



**Curso de Especialização em Inspeção,  
Manutenção e Recuperação de  
Estruturas de Concreto**

**Eng. PhD. Prof. Eliana Monteiro**  
**Eng. MSc. Prof. Carlos Welington**

Recife, 09 de dezembro de 2008

**Curso de Especialização em Inspeção, Manutenção e  
Recuperação de Estruturas de Concreto**

**Estanqueidade e  
Reabilitação de uma  
Cobertura de Concreto**

**Eng. Paulo Helene**  
MSc. PhD. Prof. Titular da Universidade de São Paulo  
Coordenador Internacional de la Red REHABILITAR CYTED  
Miembro de Red Prevenir-ALCONPAT. CIAM  
Vice-Presidente do IBRACON

Recife, 09 de dezembro de 2008

**Curso de Especialização em Inspeção, Manutenção e  
Recuperação de Estruturas de Concreto**

**Edifício  
“Vilanova Artigas”  
Prédio da FAU.USP**

*Estudo de Caso*

Recife, 09 de dezembro de 2008

Edifício  
“Vilanova Artigas”  
Prédio da FAU.USP

1. Descrição
2. Problemas
3. Inspeção
4. Diagnóstico. Prognóstico
5. Conceitos de Reabilitação
6. Alternativas

**NB 1 / NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto**  
*Procedimento*  
*2003 obrigatória a partir de abril de 2004*

**6.2 Vida útil de projeto**

**6.2.1 Vida útil de projeto significa o período de tempo através do qual as características projetadas para aquela estrutura de concreto se mantêm dentro de padrões mínimos, desde que utilizadas e mantidas em conformidade com as condições expressas em 7.8 e 25.4.**

**NB 1 / NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto**  
*Procedimento*

**7.8 Inspeção e Manutenção Preventiva**

**7.8.1** Todo projeto estrutural deve levar em conta estratégias que facilitem a inspeção e manutenção preventiva da estrutura de concreto.

**7.8.2** Um manual de uso, inspeção e manutenção deve ser elaborado de acordo com 25.4.

**NB 1 / NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto  
Procedimento**

**25.4 Manual de uso, inspeção e manutenção**

Dependendo do porte da estrutura e das condições de agressividade ambiental, um manual de uso, inspeção e manutenção deve ser elaborado por profissional competente contratado pelo proprietário. Esse manual deve conter todas as informações, dados e memórias do projeto, dos materiais, dos produtos e da execução da estrutura. Esse Manual deve especificar de forma clara e objetiva os requisitos básicos de uso e manutenção preventiva que assegurem a vida útil prevista e estar conforme com a NBR 5674 Manutenção de Edificações. Procedimento.

**NBR 5674 Manutenção de Edificações  
Procedimento**

**3.4 Manual de operação, uso e manutenção**

Documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação. Deve ser elaborado em conformidade com a NBR 14037 Manual de operação, uso e manutenção das edificações. Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.

**Descrição sumária e  
sucinta da estrutura  
em estudo**

**projeto, concepção e  
contextualização**

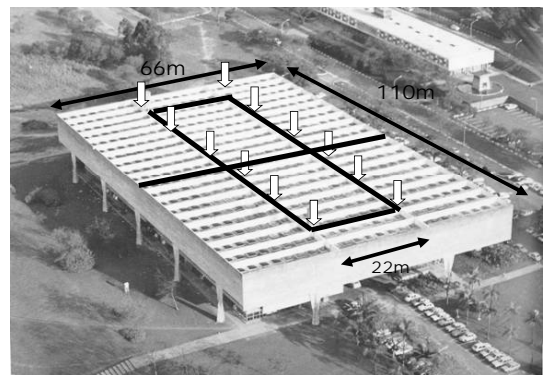
O prédio da FAUUSP é certamente o mais conhecido dos edifícios projetados pelo arquiteto João Batista Vilanova Artigas (1915-1985). Conceitualmente, o prédio representa as influências do chamado "brutalismo", vertente paulista do movimento moderno e do qual o autor é idealizador e um dos expoentes.

