

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Programa de Educação Continuada

ES-017
Patologia, Recuperação e Reparo
das Estruturas de Concreto

**Procedimentos para Reabilitação de
Estruturas de Concreto**

Paulo Helene

1

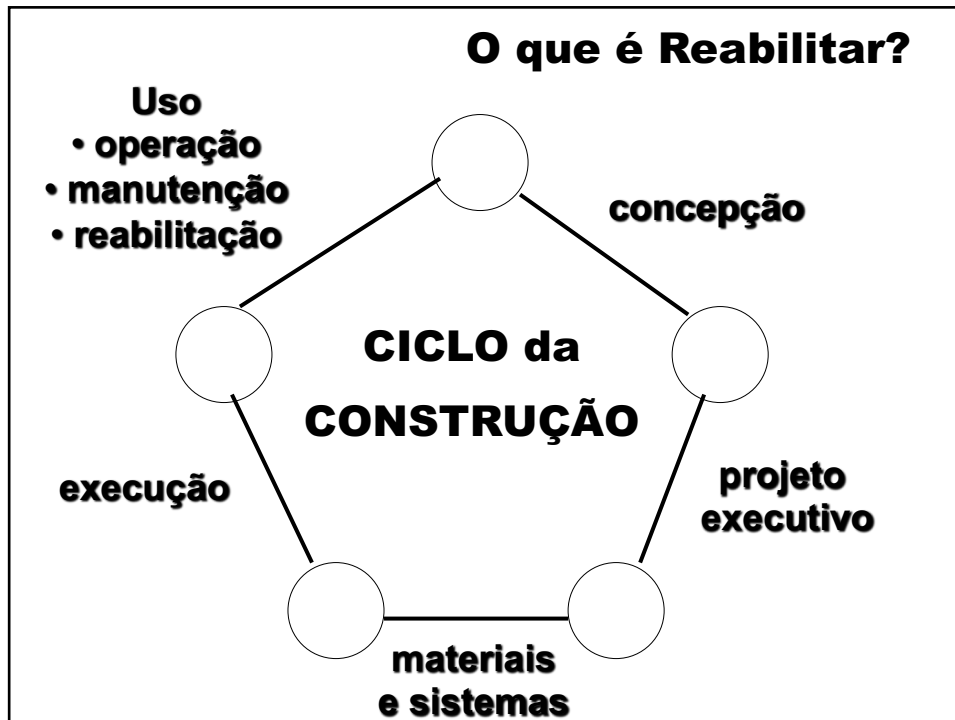
Curso IBRACON

**Reabilitação de
Estruturas de Concreto**

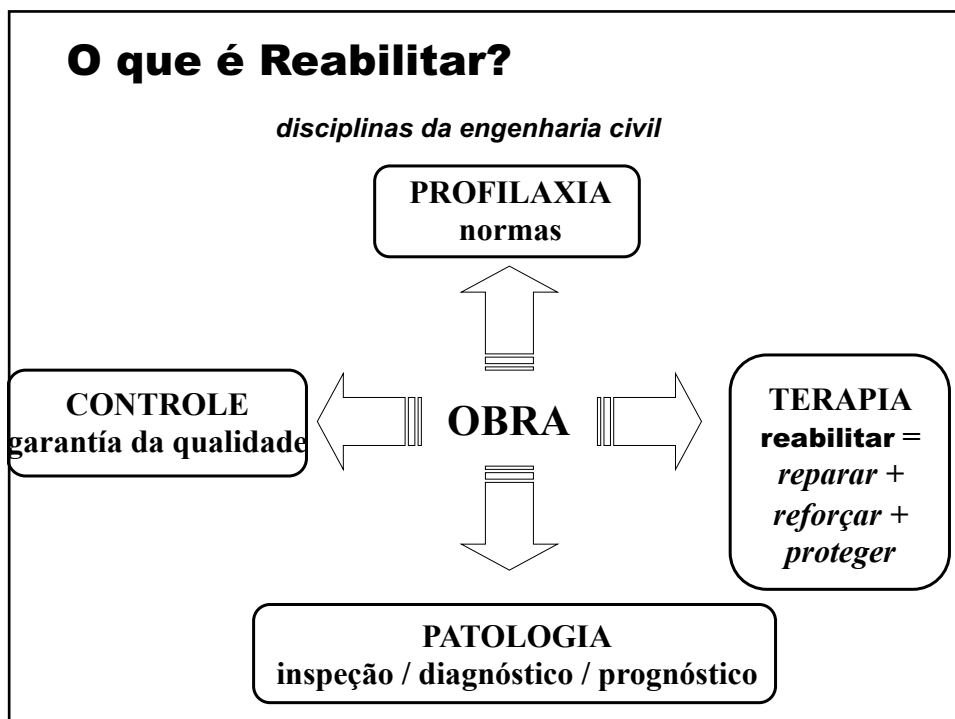
Paulo Helene

*MSc, PhD; Prof. Titular da Universidade de São Paulo-PCC-USP
Coordenador Internacional da Red REHABILITAR CYTED XV.F
Membro da fib Commission 5 Service Life of Concrete Structures
Presidente do IBRACON*

2



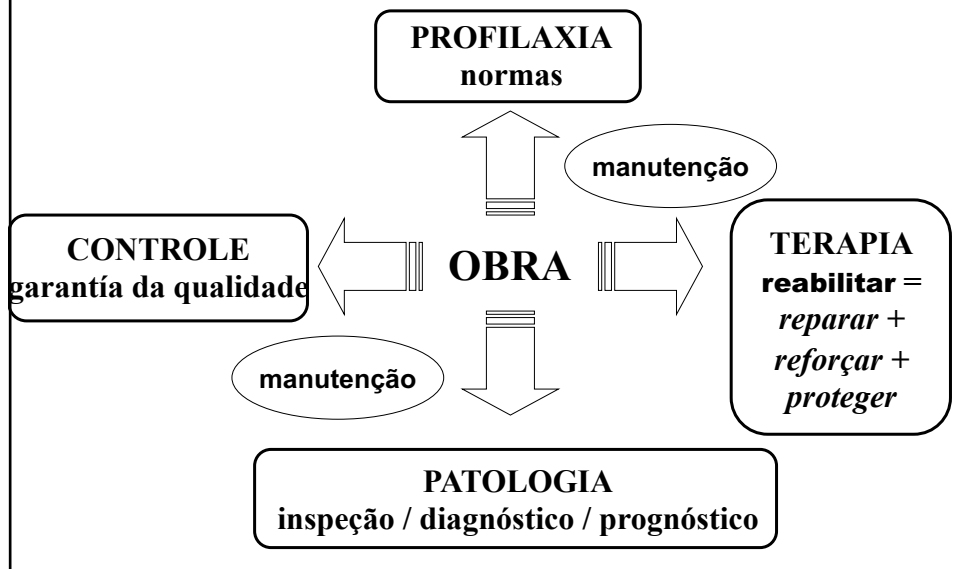
3



4

O que é Reabilitar?

disciplinas da engenharia civil



5

O que é Reabilitar?

