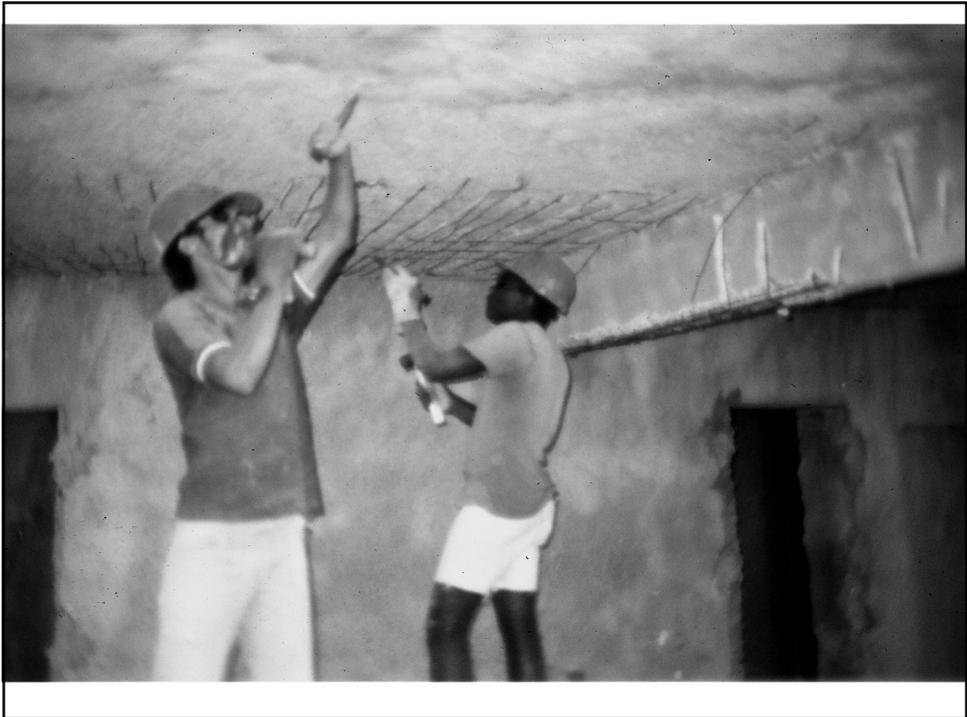
102



103



104



105



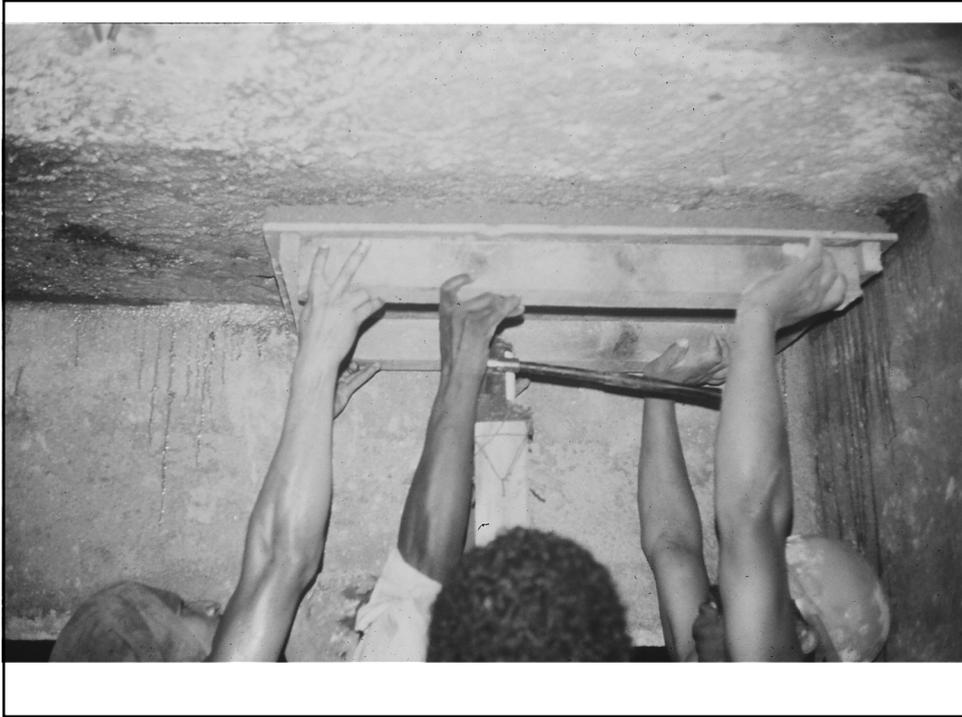
106



107



108



109



110



111



112

