

## *Fissuração - 168 Casos Reais*

*Prof. Eduardo C. S. Thomaz*

---

Este artigo é uma coletânea de fissuras observadas em construções de concreto armado ou de concreto protendido. Também são relatados casos de deformações excessivas e de corrosão das barras da armadura.

Cada tipo de fissuração observado foi analisado com o objetivo de determinar as suas causas. Em alguns casos é sugerida uma solução para a recuperação da estrutura. Em outros, é feita uma recomendação para um bom projeto, de modo a evitar as falhas observadas.

Alguns desses tipos de fissuração são muito freqüentes e podem ser observados em grande número de obras semelhantes.

Com essa análise de um grande número de casos reais de fissuração, de deformação e de corrosão podem-se identificar alguns dos cuidados que devem ser tomados para bem projetar, bem detalhar, ver P. B. Fusco [ 45 ], e bem executar estruturas de concreto armado e protendido.

Com a importância que hoje tem a "Recuperação de Estruturas", é necessário avaliar corretamente as causas das fissuras para realmente recuperar as estruturas e não apenas remendá-las.

### **INTRODUÇÃO**

Ao se projetar uma estrutura de concreto armado ou de concreto

protendido é usual fazer apenas a verificação da abertura das fissuras de flexão [10].

As normas em geral fornecem unicamente formulação destinada à verificação dessas fissuras de flexão.

Algumas normas como a DIN-1045 [24] e a NB-01 [23] verificam apenas se o estado de fissuração é aceitável ou não, sem definir qual a abertura máxima prevista para a fissura.

Entre as normas mais divulgadas, somente o CEB 78 [1] estima a abertura de fissuras inclinadas, causadas pela ação da força cortante.

O CEB 90 - Model Code [42] não mais o faz.

Daí resulta ser o engenheiro projetista de estruturas induzido à simples utilização rotineira de algumas fórmulas, sem a análise das causas da fissuração.

A consequência desse modo de projetar é a repetição, ao longo do tempo, de falhas em obras de concreto armado ou protendido. Algumas dessas falhas, já observadas em obras antigas, não são, no entanto, citadas em livros, nem em revistas e nem nos cursos de graduação de engenheiros civis nas Universidades.

O estudo dos efeitos dos esforços de coação, vale dizer da retração hidráulica do concreto e da dilatação ou retração térmica do concreto, deve ser uma constante em um projeto de concreto armado.

Os resultados das pesquisas do Eng.Horst Falkner [5] e [33] muito contribuíram para um detalhamento correto das armaduras destinadas a limitar a fissuração causada pelos esforços de coação. As principais conclusões obtidas por Falkner, a respeito do efeito dos esforços de coação, estão apresentadas no exemplo nº 6 . As observações, feitas por nós nas obras, confirmam totalmente a formulação proposta em [5] e em [33].

Outra grande contribuição ao estudo da formação de fissuras em estruturas de concreto armado tem sido dada por Schlaich [15] , [20], [34] e [43], cujos trabalhos facilitam a compreensão do real comportamento das estruturas.

A falta de cuidados especiais no projeto e na construção de obras em ambientes agressivos ao concreto, como ambiente marinho, regiões com chuvas ácidas, com sulfatos de origem industrial, tem gerado cada vez mais corrosão nas armaduras das estruturas de concreto .

## **CASOS REAIS**

Apresentamos, a seguir, 125 casos reais de fissuração, deformação excessiva, corrosão e ataques químicos, observados em estruturas de concreto armado ou protendido.

Estão presentes, em cada exemplo, os itens :

- tipo de estrutura
- fissuração, deformação ou corrosão observada

- esquema estrutural
- causas prováveis das fissuras, flechas ou corrosão.
  
- As considerações feitas para cada caso apresentado podem ser transferidas para outras situações estruturais semelhantes, de modo a ampliar o campo de aplicação dos critérios de projeto e de detalhamento recomendados.
  
- Estão também incluídos exemplos de fissuração em alvenarias. Essa fissuração é, em geral, resultado da grande deformabilidade das estruturas, devendo, portanto, ser considerada uma falha, a corrigir, no projeto estrutural.
  
- Para facilitar a avaliação a deformabilidade de vigas de concreto armado, foram apresentados dois estudos estatísticos ( exemplos nº 67 e 68 ), feitos com base em ensaios de 94 vigas de concreto.

O Engenheiro Luiz Augusto C. Moniz de Aragão Filho, professor do nosso Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção (IME) colabora com a implantação deste artigo.

Rio de Janeiro, 23 de abril de 2003

Eduardo Thomaz.

## Fissuração - 168 Casos Reais

### Índice

<b>Exemplo</b>	<b>Tipo de Estrutura</b>	<b>Fissuração</b>
<a href="#">exemplo01</a>	Reservatórios não enterrados expostos à insolação;	Vertical na parte superior das paredes;
<a href="#">exemplo02</a>	Pilares com paredes finas;	Vertical nas paredes, na parte inferior junto às fundações;
<a href="#">exemplo03</a>	Estruturas de edificações em concreto armado;	De coação em geral;
<a href="#">exemplo04</a>	Galerias;	Vertical na parte inferior das paredes;
<a href="#">exemplo05</a>	Túnel em rocha com revestimento de concreto armado;	Vertical nas paredes;
<a href="#">exemplo06</a>	Estrutura de concreto armado com esforços de coação;	Transversal à direção do deslocamento impedido;
<a href="#">exemplo07</a>	Lajes em concreto armado, com aberturas, em estrutura tipo "caixa";	Inclinada à 45° nos cantos de aberturas em lajes;
<a href="#">exemplo08</a>	Paredes de concreto em edifícios;	Vertical junto à fundação e à laje de cobertura;
<a href="#">exemplo09</a>	Paredes de concreto em edifícios expostos à insolação;	Inclinada, nas paredes internas de alvenaria;
<a href="#">exemplo10</a>	Prédios de concreto armado com paredes de alvenaria;	Inclinada à 45° ou verticais nas paredes de alvenaria;
<a href="#">exemplo11</a>	Lajes lisas de edifício de concreto armado ou protendido;	Inclinada nas paredes internas de alvenaria;
<a href="#">exemplo12</a>	Vigas com apoios na parte superior (brise soleil);	Horizontal sob os apoios;
<a href="#">exemplo13</a>	Pontes ou viadutos com dente Gerber;	Inclinada à 45°, a partir do canto interno do dente Gerber;
<a href="#">exemplo14</a>	Pontes de concreto armado ou de concreto protendido;	Inclinada à 45°, tangente à armadura dobrada ou à placa de ancoragem dos cabos de protensão;

<a href="#">exemplo15</a>	Estruturas de apoio de vigas pré-moldadas;	Inclinada à 45°, tangente à armadura dobrada;
<a href="#">exemplo16</a>	Canais em concreto armado;	Vertical, na parte superior das paredes;
<a href="#">exemplo17</a>	Pontes ou viadutos em concreto protendido;	Vertical;
<a href="#">exemplo18</a>	Pontes ou viadutos em concreto armado;	Vertical à meia altura das vigas;
<a href="#">exemplo19</a>	Consolos curtos como apoio de vigas em concreto armado;	Vertical, em diferentes posições do consolo;
<a href="#">exemplo20</a>	Pontes em balanços sucessivos;	Vertical na alma da viga, nas juntas de concretagem;
<a href="#">exemplo21</a>	Construções em balanço em concreto protendido;	Vertical na viga, antes da protensão;
<a href="#">exemplo22</a>	Vigas contínuas em concreto protendido;	Vertical no bordo inferior da viga, sobre os apoios;
<a href="#">exemplo23</a>	Castelos d'água com seção retangular;	Vertical na parte inferior do castelo;
<a href="#">exemplo24</a>	Castelos d'água com seção circular;	Segundo as geratrizes;
<a href="#">exemplo25</a>	Pontes em vigas pré-moldadas de concreto protendido com 2 fases de protensão;	Transversal, no eixo longitudinal da viga, no concreto da laje superior;
<a href="#">exemplo26</a>	Pontes em concreto armado com pilares dentro de rios;	Acima da linha d'água e segregação do cobrimento;
<a href="#">exemplo27</a>	Rótula tipo Freyssinet;	Nas faces laterias da articulação;
<a href="#">exemplo28</a>	Pontes em concreto armado;	Na laje superior na região do apoio;
<a href="#">exemplo29</a>	Quadros em concreto armado;	Inclinadas nos cantos do quadro;
<a href="#">exemplo30</a>	Quadros em concreto armado;	Vertical nas seções de engaste das vigas nas colunas;