- Intervenção corretiva
- Presspõem uma inspeção e diagnóstico
- É a Disciplina mais atrasada da engenharia
- Não há consenso nas soluções
- Não existem critérios claros de desempenho

6

O que é Reabilitar?

**De todas as disciplinas
é a que mais cresce e
que mais se
desenvolveu na última
década**

7

**Nos países desenvolvidos
estima-se que 20 a 40% de
todos os recursos aplicados
anualmente
na indústria da construção
civil são destinados à
reabilitação e manutenção de
estruturas existentes**

“Patrimônio Construído”

8

Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México
Departamento de SINALOA / Culiacán

- **302 puentes**
- **Edades de 1 a 50 años**
- **Puente promedio 85m largo x 12m ancho**
- **Costo promedio de US\$ 1,500 / m²**
- **Patrimônio construído de US\$ 450,000,000**
- **Presupuesto anual de US\$ 3,800,000 (0,8%)**
- **Equivalente a 2,5 pontes nuevas / año**
- **Quieren llegar a 5, o sea, $\approx 1,5\%$**

9

HARIK $\Rightarrow$ ASCE USA Bridge Failures
DUNKER & RABAT $\Rightarrow$ Iowa State University
SKALNY $\Rightarrow$ Concrete Durability: a Multibillion-Dolar Opportunity

- **720.000 pontes**
- **200.000 deficientes**
- **130.000 restrições de carga**
- **6.000 fora de serviço**
- **150 a 200 tramos graves / ano**

10

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**

11

Reparação

Falhas nas juntas de dilatação



falta de estanqueidade da junta de dilatação

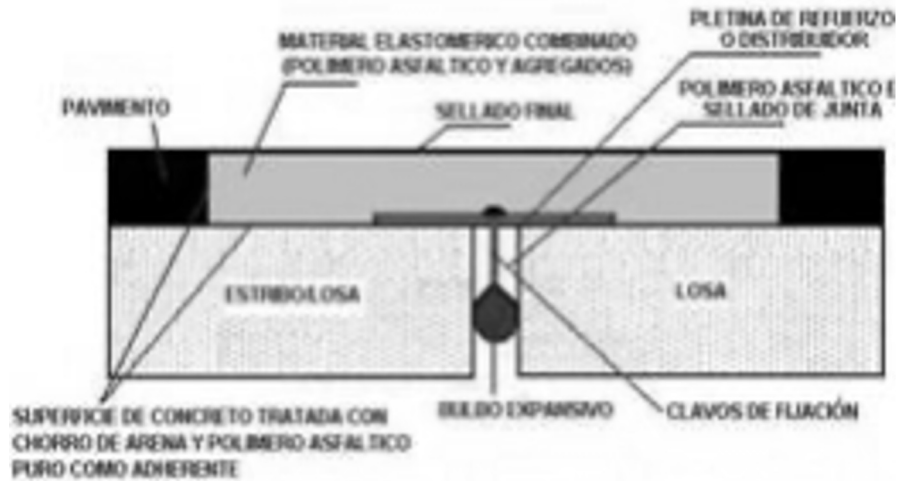
Consequências:

- **Lixiviação resultante da percolação de águas pluviais ácidas**
- **corrosão das armaduras**
- **bloqueio da junta resultante de entrada de sujeira**
- **comprometimento dos aparelhos de apoio**

12

Redução do risco de falhas nas juntas de dilatação

(Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto,
cap. 9, p. 516 a 533)



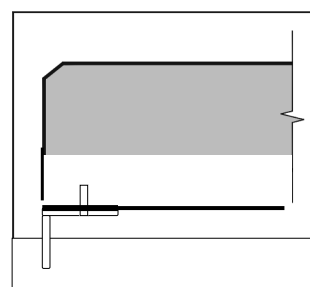
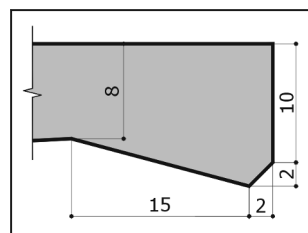
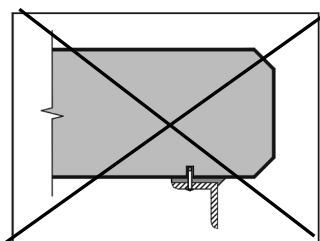
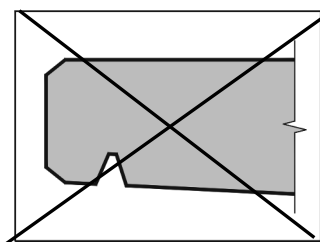
13

Lixiviação



14

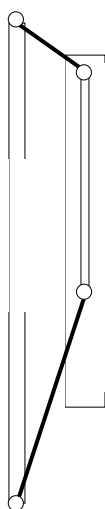
Projeto de pingadeiras



(Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto, cap. 6, p. 310 a 315)

15

REPARAÇÃO



Proteção catódica tipo galvânica com anodo externo

16

ARC-SPRAYED ZINC SYSTEM



- THE ZINC SPRAY IS APPLIED OVER THE CONCRETE TO BE PROTECTED AND A CONNECTION TO THE STEEL IS ESTABLISHED.
- THE BOND STRENGTH BETWEEN THE ZINC AND THE CONCRETE IS MAINTAINED AT A MINIMUM OF 90 PSI.