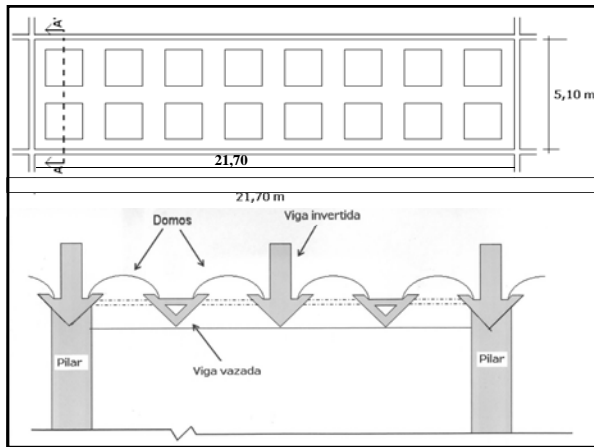
ARTIGAS (1961) pensou na FAU: "como a espacialização da democracia, em espaços dignos, sem portas de entrada, porque o queria como um templo, onde todas as atividades são líricas".

A estrutura do edifício é composta por elementos de concreto armado e protendido e foi projetada pelo escritório do engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz.



**Edifício Sede da FAU.USP, em São Paulo, 1969**

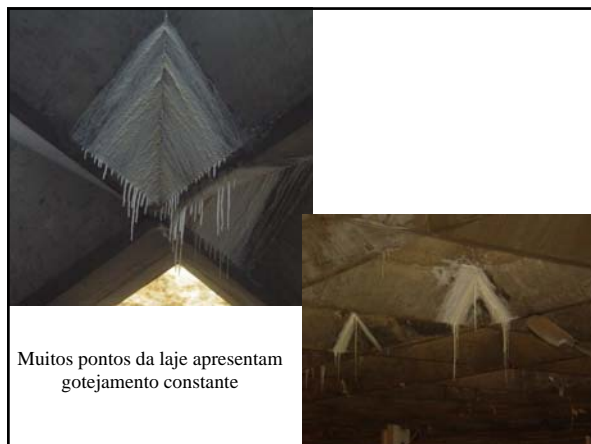




Problemas Observados



✓ Ocorrência generalizada de eflorescências e estalactites na face inferior da laje estrutural de cobertura



✓ Em pontos isolados da face inferior da laje existe a ocorrência de corrosão de armaduras



✓ Colapso do sistema de impermeabilização atual



✓ Poças de água por insuficiência do caimento



✓ Corrosão de armaduras nas vigas estruturais invertidas



Corrosão nas vigas invertidas

✓ Estribos rompidos por corrosão



## Agressividade Ambiental

Segundo os critérios de classificação da agressividade ambiental recomendados pelo procedimento **NBR 6118** para o Projeto de Estruturas de Concreto pode-se considerar:

✓ **macro-clima**, atmosfera urbana e industrial → grau de agressividade forte, **III**.

✓ **micro-regiões**, nos locais e faces protegidos de chuva, secos e estanques

# Inspeção detalhada e Resultados de Ensaios

Extração de testemunhos cilíndricos (diâmetros de 75 mm) conforme recomendação da norma NBR 7680



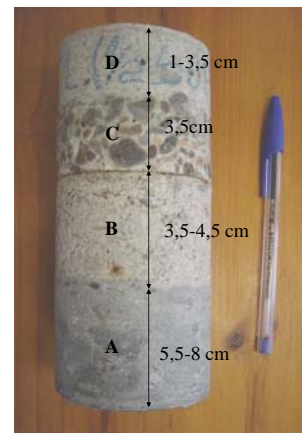
✓ Existência de sobreposição indevida de várias camadas de diferentes sistemas de impermeabilização

A = mesa estrutural da laje;

B = argamassa de regularização e caimento do primeiro sistema impermeabilizante.;