<a href="#">exemplo31</a>	Vigas contínuas;	Inclinada e com grande abertura;
<a href="#">exemplo32</a>	Viga simples;	Inclinada e próxima ao apoio;
<a href="#">exemplo33</a>	Ponte ferroviária com viga invertida;	Longitudinal na laje;
<a href="#">exemplo34</a>	Viga parede contínua;	Inclinada na direção do apoio;
<a href="#">exemplo35</a>	Pilar parede;	Vertical no topo do pilar;
<a href="#">exemplo36</a>	Viga invertida;	Na laje, transversal à viga;
<a href="#">exemplo37</a>	Lajes nervuradas;	Transversal , sobre os apoios;
<a href="#">exemplo38</a>	Edificações com grandes balanços;	Inclinada nas paredes de alvenaria;
<a href="#">exemplo39</a>	Edificações com grandes balanços;	Horizontal na parede de alvenaria;
<a href="#">exemplo40</a>	Bloco sobre várias estacas;	Em forma de arco nas 4 faces laterais;
<a href="#">exemplo41</a>	Galeria de drenagem em rodovia	Vertical em vários pontos;
<a href="#">exemplo42</a>	Viga de bordo em piso de edifícios;	Helicoidal de torção;
<a href="#">exemplo43</a>	Barragens de concreto;	Na face de montante;
<a href="#">exemplo44</a>	Laje simplesmente apoiada;	Inclinada a 45 graus nos cantos;
<a href="#">exemplo45</a>	Lajes cogumelo com alvenarias em cima;	Inclinada a 45 graus nas alvenarias;
<a href="#">exemplo46</a>	Edificações com paredes de alvenaria;	Inclinada a 45 graus nas alvenarias, em forma de barraca;

<a href="#">exemplo47</a>	Edificações com paredes de alvenaria;	Inclinada a 45 graus nas alvenarias e vertical nas vigas;
<a href="#">exemplo48</a>	Edificações com paredes de alvenaria;	Inclinada a 45 graus nas alvenarias e vertical nas vigas;
<a href="#">exemplo49</a>	Passarela de concreto;	Inclinada a 45 graus;
<a href="#">exemplo50</a>	Pontes em concreto protendido;	Na saída lateral dos cabos;
<a href="#">exemplo51</a>	Pontes em concreto protendido;	Vertical na saída lateral dos cabos;
<a href="#">exemplo52</a>	Consolos curtos;	Vertical junto à face do pilar e inclinada;
<a href="#">exemplo53</a>	Edificação sujeita a incêndio;	Inclinada no pilar externo;
<a href="#">exemplo54</a>	Viga executada em várias etapas;	Vertical na seção do engaste;
<a href="#">exemplo55</a>	Edifício com fundação em radier;	Inclinada e vertical nas fundações;
<a href="#">exemplo56</a>	Marquise em concreto armado;	Transversal às paredes do prédio;
<a href="#">exemplo57</a>	Laje lisa protendida;	Longitudinal, junto aos cabos;
<a href="#">exemplo58</a>	Paredes executadas com formas deslizantes;	Horizontais nas paredes;
<a href="#">exemplo59</a>	Vigas pré-moldadas;	Junto aos cantos vivos das formas;
<a href="#">exemplo60</a>	Estrutura em concreto junto ao mar;	Longitudinal , junto das armaduras;
<a href="#">exemplo61</a>	Pilares altos com juntas de concretagem;	Múltipla nas juntas de concretagem;
<a href="#">exemplo62</a>	Guarda corpo de concreto armado;	Vertical de flexão sobre os apoios;



<a href="#">exemplo63</a>	Brise Soleil de concreto armado;	Vertical de flexão sobre os apoios;
<a href="#">exemplo64</a>	Paredes de concreto com aberturas;	Vertical junto às aberturas;
<a href="#">exemplo65</a>	Tabuleiro celular com abertura na laje;	Longitudinal junto às aberturas;
<a href="#">exemplo66</a>	Viga com rebaixo;	Horizontal em frente ao rebaixo;
<a href="#">exemplo67</a>	Vigas de concreto armado;	Flechas para carga de 40% P.última;
<a href="#">exemplo68</a>	Vigas de concreto armado;	Flechas para carga de 80% P.última;
<a href="#">exemplo69</a>	Galerias de drenagem em rodovia;	Longitudinal no topo da parede;
<a href="#">exemplo70</a>	Laje submersa e sem impermeabilização;	Sem fissuras e sempre submersa;
<a href="#">exemplo71</a>	Viga simples em 2 apoios;	Fissura $w = 0,10\text{mm}$ ;
<a href="#">exemplo72</a>	Viga simples em 2 apoios;	Fissura $w = 0,20\text{mm}$ ;
<a href="#">exemplo73</a>	Estacas de concreto com camisa de aço;	Corrosão na camisa de aço;
<a href="#">exemplo74</a>	Bloco executado com forma de concreto;	Junto das armaduras e corrosão;
<a href="#">exemplo75</a>	Pilar em forma de caixa;	Fissuras verticais na base do pilar;
<a href="#">exemplo76</a>	Pilares caixão;	Fissuras horizontais nas paredes dos pilares;
<a href="#">exemplo77</a>	Pilares caixão;	Desprendimento do cobrimento;
<a href="#">exemplo78</a>	Blocos de estacas;	Fissuras verticais;

<a href="#">exemplo79</a>	Blocos de estacas;	Desprendimento do cobrimento;
<a href="#">exemplo80</a>	Travessas de apoio de longarinas pré-moldadas;	Desprendimento do cobrimento de ferro de estribo;
<a href="#">exemplo81</a>	Travessa de apoio de longarinas	Fissuras inclinadas
<a href="#">exemplo82</a>	Travessa de apoio de longarinas	Fissuras verticais
<a href="#">exemplo83</a>	Travessa em forma de T	Fissuras em forma de malha
<a href="#">exemplo84</a>	Poste de concreto armado	Corrosão das armaduras
<a href="#">exemplo85</a>	Caixa d'água	Fissuras devidas à corrosão
<a href="#">exemplo86</a>	Pórtico de apoio de longarinas	Fissuras verticais na laje inferior
<a href="#">exemplo87</a>	Paredes com muitas aberturas	Fissuras inclinadas nos cantos
<a href="#">exemplo88</a>	Parede para proteção radiológica,	Fissura de "reunião" no interior da parede
<a href="#">exemplo89</a>	Travessa de apoio de longarinas	Fissuração de flexão e de cisalhamento
<a href="#">exemplo90</a>	Pilar com travessa	Fissura vertical da base do pilar
<a href="#">exemplo91</a>	Pórtico de apoio de longarinas	Fissura inclinada no apoio
<a href="#">exemplo92</a>	Silo circular	Fissuras verticais
<a href="#">exemplo93</a>	Grelha de laje de cobertura	Fissuras verticais sobre os estribos

<a href="#">exemplo94</a>	Viaduto com tabuleiro celular	Fissuras no guarda rodas
<a href="#">exemplo95</a>	Laje lisa em balanço	Fissuras radiais
<a href="#">exemplo96</a>	Grelha em concreto protendido	Fissuras inclinadas
<a href="#">exemplo97</a>	Brise Soleil	Fissuras verticais no meio dos vãos
<a href="#">exemplo98</a>	Brise Soleil	Fissuras verticais no vão e no apoio
<a href="#">exemplo99</a>	Grelha de concreto armado	Queda do cobrimento
<a href="#">exemplo100</a>	Mesas e bancos de concreto armado	Corrosão
<a href="#">exemplo101</a>	Pórtico em frente ao oceano	Corrosão
<a href="#">exemplo102</a>	Muro de placas premoldadas	Corrosão
<a href="#">exemplo103</a>	Marquise	Corrosão
<a href="#">exemplo104</a>	Marquise	Corrosão
<a href="#">exemplo105</a>	Grelha em concreto protendido	Fissuras na face superior das lajes
<a href="#">exemplo106</a>	Edifício em pórtico	Flecha excessiva
<a href="#">exemplo107</a>	Reservatório de água	Vazamento de água
<a href="#">exemplo108</a>	Edifício em concreto armado	Segregação das pedras