17

APLICACIÓN DE ZINC a CALIENTE

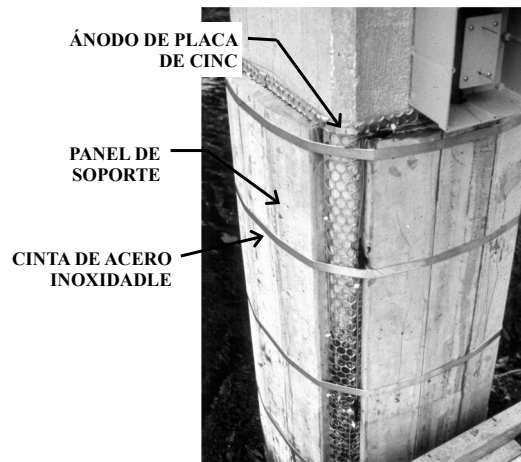


*(Manual de
Reabilitação
de Estruturas
de Concreto,
cap. 7, p. 370
a 372)*

- PREPARACIÓN REQUIERE LIMPIEZA ABRASIVA DE LA SUPERFICIE Y REMÓVIDO DEL HORMIGÓN DEFICIENTE.
- APLICACIÓN REQUIERE EQUIPO ESPECIAL.

18

SISTEMA DE PLACA DE CINC PERFORADA



-EL ÁNODO SE COLOCA SOBRE EL HORMIGÓN Y SE CONECTA DIRECTAMENTE A LA ARMADURA

- LOS PANELES SON FABRICADOS DE MATERIAL DE MADERA Y PLÁSTICO RECICLADO

- ES NECESARIO REPARAR EL HORMIGÓN DELAMINADO ANTES DE INSTALAR EL ÁNODO

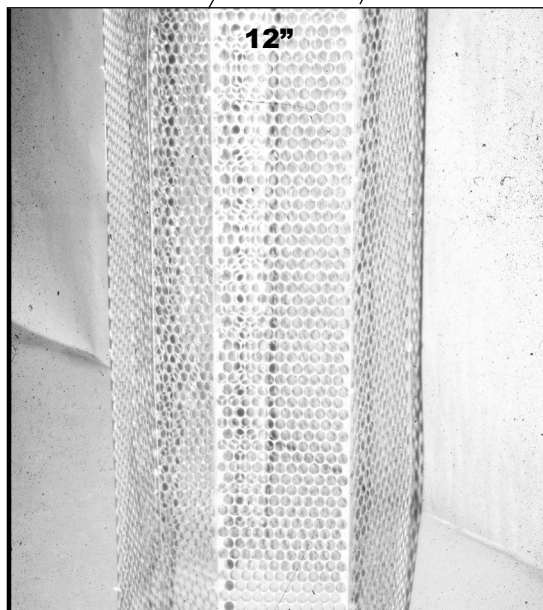
19

ÁNODO DE PLACA DE CINC PERFORADA

- FLEXIBILIDAD: EL ÁNODO SE FABRICA PARA SATISFACER LAS DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA

- CONTENIDO DE CINC ES DE 0.9 LIBRAS POR PIE CUADRADO DE ÁNODO

(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, cap. 7, p. 357 a 362)



20

ENCAPSULACIÓN DE PILOTES CON ÁNODO DE MALLA DE CINC

- EL MOLDE SE
COLOCA ALREDEDOR
DEL PILOTE Y EL
ESPACIO ANULAR SE
FUNDE CON
MORTERO

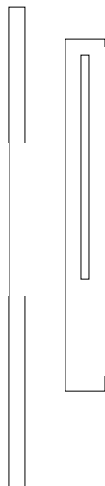
- CONEXIÓN A LA
ARMADURA SE
ESTABLECE FUERA
DEL
ENCAPSULAMIENTO



*(Manual de
Reabilitação
de Estruturas
de Concreto,
cap. 7, p. 357
a 362)*

21

REPARAÇÃO



**Proteção catódica tipo galvânica
com corrente impressa**

Realcalinização eletroquímica

**Extração eletroquímica de
cloretos**

22

Reforço de Estruturas de Concreto

(pesquisas)

23

Confinamento ou cintamento de pilares

24

Ensaio de compressão axial com deformação controlada

Máquina Universal
Servo-Hidráulica
INSTRON mod. 8506

Modelo de pilar

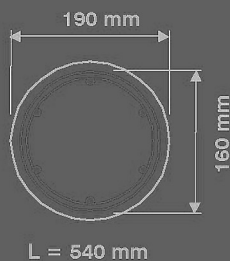


Ensaio
de
curta duração

Sistema de
Aquisição
de Dados

25

ENSAIO DE PILARES DE SEÇÃO CIRCULAR (concretos de classe C15, C30, C45 e C60)

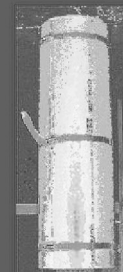
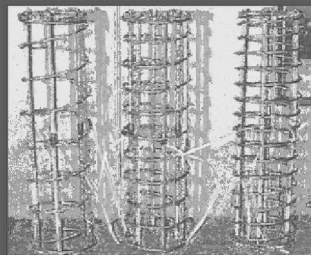