C = argamassa para proteção mecânica do primeiro sistema impermeabilizante.;

D = argamassa de regularização e caimento do segundo sistema impermeabilizante



neoprene e hypalon do sistema original

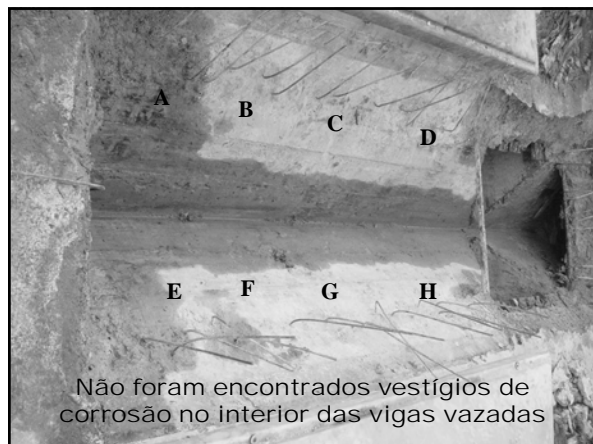


✓ Muitas partes internas das vigas vazadas da laje de cobertura (tipo "caixão perdido") encontram-se cheias de água





Acúmulo de água no interior das vigas vazadas



Não foram encontrados vestígios de corrosão no interior das vigas vazadas



Pacometria: Localização das armaduras para se medir o estado de corrosão das mesmas

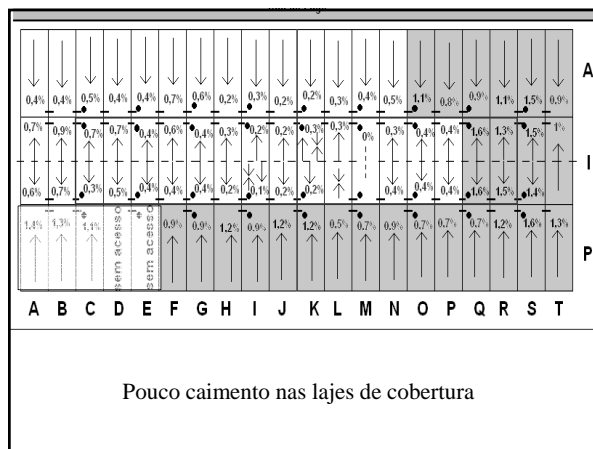


Potencial de corrosão: Indicador da possibilidade de ocorrência de corrosão (ASTM C876)

**Resultados – Propriedades do concreto**

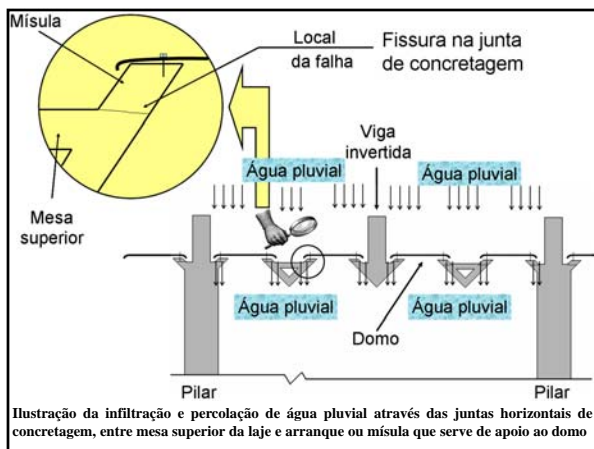
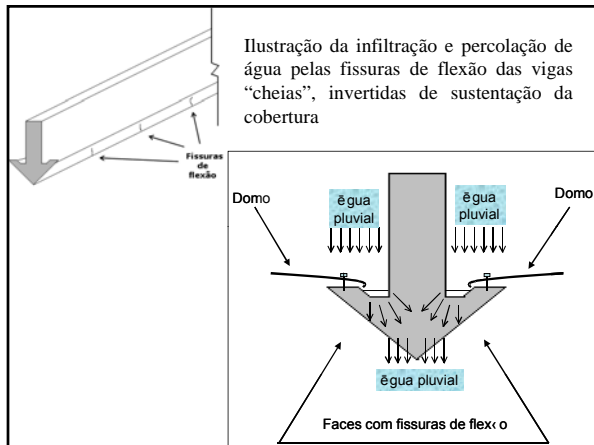
Com as inspeções realizadas, encontrou-se:

- ✓ A resistência à compressão do concreto variou de 26MPa a 34MPa.
- ✓ A absorção de água por imersão ficou numa faixa de 4,3% a 6,4%
- ✓ A profundidade de carbonatação variou de 5mm a 25mm, sobrepassando em alguns pontos a espessura de concreto de cobrimento das armaduras



# Diagnostico & Prognóstico

## mecanismos de infiltração de água pluvial na laje

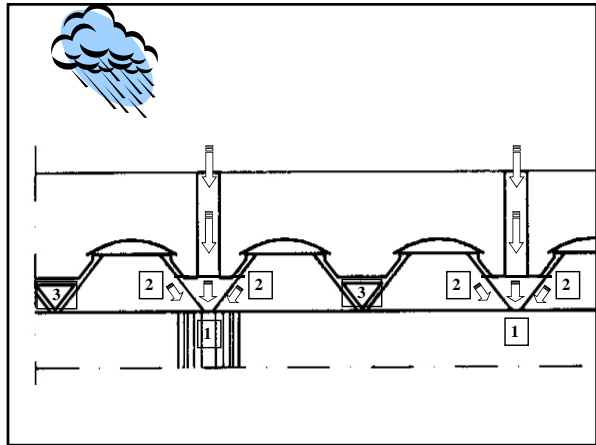




Infiltração e percolação em juntas de concretagem inclinadas (intersecção de duas vigas vazadas em posição ortogonal).



4º MECANISMO: Encontro de vigas cheias com o pilar. Deficiência de estanqueidade da união entre ralo e duto de água pluviais



### Conclusões:

Há necessidade de reabilitar e proteger a superfície inferior da laje de cobertura em concreto aparente

Há necessidade de reparos e reabilitação de armaduras corroídas na laje de cobertura (face inferior e superior);

Há necessidade de reparos e reabilitação de armaduras corroídas nas vigas invertidas de sustentação da cobertura

Há necessidade de instalação de um novo sistema de impermeabilização/estanqueidade na laje de cobertura;

Há necessidade de reabilitação das juntas de movimentação da laje de cobertura;

Há necessidade de revisar e reabilitar o sistema de coleta de águas pluviais.