<a href="#">exemplo109</a>	Prédio de 2 pavimentos	Fissuras horizontais
<a href="#">exemplo110</a>	Prédio de 2 pavimentos	Fissuras inclinadas nas alvenarias
<a href="#">exemplo111</a>	Prédio residencial	Fissura em junta de concretagem
<a href="#">exemplo112</a>	Reservatório cilíndrico de água	Fissuras no fundo do reservatório
<a href="#">exemplo113</a>	Passarela de pedestres	Vibração excessiva
<a href="#">exemplo114</a>	Prédio de 2 pavimentos	Fissuras nas lajes do térreo
<a href="#">exemplo115</a>	Pista de concreto em aeroporto	Fissuras em forma de "Mapa"
<a href="#">exemplo116</a>	Concreto sujeito a ataques de sulfatos	Corrosão
<a href="#">exemplo117</a>	Casa de alvenaria	Fissuras verticais nas paredes
<a href="#">exemplo118</a>	Prédio construído junto a prédio antigo	Fissuras e degraus nos revestimentos
<a href="#">exemplo119</a>	Prédio com pilar revestido com pedras	Queda do revestimento
<a href="#">exemplo120</a>	Prédio com paredes pré-moldadas	Fissuras nas paredes pré-fabricadas
<a href="#">exemplo121</a>	Pilares de passarela	Impacto de veículos
<a href="#">exemplo122</a>	Prédio com lajes lisas	Fissura na parede de alvenaria
<a href="#">exemplo123</a>	Prédio com paredes de alvenaria	Fissuras na fixação das portas

<a href="#">exemplo124</a>	Ponte ferroviária	Corrente elétrica de fuga
<a href="#">exemplo125</a>	Prédio com 4 andares	Fissuras inclinadas
<a href="#">exemplo126</a>	Tubos de concreto usados em esgoto	Corrosão do concreto
<a href="#">exemplo127</a>	Bloco de estacas	Armadura do bloco insuficiente
<a href="#">exemplo128</a>	Adutora enterrada	Ruptura total da adutora
<a href="#">exemplo129</a>	Prédio de concreto armado	Fissuras verticais nos pilares
<a href="#">exemplo130</a>	Marquise de um estádio esportivo	Queda da marquise
<a href="#">exemplo131</a>	Parede executada com formas deslizantes	Fissuras na ligação das lajes com as paredes
<a href="#">exemplo132</a>	Galeria subterrânea de Metrô	Fissura na ligação Laje x Parede
<a href="#">exemplo133</a>	Ponte ferroviária	Fissura na alma da viga
<a href="#">exemplo134</a>	Ponte ferroviária de aço	Impacto de veículos
<a href="#">exemplo135</a>	Viaduto urbano em concreto armado	Flecha excessiva
<a href="#">exemplo136</a>	Varandas rebaixadas	Queda da varanda
<a href="#">exemplo137</a>	Reservatório em concreto armado	Fissuras nas paredes
<a href="#">exemplo138</a>	Construção com 2 pavimentos	Fissuras nos pilares das juntas

<a href="#">exemplo139</a>	Residência de alvenaria	Fissuras nas paredes externas
<a href="#">exemplo140</a>	Edifício residencial com 4 pavimentos	Desaprumo acentuado de um pilar
<a href="#">exemplo141</a>	Edifício em concreto armado	Flechas exageradas nas vigas
<a href="#">exemplo142</a>	Edifício em concreto armado	Flechas exageradas nas vigas
<a href="#">exemplo143</a>	Poço em rocha	Fissuração no concreto das paredes.
<a href="#">exemplo144</a>	Bueiro em concreto armado.	Fissuras longitudinais nas paredes
<a href="#">exemplo145</a>	Bueiro em concreto armado.	Inclinação lateral do bueiro
<a href="#">exemplo146</a>	Viaduto ferroviário em arco	Apoio fora do lugar
<a href="#">exemplo147</a>	Viaduto com vigas pré-moldados	Fissuras longitudinais
<a href="#">exemplo148</a>	Obra de concreto armado junto ao mar	Corrosão
<a href="#">exemplo149</a>	Obra de concreto armado ou protendido	Durabilidade
<a href="#">exemplo150</a>	Obra de concreto armado ou protendido	Durabilidade
<a href="#">exemplo151</a>	Pórtico em estádio esportivo	Fissura em junta de concretagem
<a href="#">exemplo152</a>	Galpão para armazém	Recalque por adensamento da argila
<a href="#">exemplo153</a>	Piso de câmara frigorífica	"Escamas" na superfície do concreto

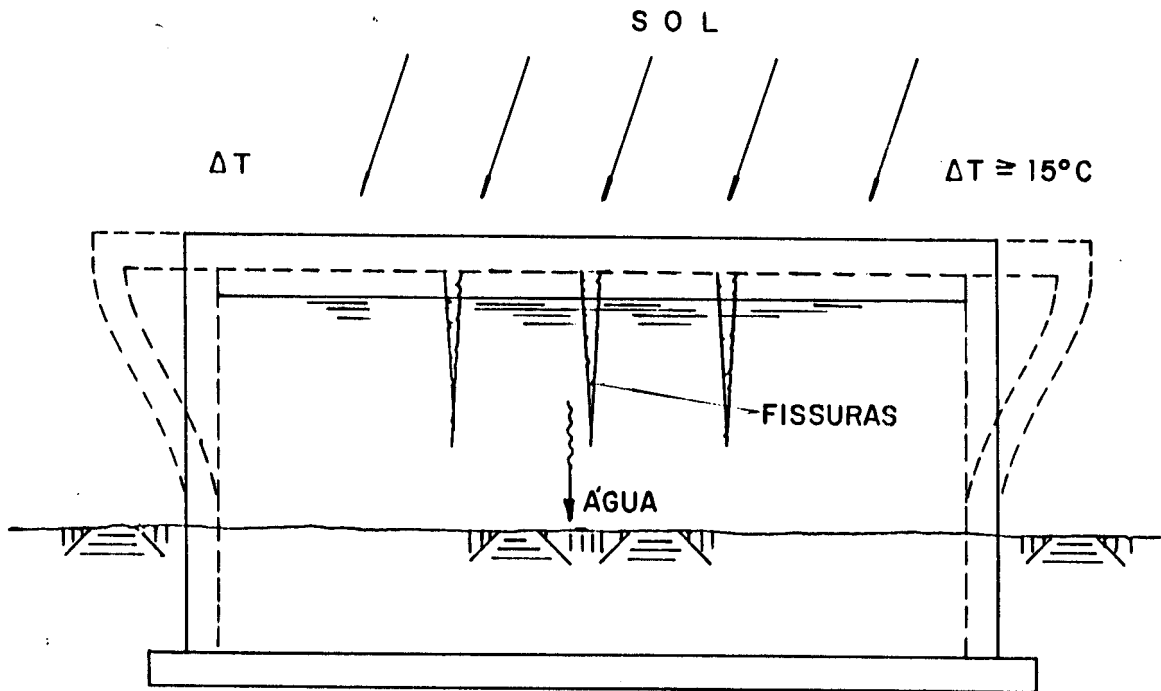
<a href="#">exemplo154</a>	Laje em balanço - Posto de gasolina	Grande fissura na face inferior
<a href="#">exemplo155</a>	Viga pré-moldada - Concreto protendido	Falhas de Concretagem
<a href="#">exemplo156</a>	Estrutura de edifício em concreto	Impacto de veículo
<a href="#">exemplo157</a>	Passarela em concreto protendido	Impacto de veículo
<a href="#">exemplo158</a>	Tubo enterrado de esgoto	Ruptura ao longo da geratriz
<a href="#">exemplo159</a>	Laje de concreto sobre terreno	Fissuras sobre armaduras superiores
<a href="#">exemplo160</a>	Laje de concreto sobre terreno	Fissuras após concretagem
<a href="#">exemplo161</a>	Viga de ponte ferroviária	Fissuras verticais
<a href="#">exemplo162</a>	Incêndio em edifício	Ruptura inclinada de pilar
<a href="#">exemplo163</a>	Edifício industrial	Fissura circular em pilar
<a href="#">exemplo164</a>	Viaduto em tabuleiro celular	Fissuras verticais
<a href="#">exemplo165</a>	Viaduto em tabuleiro celular com aduelas pré-moldadas	Falhas nas juntas
<a href="#">exemplo166</a>	Estacas executadas com concreto submerso	Concreto de baixa resistência no topo da estaca
<a href="#">exemplo167</a>	Edifícios com vários pavimentos	Fissuras na interface das alvenarias com as vigas
<a href="#">exemplo168</a>	Prédios de concreto armado com pilares em forma de V V V	Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

Exemplo nº 1

**TIPO DE ESTRUTURA:** Reservatórios não enterrados expostos à insolação

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais na parte superior das paredes

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Acréscimo de temperatura na laje superior devido à insolação. A laje dilatando traciona as paredes

$$\Delta T = 15^{\circ}\text{C}; \begin{matrix} \epsilon_{\text{parede}} = & \epsilon_{\text{laje}} = & \alpha \Delta T = 10\text{E-}5 \times 15 = 0,15 \times 10\text{E-}3 = \epsilon_{\text{ct}} \\ \text{(tração)} & \text{(compressão)} & \end{matrix}$$

O alongamento de ruptura do concreto à tração ( $\epsilon_{\text{ct}}$ ) é atingido e as paredes fissuram.