Armadura longitudinal

- 6 Ø 8,0 mm c = 540 mm
- 6 Ø 10,0 mm c = 540 mm
- 6 Ø 12,5 mm c = 540 mm

Armadura transversal

- Ø 5,0 mm c/ 30 mm
- Ø 5,0 mm c/ 50 mm
- Ø 5,0 mm c/ 70 mm

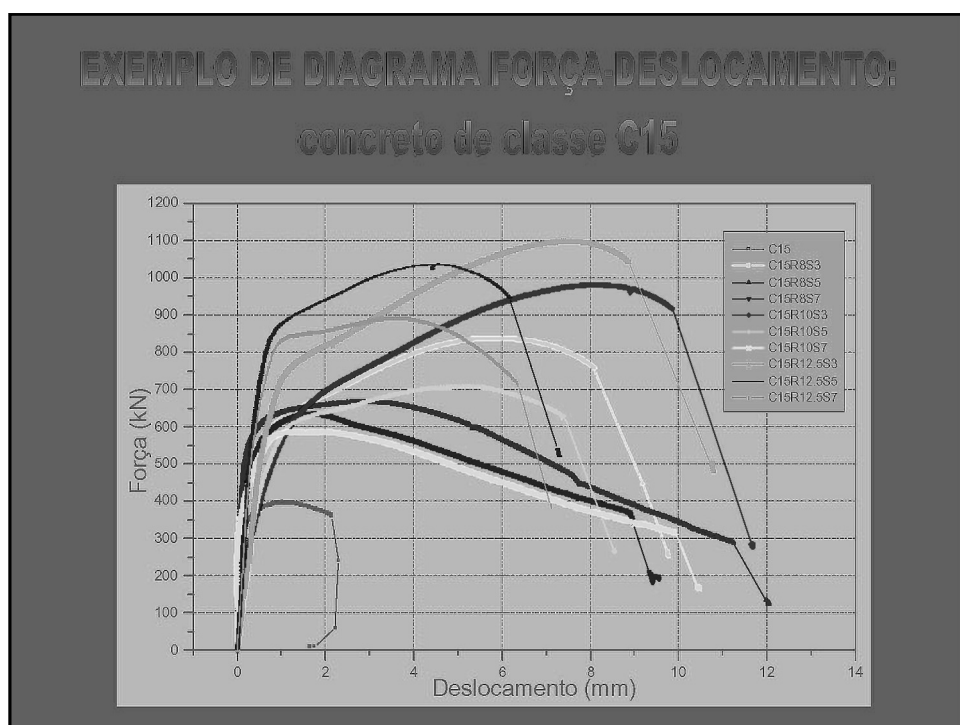


Fôrma de PVC

26



27



28

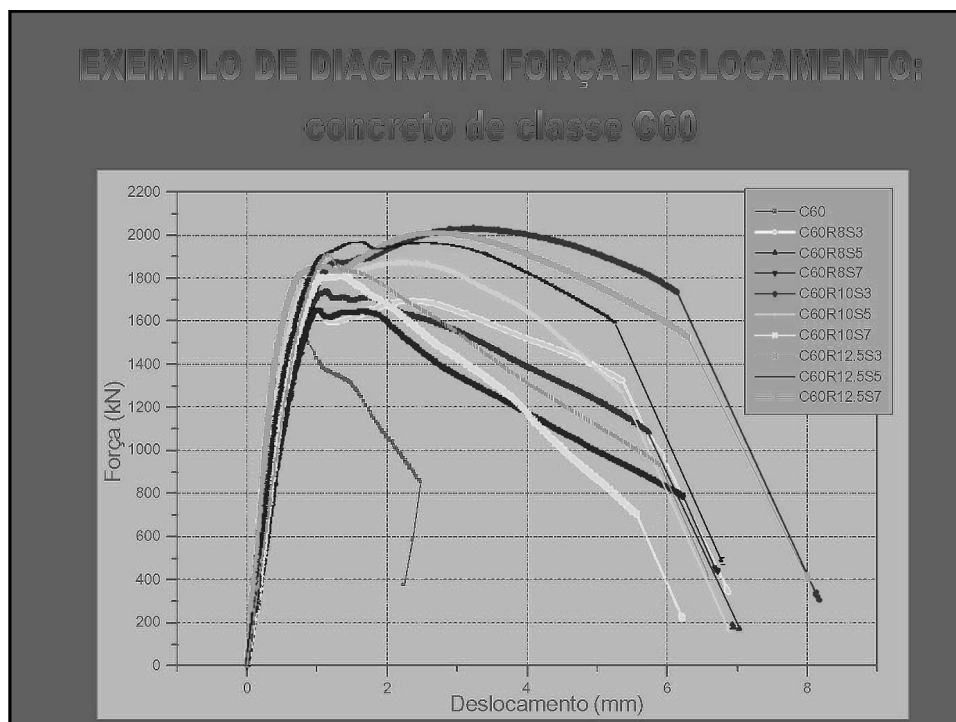
$$f_c \rightarrow 1.6 \text{ a } 2.75$$

$$\frac{F_{\text{cint}}}{F_{\text{arm}}} = 1.25 \text{ a } 1.75$$

$\phi = 12.5$

$\phi = 8.0$

29



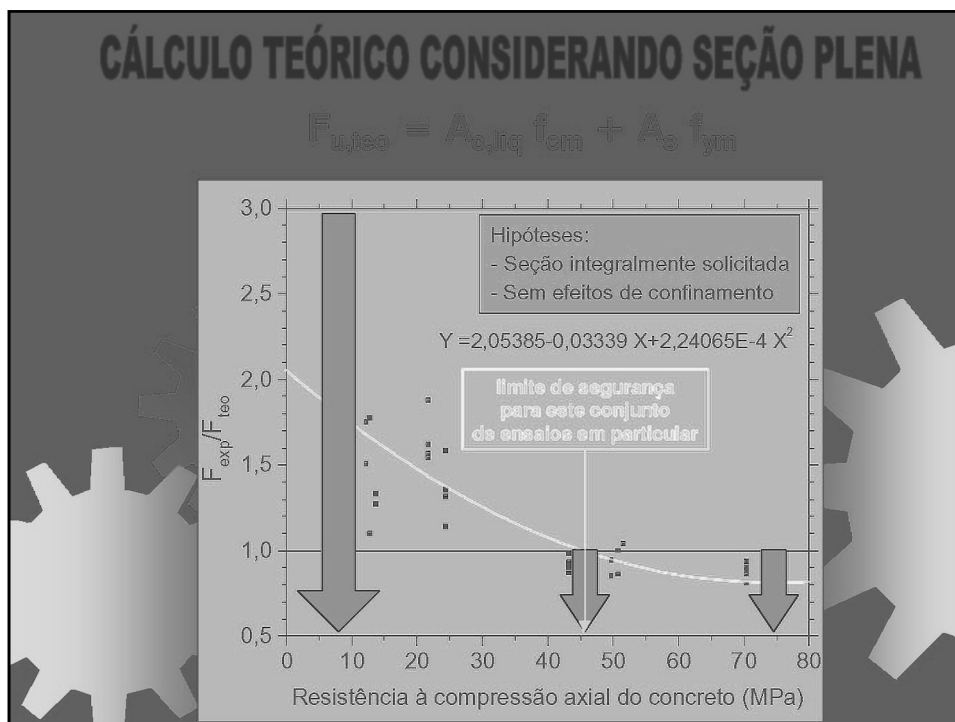
30

$$f_c \rightarrow 1.05 \text{ a } 1.35$$

$$\frac{F_{cint}}{F_{arm}} = 1.05 \text{ a } 1.15$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 $\phi = qq$ $\phi = qq$