Exóticos O *“ futurista ”*

113



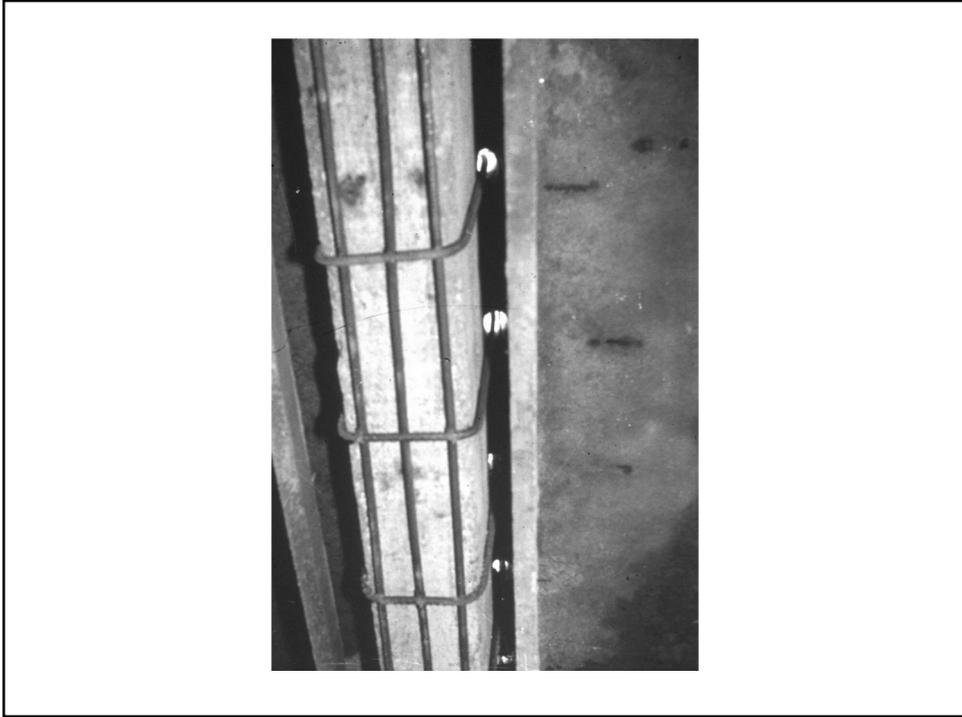
114



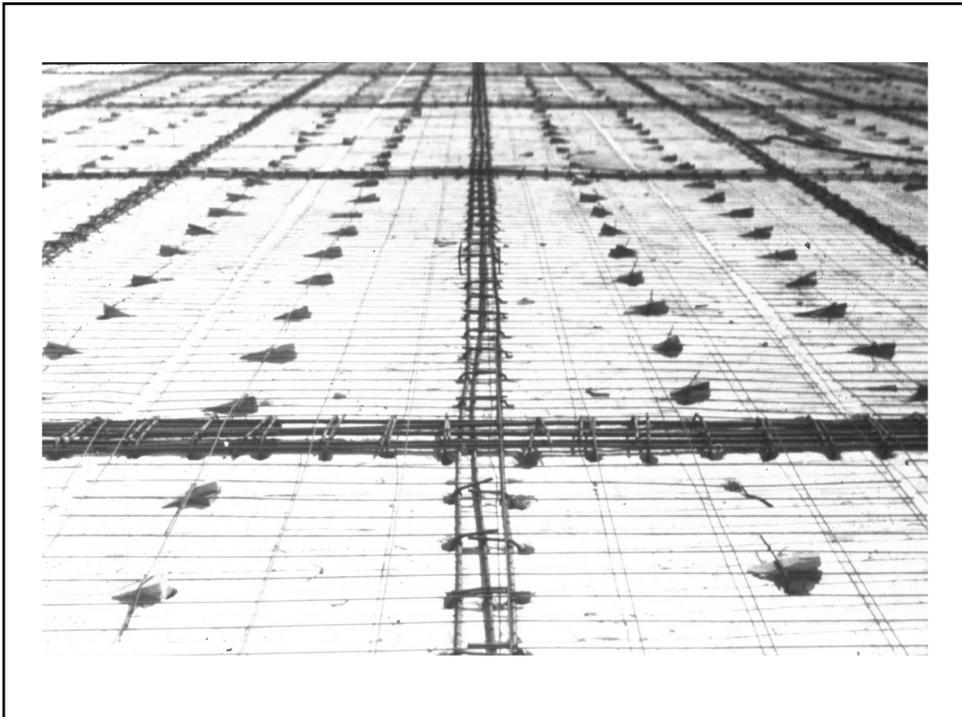
115



116



117



118



119



120