**SOLUÇÃO:**

- Isolar termicamente a laje superior
- Protender as paredes e a laje superior

**OBSERVAÇÃO:** Vedar as fissuras observadas, com impermeabilização rígida, não resolve, pois a fissura é ativa.



Exemplo nº 2

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pilares com paredes finas

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nas paredes, na parte inferior, junto às fundações

**ESQUEMA:**

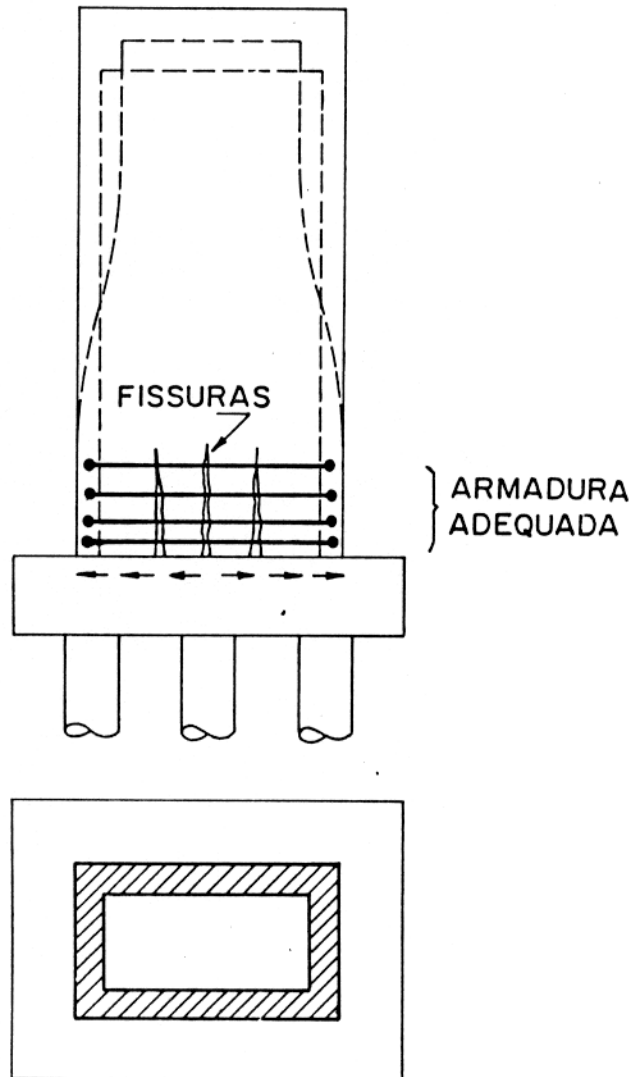


FIG. 2

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A retração das paredes finas é mais rápida do que a da fundação. A parede é impedida de retrair pela fundação e fissa.

**SOLUÇÃO:**

- Colocar armadura adequada na parte inferior das paredes. Ver recomendações de Falkner no exemplo nº 6
- Cura cuidadosa e prolongada.

**OBSERVAÇÃO:** As fissuras podem ser tomadas após período de retração das paredes.

Exemplo nº 3

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estruturas de edificações em concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras de coação em geral

**ESQUEMA:** Ver bibliografia [19]

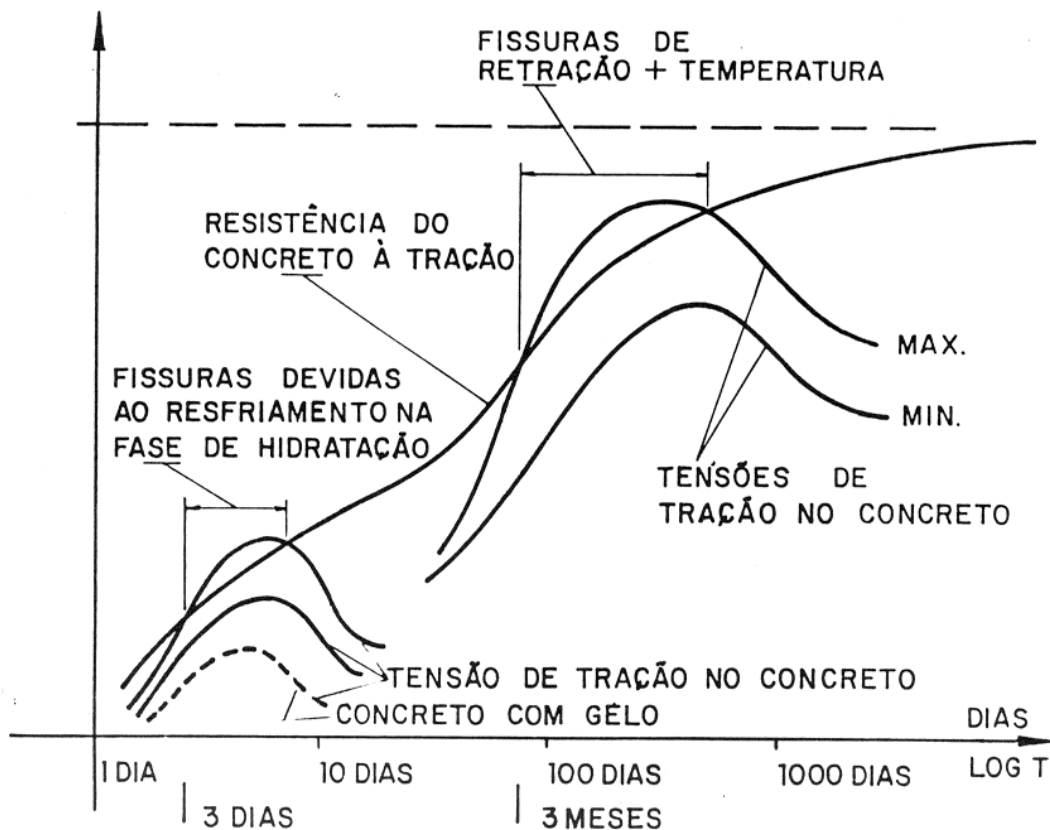


FIG. 3

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** CASO 1 - Tensões de tração causadas pelo esfriamento rápido do concreto após o desenvolvimento do calor de hidratação do cimento (1 a 3 dias) após a concretagem.

CASO 2 - Tensões de tração causadas pela retração impedida no concreto (100 a 300 dias após a concretagem)

**SOLUÇÃO:** Usar no CASO 1 agregados resfriados, água gelada ou mesmo gelo. Usar no CASO 2 cura cuidadosa, elaborar análise correta dos esforços de coação e dimensionar e detalhar armadura adequada. Ver recomendações de Falkner no exemplo nº 6.

**OBSERVAÇÃO:** As curvas da figura acima são da bibliografia [19]. Não se aplicam a obras de concreto massa como, por exemplo, barragens.

**TIPO DE ESTRUTURA:** Galerias

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais na parte inferior das paredes