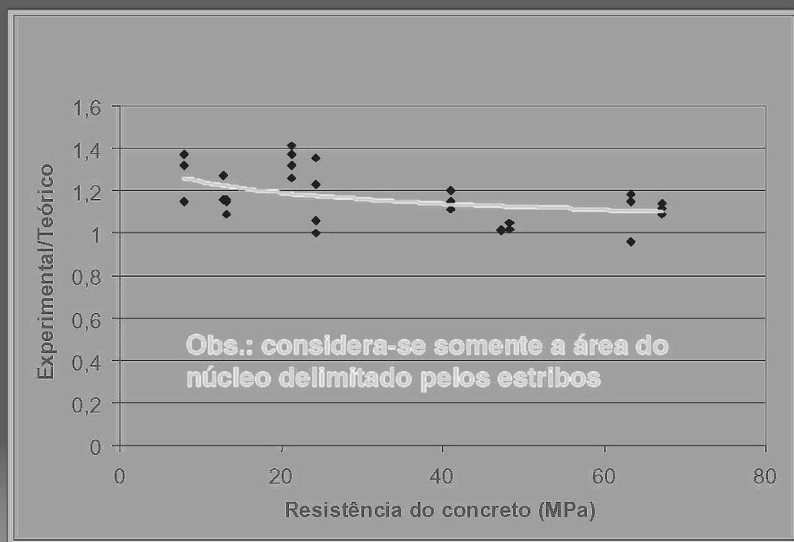
31



32

CÁLCULO TEÓRICO CONSIDERANDO O CONFINAMENTO

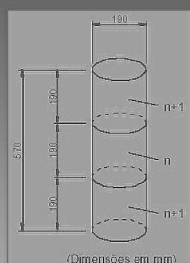
Modelo de CUSSON & PAULTRE (1995)



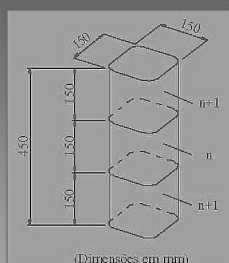
33

CONFINAMENTO DE PILARES COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO

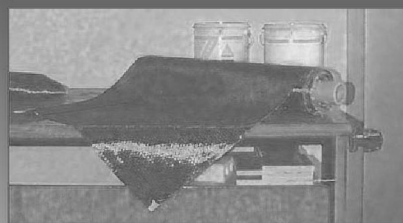
Ensaio de modelos com seção circular e quadrada



seção circular



seção quadrada



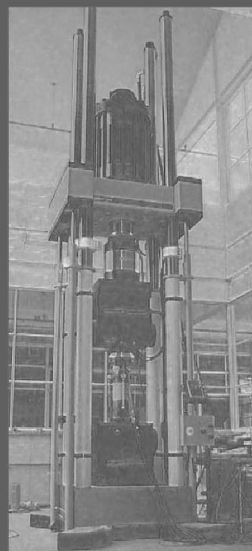
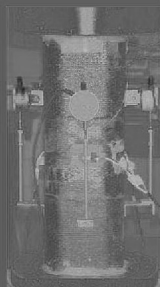
TECIDO SIKAWRAP[®] HEX-230 C

COLAGEM COM SIKADUR-330



34

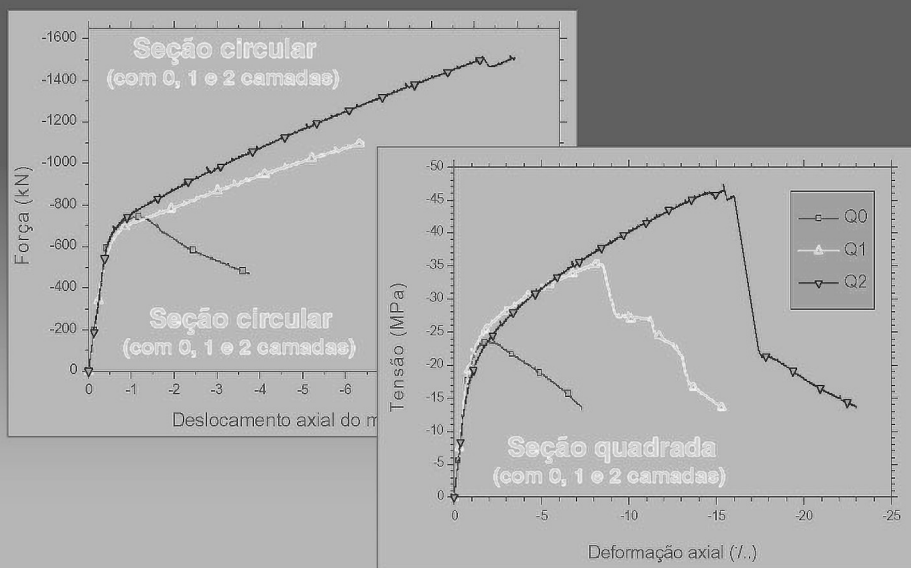
CONFINAMENTO DE PILARES COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO



Concreto C20

35

ALGUNS RESULTADOS DE ENSAIOS



36

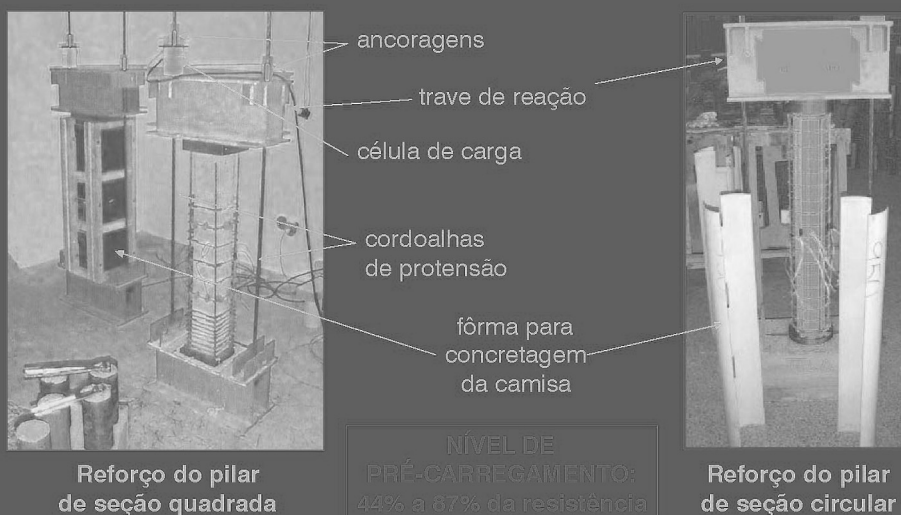
CONFINAMENTO DE PILARES COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO

CONCLUSÕES PARCIAIS:

- processo eficiente de confinamento;
- propicia aumento linear de resistência e ductilidade, mas a ruptura final é frágil;
- toda a seção transversal de concreto trabalha, inclusive a camada de cobrimento;
- mais eficiente em concretos menos resistentes e mais deformáveis;
- no caso de seção quadrada, a eficiência é menor, com alguma perda de linearidade.

37

Pré-carregamento dos pilares e concretagem da camisa sob carga



38

(Manual de
Reabilitação
de Estruturas
de Concreto,
cap. 8,
Procedimento
de reforço de
pilares, vigas,
lajes,
fundação, p.
377 a 443)

CONCLUSÕES

REFORÇO DE PILARES:

- a resistência do núcleo pode ser sempre considerada, desde que haja adequado confinamento;
- o pré-carregamento não altera a capacidade resistente final, mas pode alterar a deformabilidade;
- camisa de concreto de alta resistência: deve-se prover uma armadura transversal de maior capacidade para aumentar a ductilidade e o cobrimento desta armadura deve ser desprezado;
- camisa de concreto de baixa resistência: a armadura transversal pode estar próxima da mínima recomendada e a resistência do cobrimento pode ser eventualmente considerada;
- a armadura transversal dos pilares de seção quadrada deve ser mais densa.

39



Reabilitação de pilares *flat residence Alphaville SP*

40



41



42

Rome Park Hotel

Alphaville SP → 2001

Edifício em construção $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

efetivo f_{ck} (testemunhos) = 19 MPa

**problema → 7 andares em construção
acima do térreo**

43

Rome Park Hotel

Solução:

→ Demolir 7 pilares, cerca de 7 m³

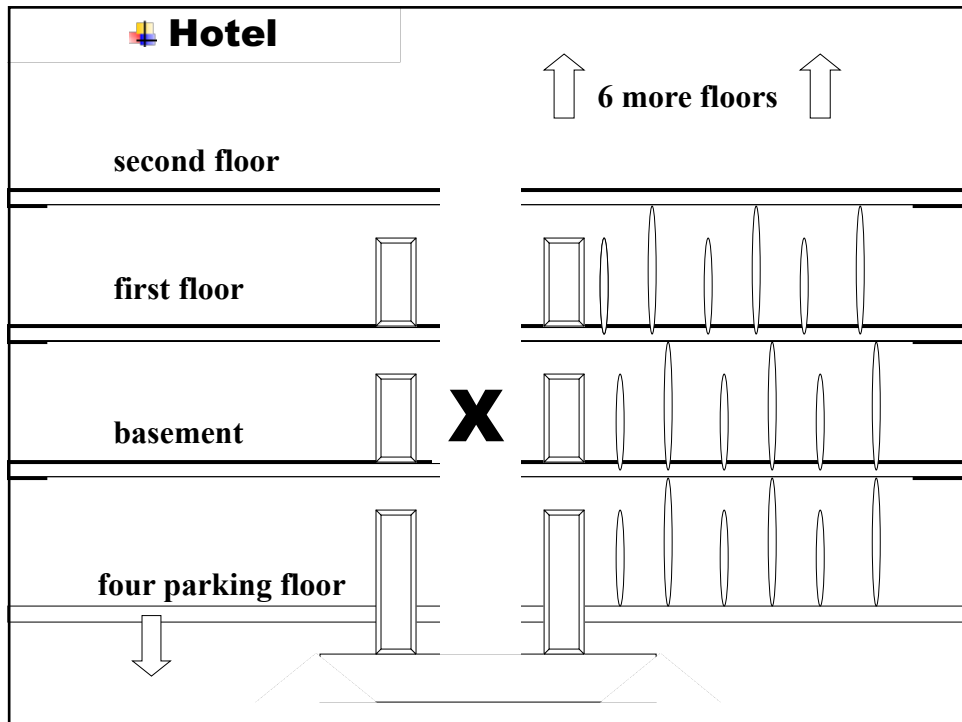
→ escorar vigas e lajes

→ *Novas fundações*

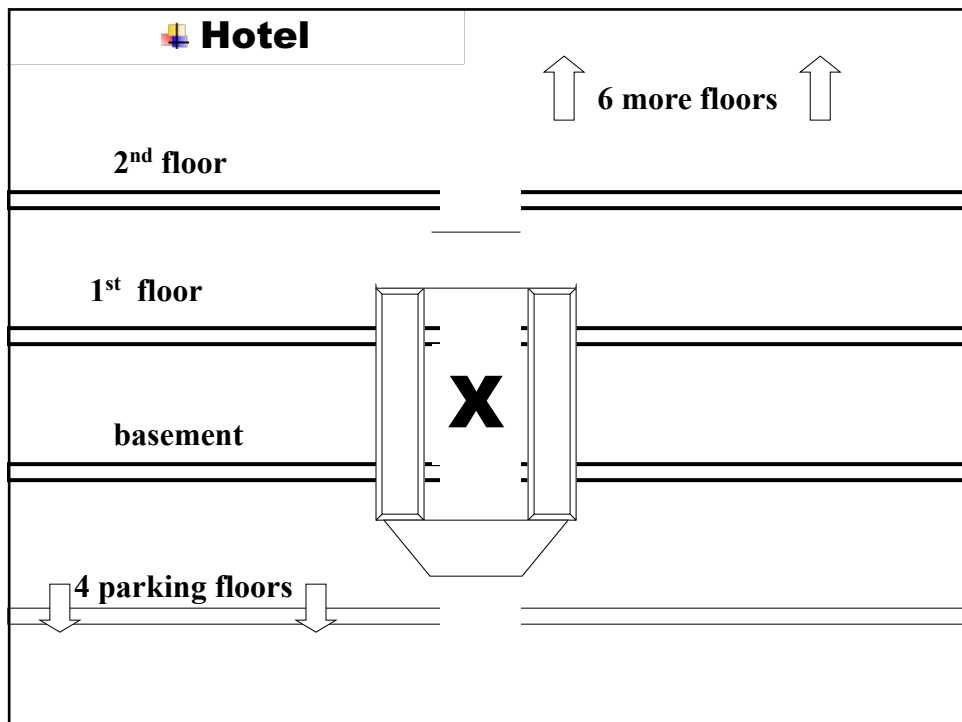
**→ Transferir para colunas metálicas
temporárias**