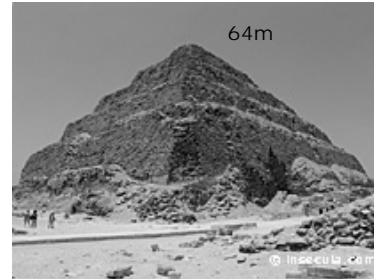
# Conceituação

*(intervenção em estruturas de concreto)*

**QUANDO FOI  
RECONHECIDA A  
PROFISSÃO DE  
ARQUITETO e  
ENGENHEIRO CIVIL POR  
PRIMEIRA VEZ ?**

**Arquiteto e médico Imhotep**

2790 A C



Pirâmide escalonada de Djeser

*Pirâmide de Queóps*

146 m



*Egito*

*2580 A.C.*

**Construir com  
Materiais  
Resistentes e  
Duráveis**

**O CONCEITO DE CONSTRUIR COM  
DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS  
DESDE A ANTIGUIDADE**

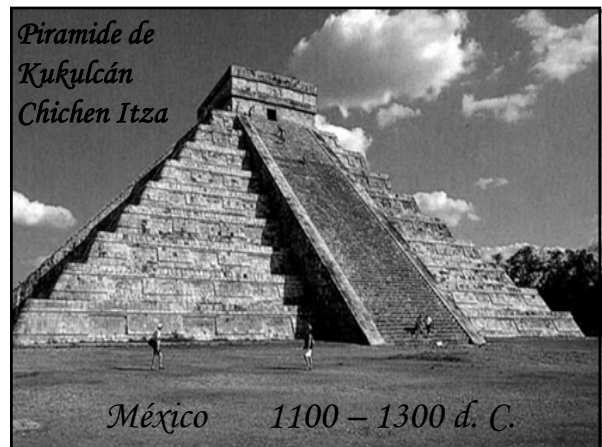
Arquitetos Ictinos de Mileto  
e Calícrates (*escultor Fídias*)



Pártenon, 440 aC  
"século de Péricles"

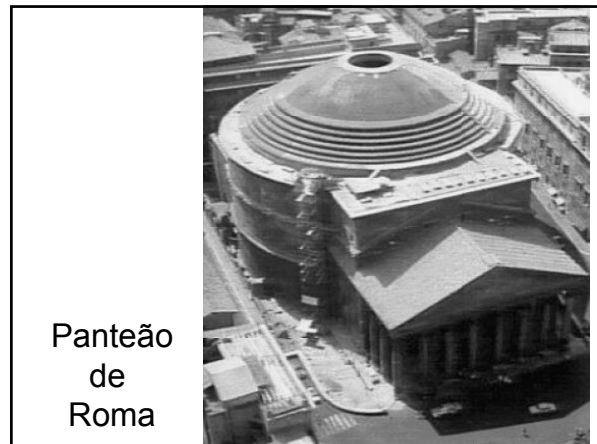


*Pirâmide de  
Kukulcán  
Chichen Itza*



*México 1100 – 1300 d. C.*

**QUANDO APARECEU  
O CONCRETO  
POR PRIMEIRA VEZ  
NA HISTÓRIA?**



Cúpula do Panteão  
Século II dC → Diâmetro de 44m



**SÉCULO XX  
1900**

**APARECE UM  
NOVO MATERIAL**

*Concreto Armado*

Primeiras Normas sobre  
Estruturas de Concreto

**1903** ⇒ **Suiça**

**1903** ⇒ **Alemanha**

**1906** ⇒ **França**

**1907** ⇒ **Inglaterra**



Palacio Salvo  
Montevideu

27 pavimentos

Uruguay 1925

Altura 103m

$f_{ck} = ?$   
**80 anos!!!!**  
*record mundial*



Edifício Martinelli  
São Paulo

30 pavimentos

Altura 109m

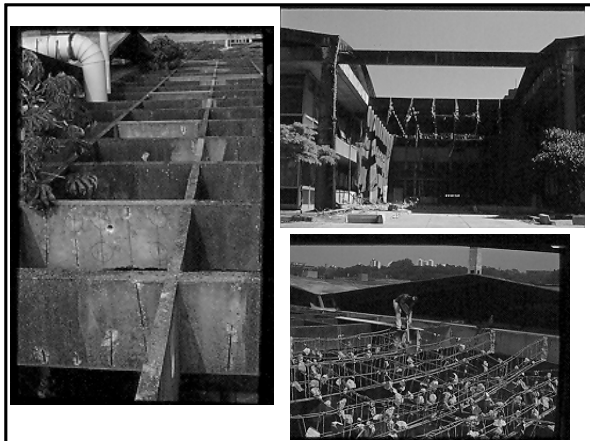
Rua Líbero Badaró

$f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$

**1929-2006 = 77 anos**

**Naquela época acreditava-se que...**

**Os PROBLEMAS de CORROSÃO e de DURABILIDADE estavam resolvidos definitivamente pois o aço seria protegido “ETERNAMENTE” pela “rocha” concreto**



**Não existe material de construção mais durável que o concreto! Somente algumas rochas têm a mesma durabilidade**

### Conceitos

- ✓ Impermeabilidade é diferente de estanqueidade
- ✓ Material é diferente de estrutura