**ESQUEMA:**

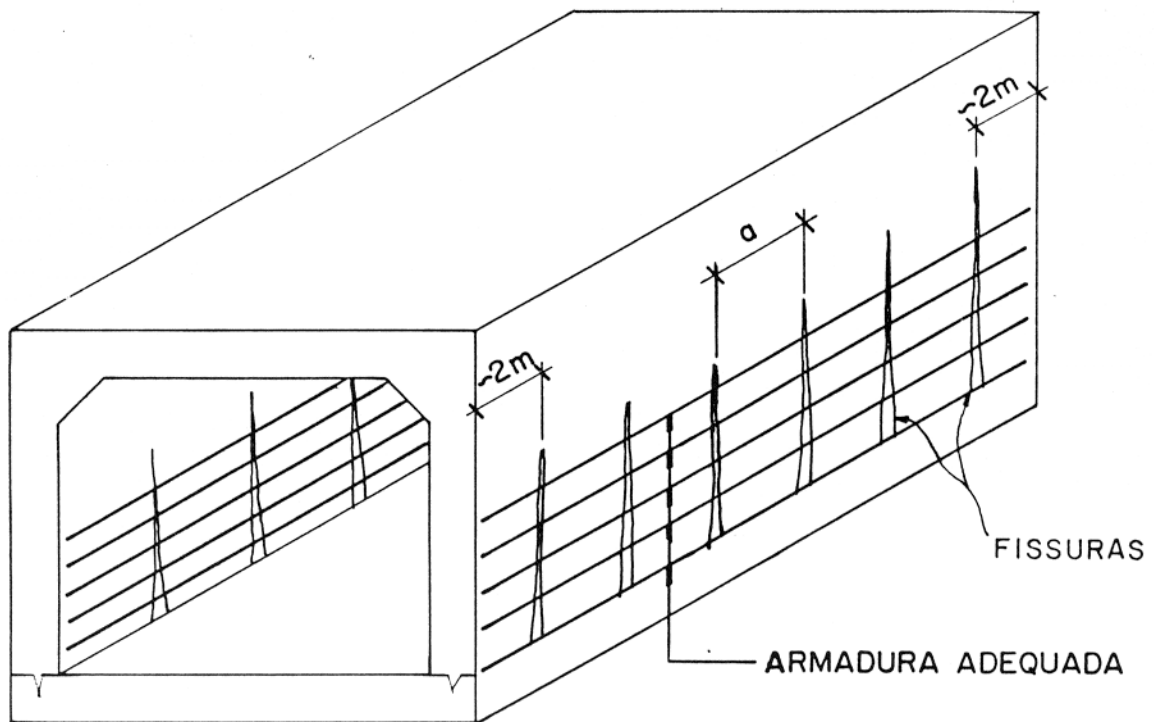


FIG. 4

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Retração das paredes impedida pela laje do fundo da galeria.

**SOLUÇÃO:** 1. Colocar armadura adequada na parte inferior das paredes. Ver recomendações de Falkner no exemplo nº 6.  
2. Cura cuidadosa e prolongada das paredes.

**OBSERVAÇÃO:** As fissuras existentes podem ser tomadas após período de retração das paredes.

**TIPO DE ESTRUTURA:** Túnel em rocha com revestimento de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nas paredes

**ESQUEMA:** 1a. parte

**ESQUEMA:** 1a. parte

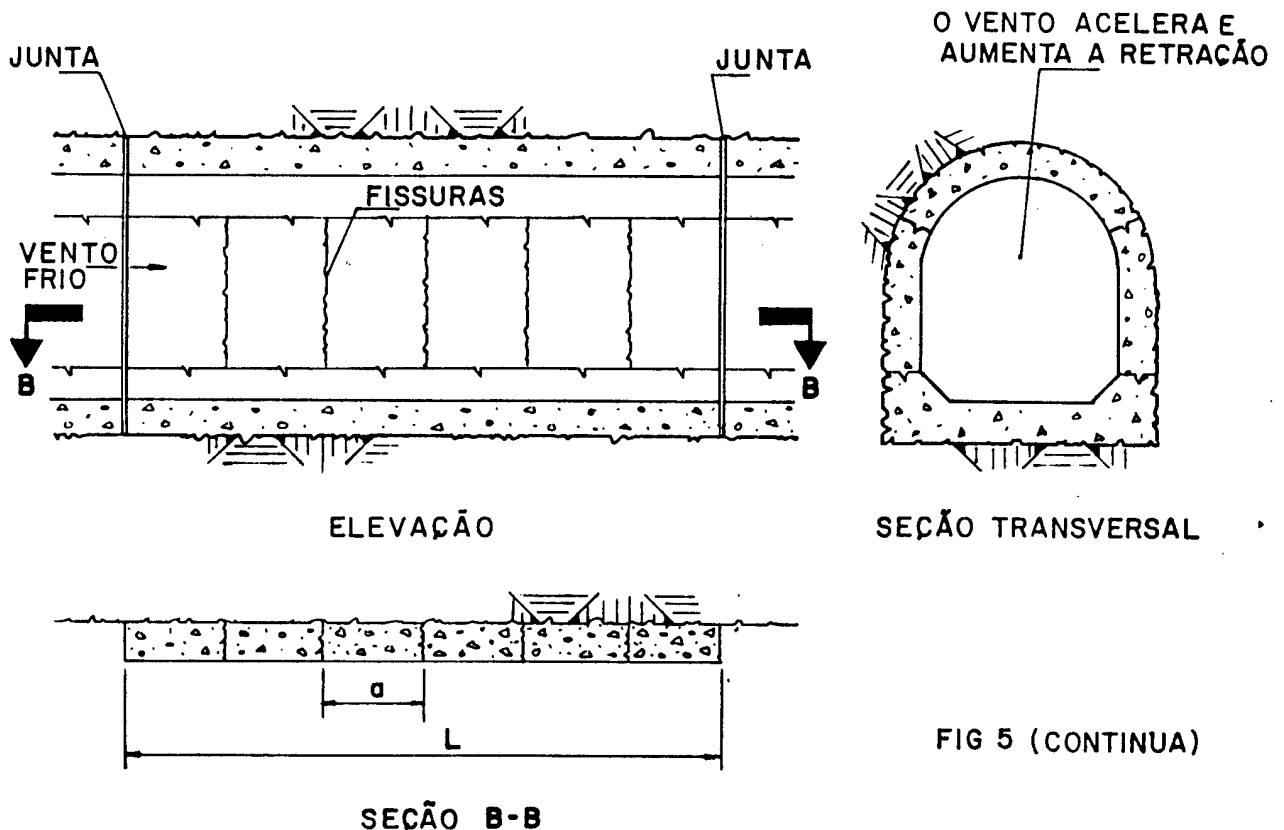


FIG 5 (CONTINUA)

$a$  = DISTÂNCIA ENTRE FISSURAS

$L$  = DISTÂNCIA ENTRE JUNTAS

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** 1-Resfriamento rápido da superfície do concreto numa fase em que o calor de hidratação do cimento ainda não foi dissipado (1 a 3 dias após a concretagem).

2-Retração do concreto (100 a 300 dias após a concretagem). O concreto impedido pela rocha de se deformar, acaba fissurando em consequência dos esforços de coação que surgem.

**SOLUÇÃO:** - Realizar uma cura cuidadosa do concreto  
- Evitar a ação do vento dentro do túnel, pois este aumenta a retração do concreto e além disso pode causar um resfriamento da superfície do concreto (continua na próxima figura)  
- Um estudo da influência do vento sobre a retração do concreto pode ser encontrado em [14].

**OBSERVAÇÃO:** O vento acelera e aumenta a retração (ver [14]).  
 $\epsilon = (\epsilon_0 + 0,7v) \times (1 - \theta)$ ;  $\epsilon$  = retração com vento e ar úmido;  
 $\epsilon_0$  = retração sem vento e com ar seco;  $v$  = velocidade do vento em m/s;  $\theta$  = umidade relativa do ar. Ex:  $\epsilon_0 = 1,2 \times 10^{-3}$ ;  $\theta = 85\%$ ,  $v = 8$  m/s  
Resulta  $\epsilon = 18 \times 10^{-5}$  (sem vento) e ainda  $\epsilon = 102 \times 10^{-5}$  (com vento)

FISSURAÇÃO: CASOS REAIS - PROF. EDUARDO CHRISTO SILVEIRA THOMAZ  
Exemplo nº 5 (Continuação)

**TIPO DE ESTRUTURA:** Túnel em rocha com revestimento em concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nas paredes