→ reconstruir o concreto dos pilares

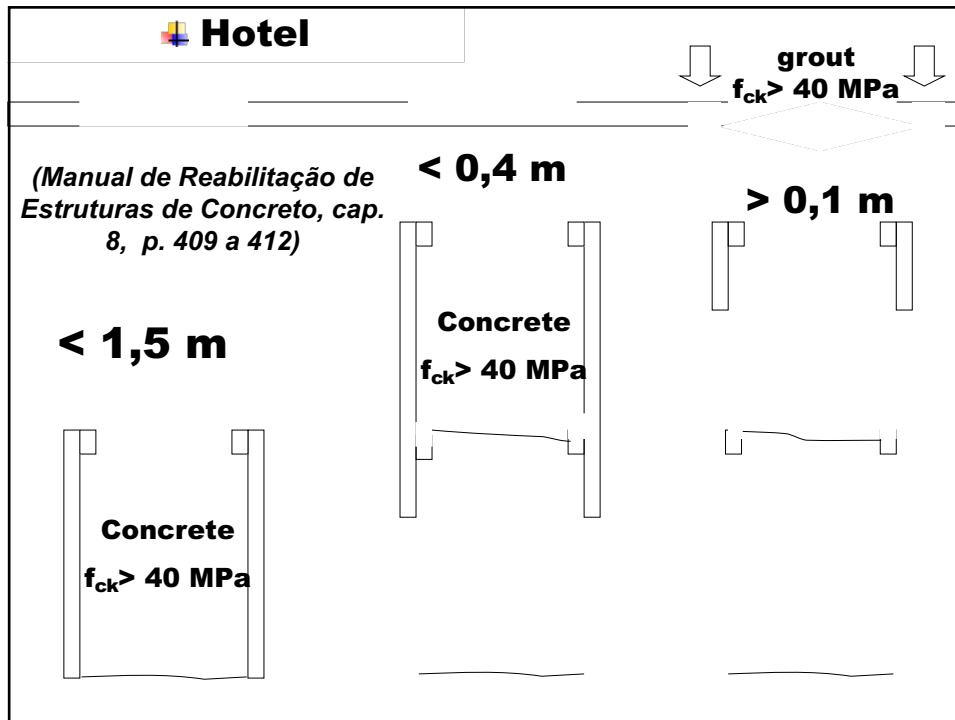
44



45



46



47



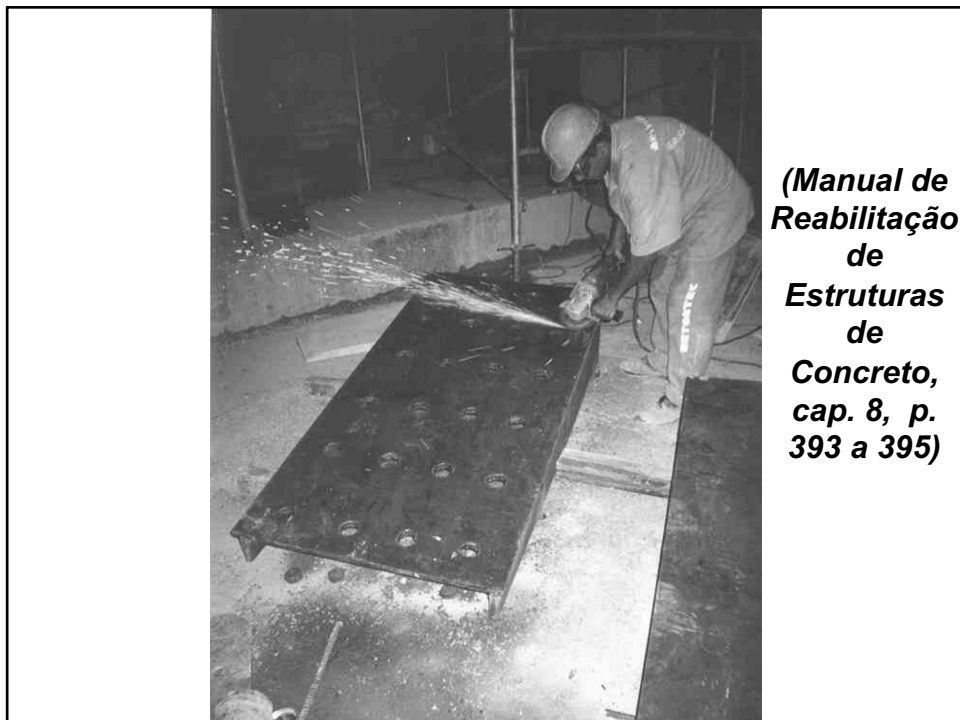
48



49



50



51



52



53

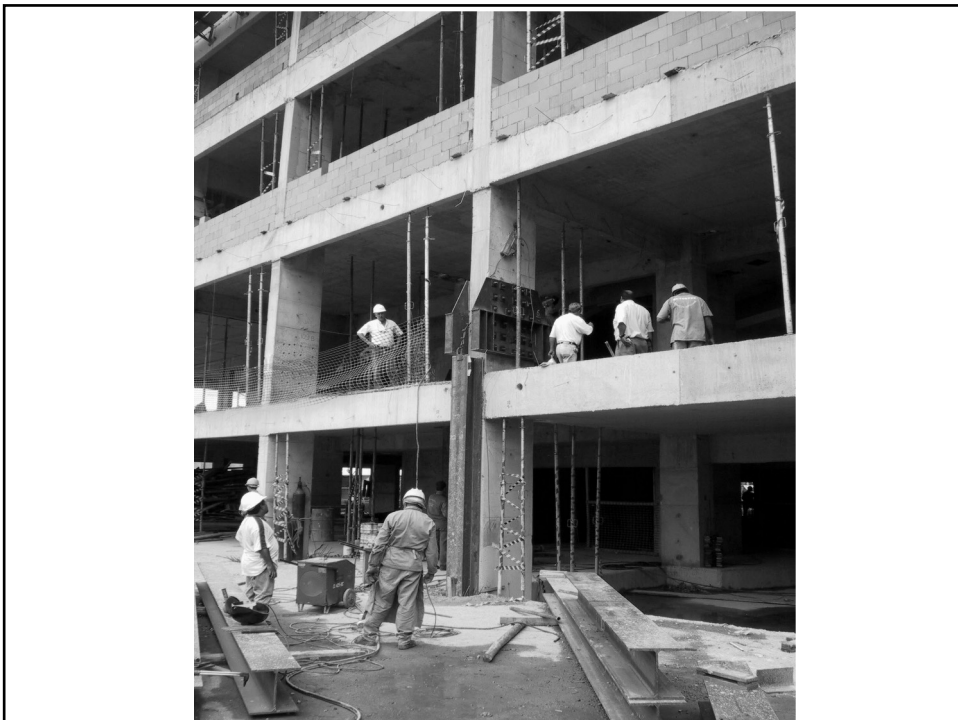