### Conceitos

- ✓ Não existe panacéia universal nem solução “definitiva”. A solução definitiva é saber conviver com o problema.
- ✓ Deve ser implementado um programa de manutenção permanente da cobertura

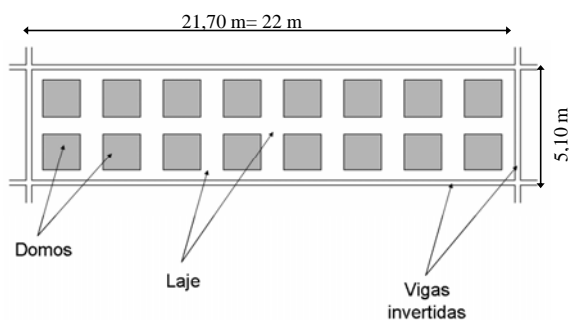
## INTERVENÇÃO CORRETIVA

- Reabilitar a estrutura
- Sistema de Estanqueidade: estrutural, não aderidos ou aderidos

## Estudos Experimentais de Estanqueidade

- Silicato de sódio
- Manta PVC
- Poliuréia

Detalhe de módulo usado para estudo de estanqueidade



Recuperação e proteção inicial das vigas estruturais



# Estanqueidade “estrutural” da laje

## Silicato de Sódio

### Alternativas

melhora estrutura

### Silicato de Sódio



### Alternativa com silicato de sódio

- Retirada de todas as camadas de revestimento inclusive a argamassa de regularização original;
- Preparação da superfície;



Rugosidade da superfície recém-escarificada, devendo ser lixada

### Alternativa com silicato de sódio

Aplicação de acetato de cálcio diluída a 10%, 24 horas antes da aplicação do silicato de sódio



### Alternativa com silicato de sódio

Aplicação do silicato de sódio em reparo preparado ao mesmo tempo em que é aplicado na laje de cobertura.



### Alternativa com silicato de sódio

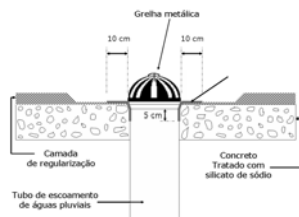


hidratação de laje de concreto após aplicação do silicato de sódio

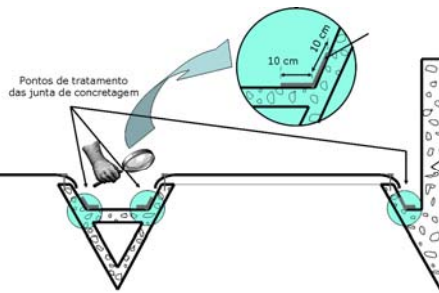
### Alternativa com silicato de sódio

- Fechamento dos reparos localizado;
  - Aplicação do silicato de sódio sobre o reparo;
  - Tratamento dos ralos;
- (selante autonivelante de poliuretano bicomponente)

Cura úmida por aspersão de água



### Alternativa com silicato de sódio



tratamento das juntas de concretagem com poliuretano

## Estanqueidade da laje

### Manta PVC

Alternativas sistema não aderente  
manta EVLON ou de PVC reforçada com malha de poliéster  
na espessura de mínima de 1,2mm



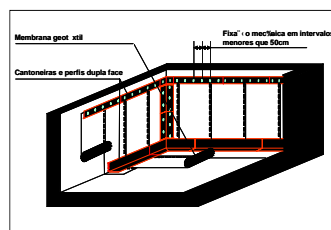
### Alternativa com revestimento Manta Evlon ou de PVC

Recuperação estrutural;