**ESQUEMA:** 2ª parte

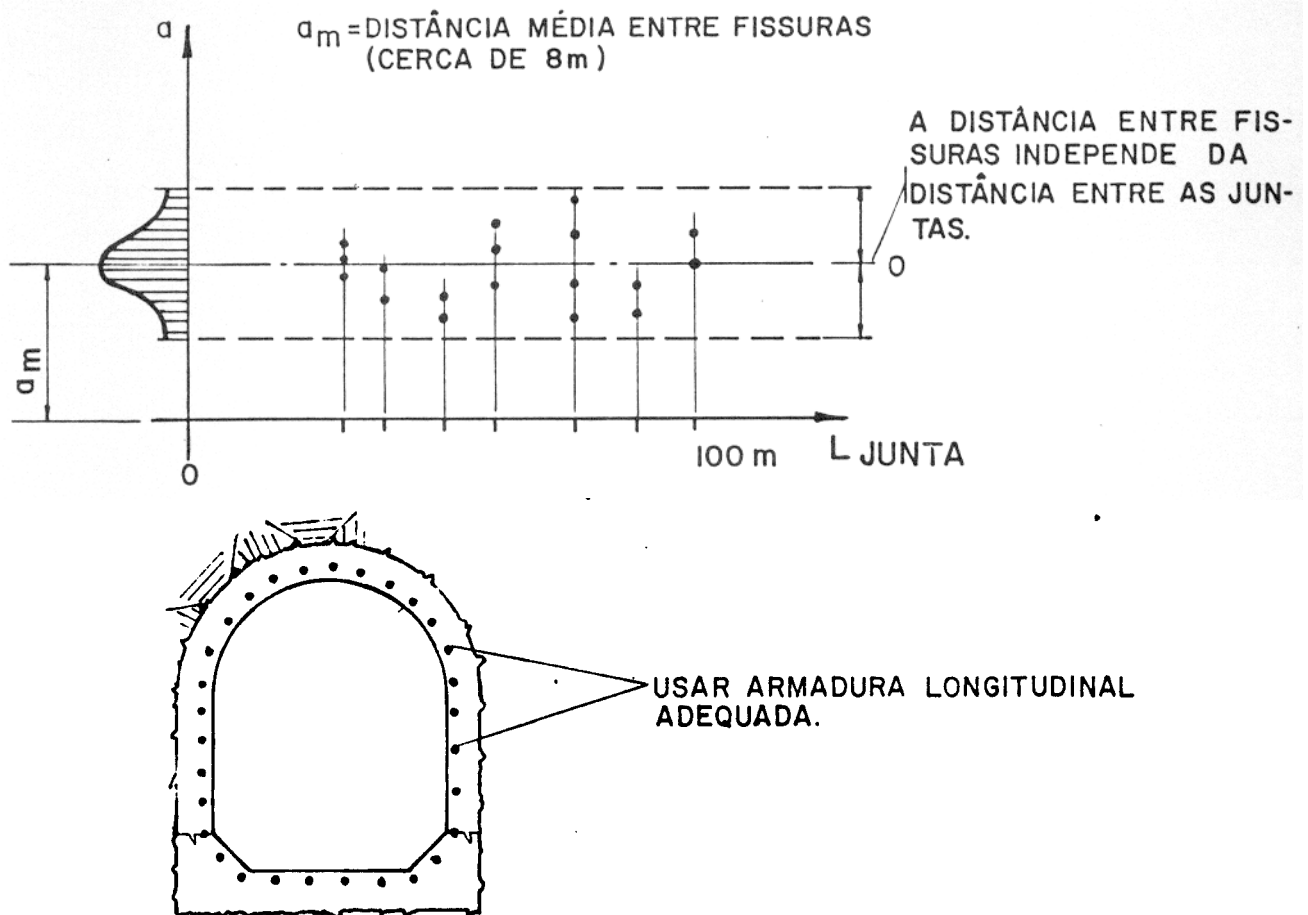


FIG 5 (CONTINUAÇÃO)

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As tensões de coação sendo ocasionadas pela rocha, a dimensão determinante é a espessura das paredes e não a distância entre as juntas. Observações feitas em obra confirmam essa hipótese (Ver figura acima).

**SOLUÇÃO:** - A forma pode ter um comprimento L qualquer, desde que se tomem as providências indicadas na página anterior.  
- Colocar armadura longitudinal para limitar a abertura das fissuras (Ver Falkner - exemplo nº 6).

**OBSERVAÇÃO:** Fissuras existentes devem ser injetadas. Não sendo elas ativas essa injeção pode ser feita após o período de retração do concreto.

Exemplo nº 6

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estrutura de concreto armado com esforços de coação

**FISSURAÇÃO:** Fissuras transversais à direção do deslocamento impedido

**ESQUEMA:** Âbaco de H.Falkner [4]

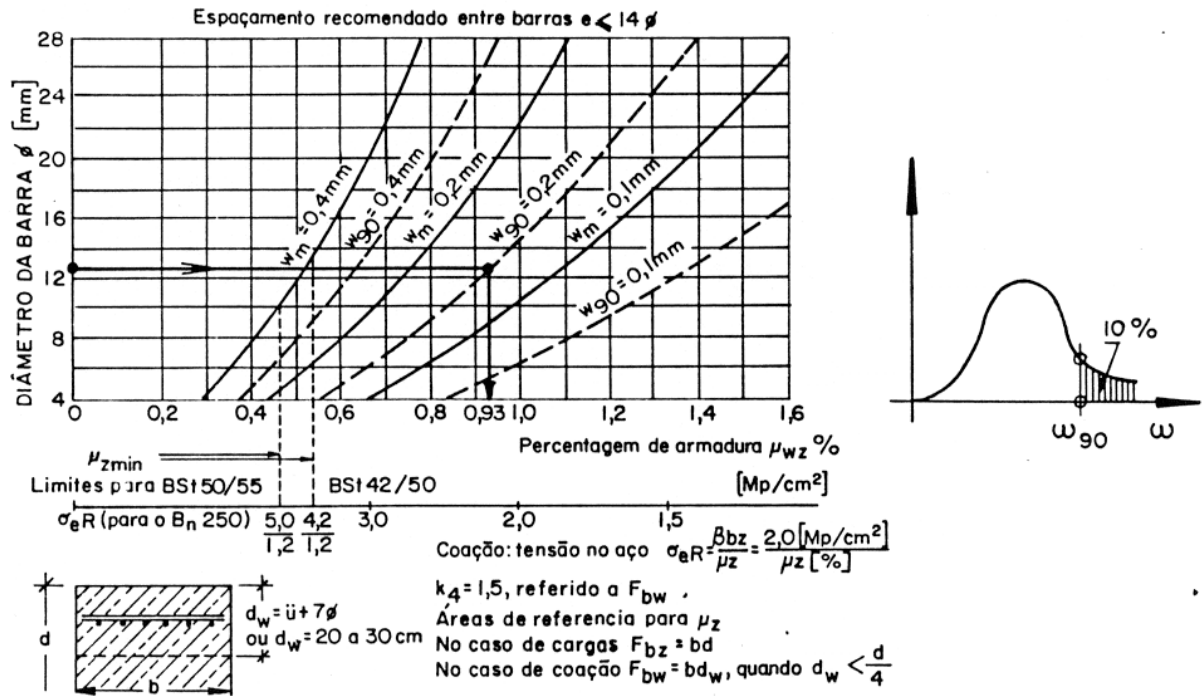


FIG. 6

Porcentagem de armadura necessária para limitar a abertura das fissuras aos valores de  $w_m$  e  $w_{90}$

Exemplo

$u =$  cobertura = 4 cm  
 $\phi =$  diâmetro da armadura  
 Parede com  $d = 40$  cm  
 Armadura  $\phi = 12,5$  mm  
 $d_w = u + 7\phi = 12,8$  cm

Calcular o espaçamento "t" entre as barras, para termos a fissura máxima  $w_{90} = 0,2$  mm  
 Obtemos:  $uzw = 0,93\%$

$$uzw = \frac{A_s}{t \cdot d_w} = \frac{1,25}{t \times 12,8} = 0,93\%$$

Logo  $t = 10$  cm; usar  $\phi 12,5$  mm cada 10 cm.

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As causas das tensões de coação são as deformações de retração ou de resfriamento do concreto quando essas deformações são impedidas.

**SOLUÇÃO:** A maneira usual de evitar tensões de coação é permitir a deformação da estrutura. Usam-se para isso apoios móveis.

Caso não se possa evitar tensões de coação é necessário calcular e detalhar armadura para limitar a abertura das fissuras. O critério de Falkner tem sido eficiente para esse cálculo das armaduras.