*(Manual de
Reabilitação
de
Estruturas
de Concreto,
cap. 6, p.
315 a 316)*

54



55



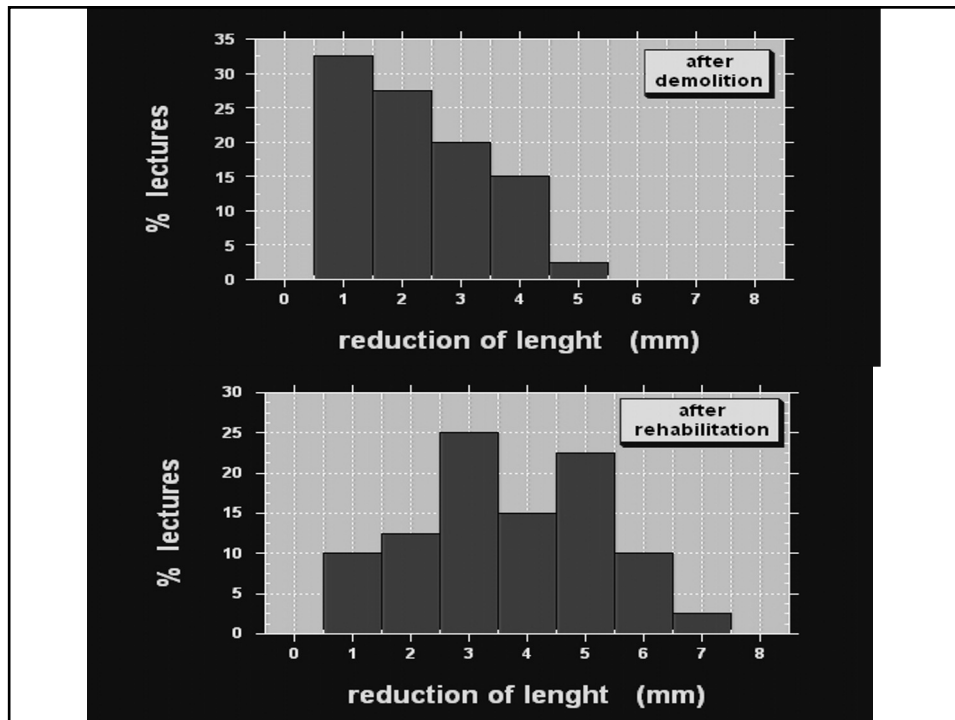
56



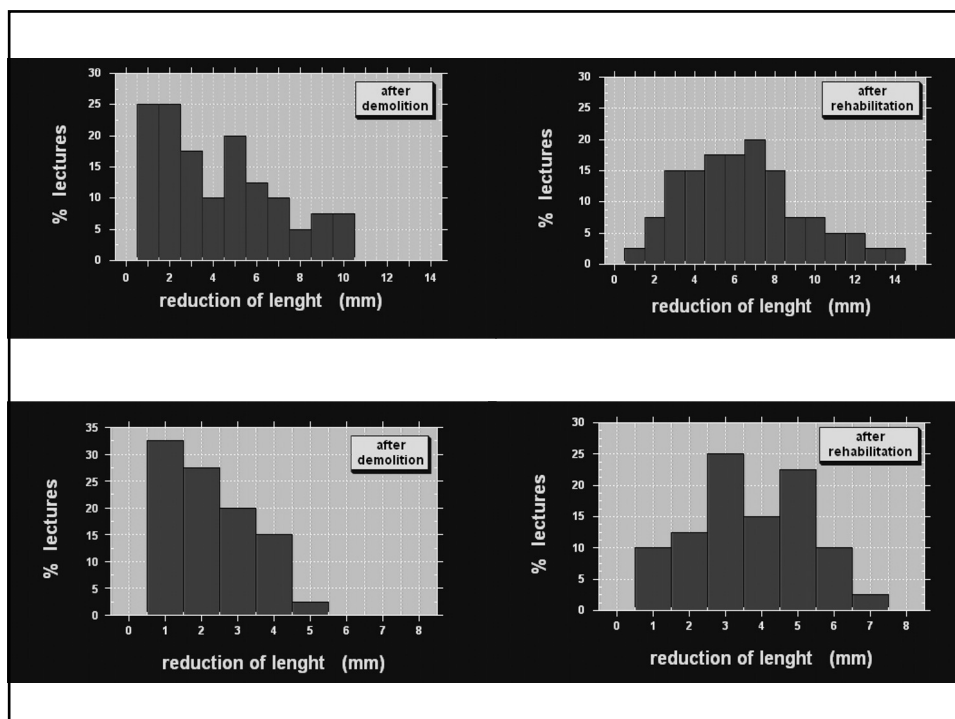
57



58



59



60



61



62



63



64



65