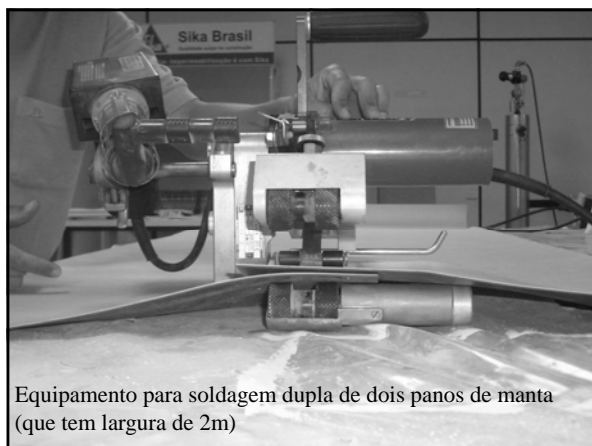
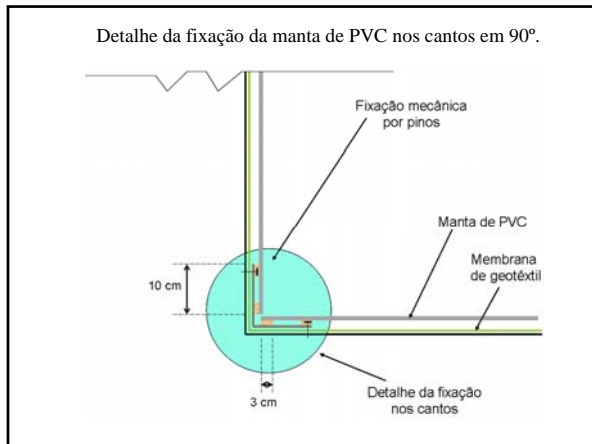
Limpeza do substrato.

### Alternativa com manta de PVC

Fornecimento e aplicação da manta de PVC



- Geotêxtil de 150g/m<sup>2</sup>, 3mm
- fixações mecânicas,
- perfil metálico com dupla-face (alumínio e PVC) e
- manta de PVC reforçada com malha de poliéster na espessura de mínima de 1,2mm.



**Estanqueidade da laje**

**Poliurea**



### **Alternativa com revestimento base poliurea**

- Recuperação estrutural;
- Regularização da superfície;
- Cura úmida por aspersão de água;
- Limpeza do substrato.

Alternativas:

### **Revestimento Poliuréia**

sistema elastomérico de alta espessura (>1mm), à base de poliuréia híbrida isento de solventes, com alumínio metálico incorporado, aplicado em espessuras a partir de 0,5mm, aplicado a quente.

sistema aderente

### **Alternativa com revestimento base poliurea fornecimento e aplicação de revestimento tipo poliuréia**



“air less bi-componente” de pressão mínima de 3.500 psi e temperatura mínima de 75°C

### **VISÃO GERAL do PROJETO de REABILITAÇÃO**

- Descrição das Intervenções
- Materiais e Sistemas
- Equipamentos
- Mão-de-Obra
- Controles
- Previsão orçamentária

### **VISÃO GERAL do PROJETO de REABILITAÇÃO**

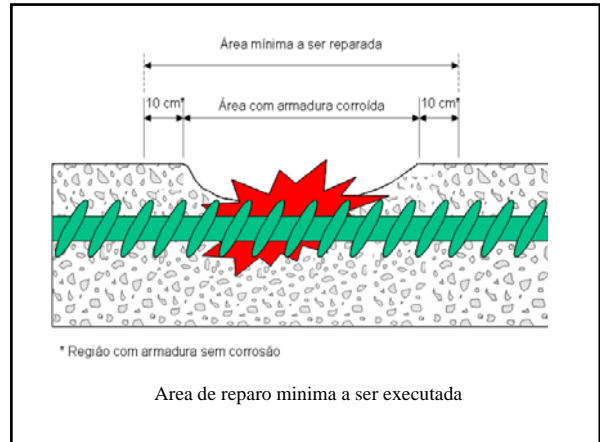
**Grandes Intervenções:**

- Reabilitação estrutural da laje e vigas
- Estanqueidade da laje( 3 alternativas)
- Reparo no concreto aparente