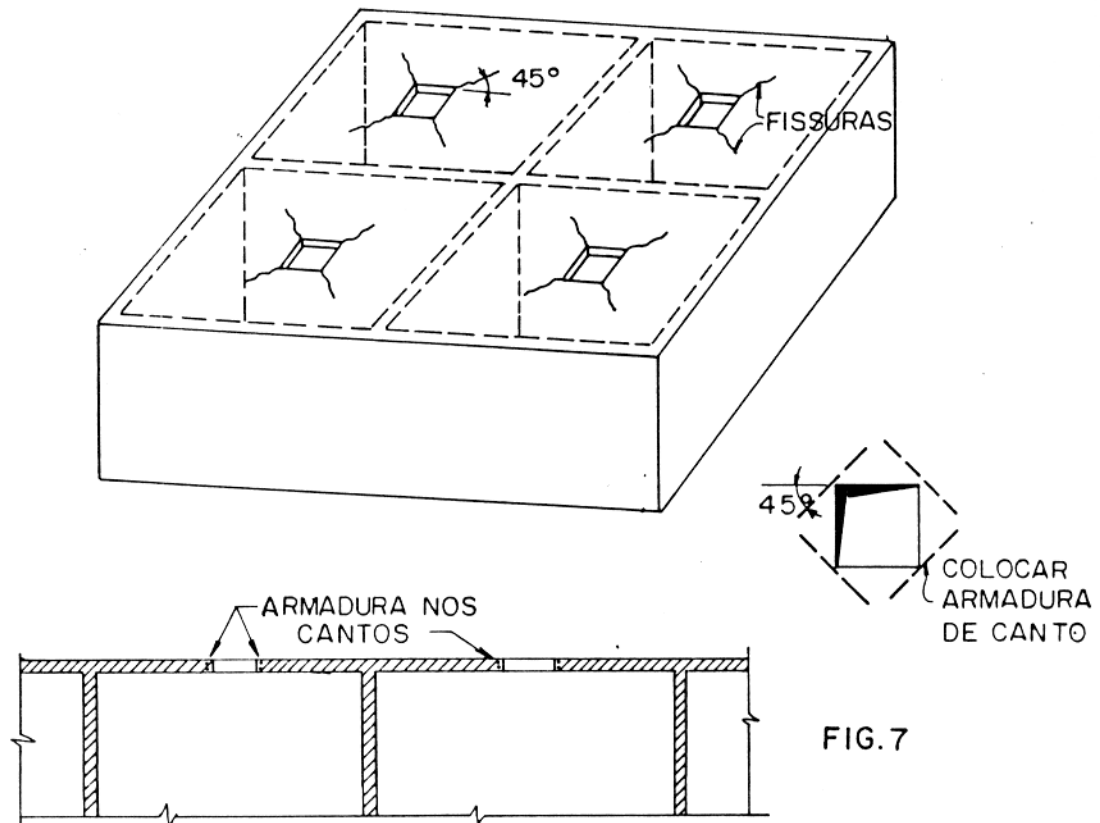
**OBSERVAÇÃO:** O âbaco de H.Falkner é feito com base em ensaios de resfriamento em tirantes de concreto armado previamente aquecidos.

Exemplo nº 7

**TIPO DE ESTRUTURA:** Lajes de concreto armado, com aberturas, em estruturas tipo "caixa".

**FISSURAÇÃO:** Fissuras a 45° nos cantos das aberturas

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A laje sofrendo um resfriamento intenso, após a fase de hidratação do cimento e sendo impedida de se deformar pelas paredes de concreto, fica sujeita a um estado plano uniforme de tração. Este estado de tensão leva à fissuração nos cantos das aberturas conforme indicado acima.

**SOLUÇÃO:** É recomendável colocar armaduras para limitar as aberturas das fissuras.

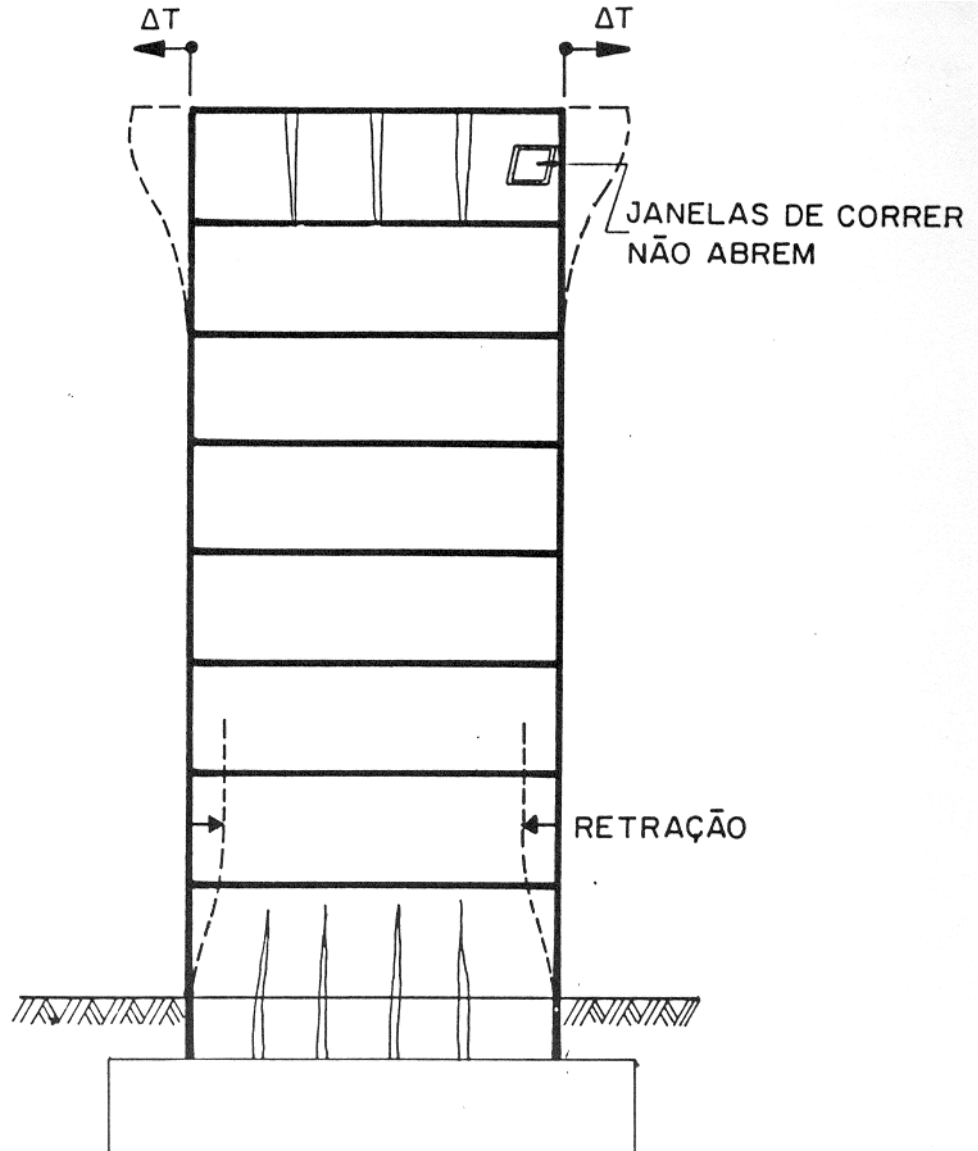
**OBSERVAÇÃO:** Ao invés de colocar a armadura nos cantos das aberturas pode-se colocar essa armadura paralela aos 4 lados das aberturas, simplificando-se desse modo a montagem das barras.

Exemplo nº 8

**TIPO DE ESTRUTURA:** Paredes de concreto em edifícios

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais junto à fundação e à laje da cobertura

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** - Junto à fundação as causas são as mesmas do exemplo nº 2, isto é, resfriamento rápido do concreto e retração. A fundação impedindo o encurtamento do concreto provoca a fissuração.

- Junto à cobertura a causa é a mesma do exemplo nº 1, isto é, acréscimo de temperatura na laje da cobertura. As paredes são tracionadas pela laje da cobertura que se dilata com o calor.

**SOLUÇÃO:** - Junto à fundação: Armadura para reduzir a fissuração e cura adequada.

- Junto à cobertura: Isolamento térmico da laje da cobertura.

**OBSERVAÇÃO:** - Junto à fundação as fissuras não são ativas e podem ser tomadas.

- Junto à cobertura as fissuras são ativas, isto é, abrem e fecham de acordo com a temperatura na laje da cobertura. Desse modo tomar as fissuras não é solução definitiva.