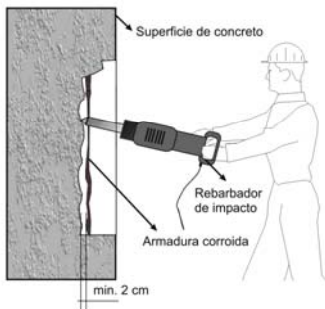
**Intervenções complementares:**

- Reconstrução e proteção de juntas de dilatação
- Recuperação e proteção de vigas de periferia (platibanda)
- Recuperação do sistema de coleta de águas pluviais, na cabeça dos pilares

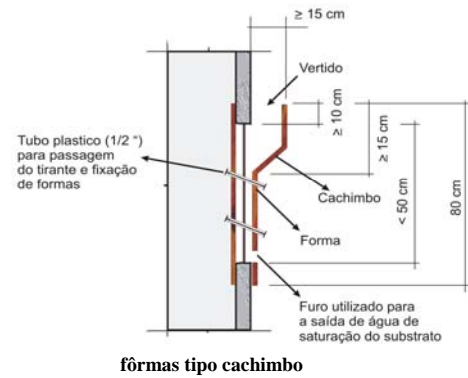
# Reabilitação estrutural das vigas



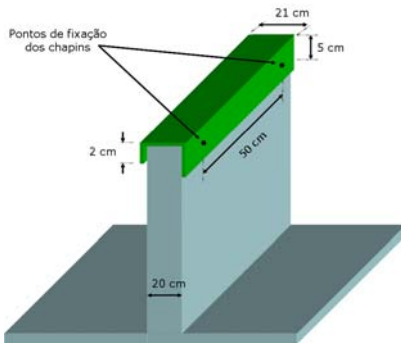
Escarificação do concreto contaminado, com martelo eletromecânico. Argamassa tixotrópica base cimento modificado com polímeros



Preenchimento com graute base cimento de alta resistência

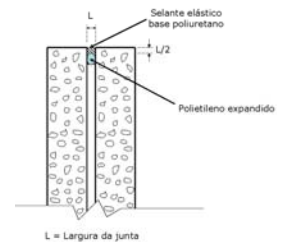


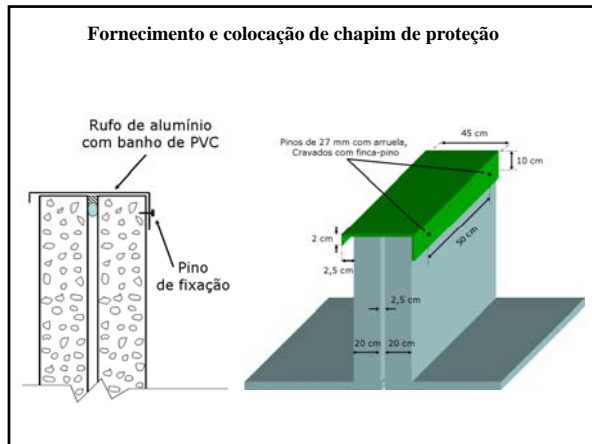
Fornecimento e colocação de chapins de alumínio ou chapa galvanizada na face superior de todas as vigas invertidas e na viga (platibanda) de periferia



Limpeza por escovamento das juntas de dilatação

Preenchimento com selante base poliuretano





# Previsão Orçamentária

**Previsão Orçamentaria**

**Total Geral:**

- Recuperação estrutural das vigas e laje → US\$ 650.000
- Proteção de concreto aparente → US\$ 450.000
- Estanqueidade da laje:
  - Silicato de sódio → US\$ 210.000
  - Manta de Evlon ou PVC → US\$ 650.000
  - Poliuréia → US\$ 600.000

**REABILITAÇÃO**  
Procedimento de Execução

---

■ **Fixação do pino**

Deve ser fixado um pino com adaptador para engate de mangueira de pressão de pelo menos 25 mm de diâmetro.

**REABILITAÇÃO**  
Procedimento de Execução

---

- Insuflação de air quente para secagem;
- Insuflação do veneno químico em pó para preservação da madeira e redução do risco de insetos;
- Vedação dos pontos.