Exemplo nº 9

**TIPO DE ESTRUTURA:** Paredes de concreto em edifícios expostos à insolação

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas nas paredes internas de alvenaria

**ESQUEMA:**

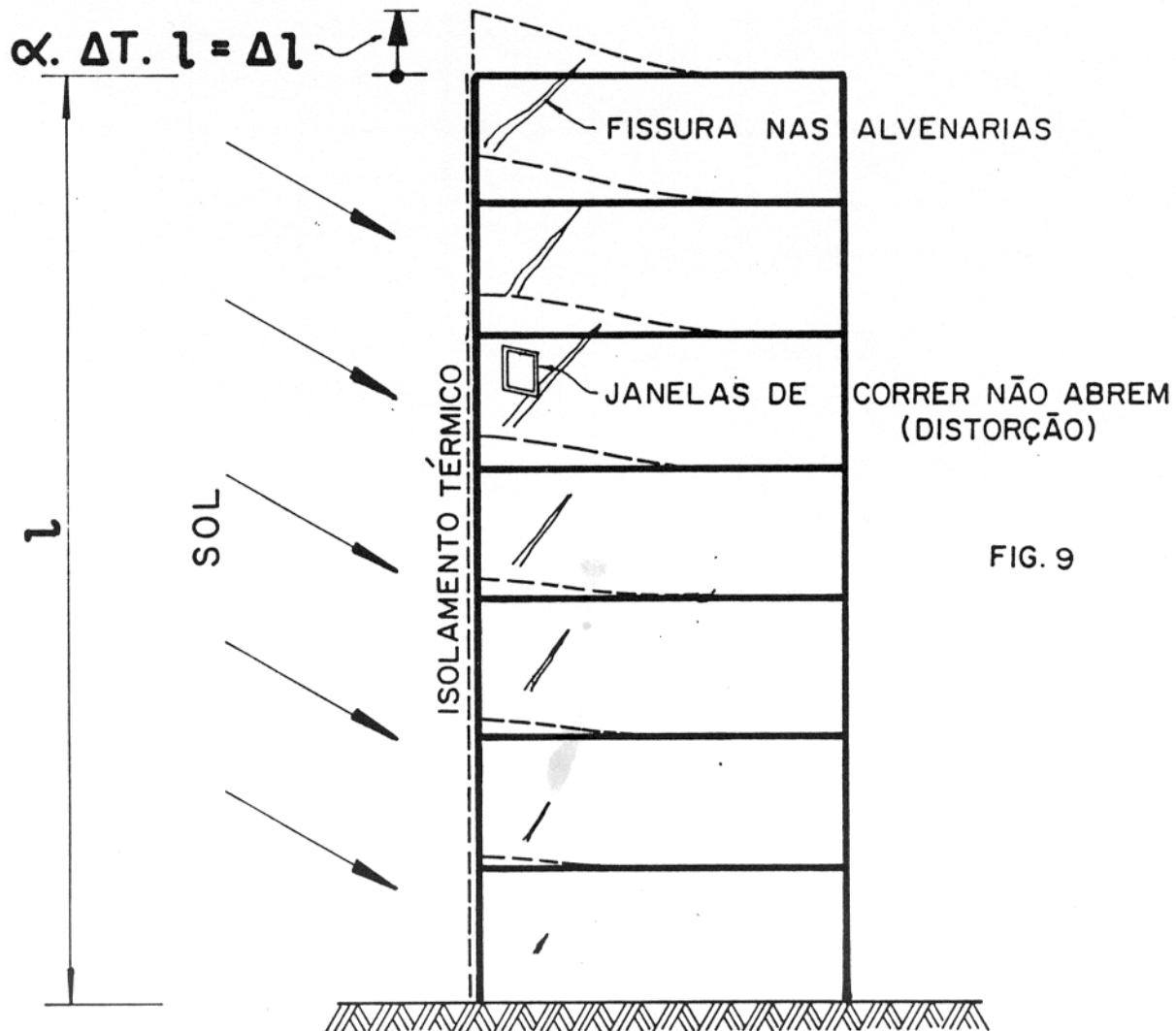


FIG. 9

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Distorção das paredes internas causada pelo aumento de comprimento das paredes externas de concreto aquecidas pelo sol. A distorção é nula junto à fundação e máxima junto à cobertura. A fissuração tem a mesma variação que a distorção.

**SOLUÇÃO:** Isolamento térmico das paredes externas de concreto.

**OBSERVAÇÃO:** Como exemplo consideremos uma parede com 100m de altura e com 15°C de variação de temperatura.

$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 10E-5 \times 15 \times 100 = 1,5 \times 10E-2m = 1,5cm$   
 Esse deslocamento da estrutura e das alvenarias é observado e muitas vezes ouvido nas esquadrias de alumínio que estalam.

Exemplo nº 10

**TIPO DE ESTRUTURA:** Prédios de concreto armado com paredes de alvenaria

**FISSURAÇÃO:** Fissuras aproximadamente a 45° nas alvenarias e algumas fissuras verticais nas alvenarias.

**ESQUEMA:**

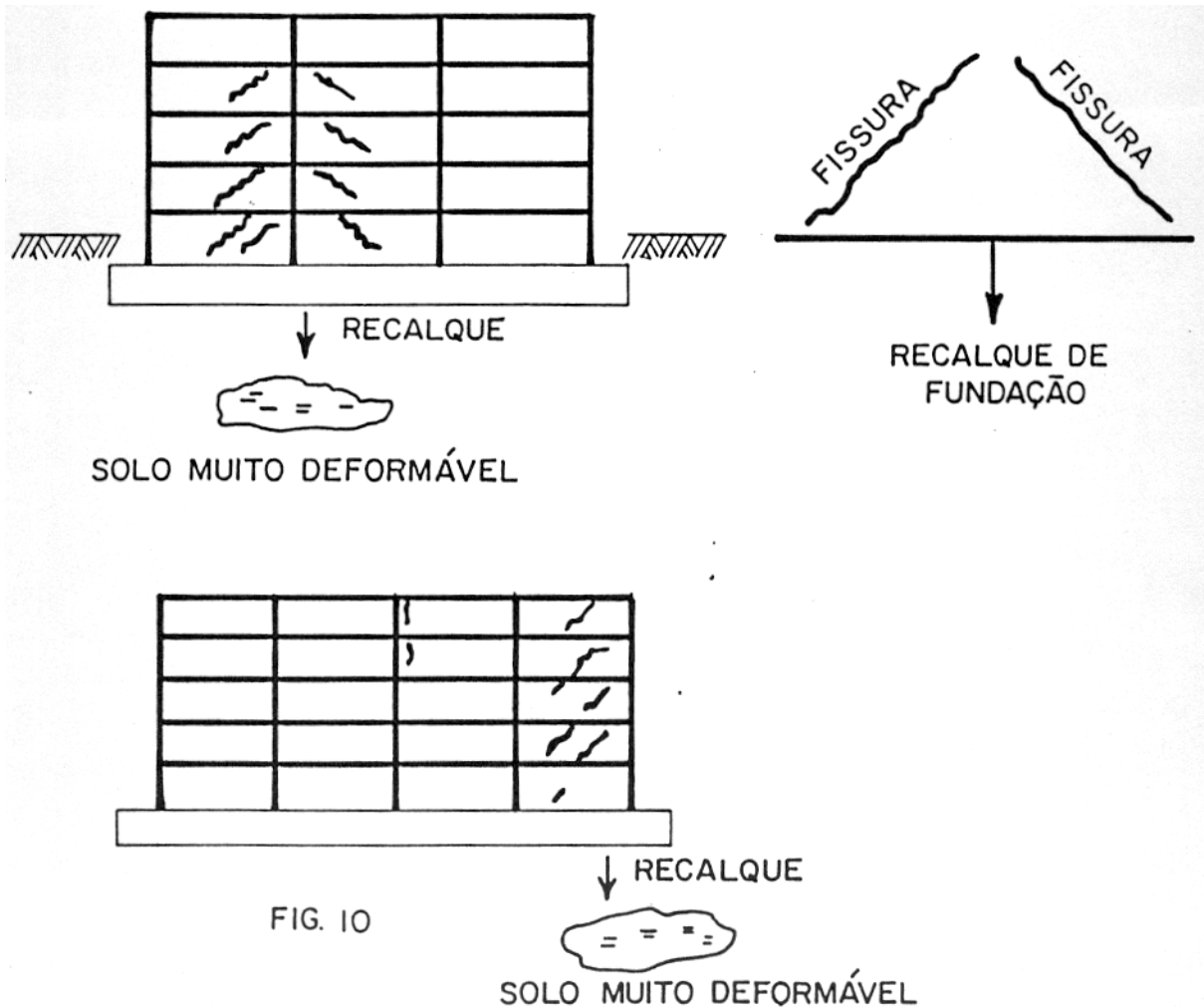


FIG. 10

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Recalque das fundações. São comuns essas fissuras em pequenas edificações com fundação direta sem estudo adequado das fundações. Em estruturas com fundações em estacas também ocorrem essas fissuras a 45° se há falhas no projeto e na execução das estacas.

**SOLUÇÃO:** Reforço das fundações. Esse reforço evidentemente será definido caso a caso, após análise da estrutura e do solo de fundação.

**OBSERVAÇÃO:** Uma regra simples que pode ser usada como orientação é a seguinte: O recalque das fundações está ocorrendo em baixo da "BARRACA" formada pelas fissuras inclinadas (Ver figura acima).

Exemplo nº 11

**TIPO DE ESTRUTURA:** Lajes lisas de edifícios em concreto armado ou protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas nas paredes internas de alvenaria

**ESQUEMA:**

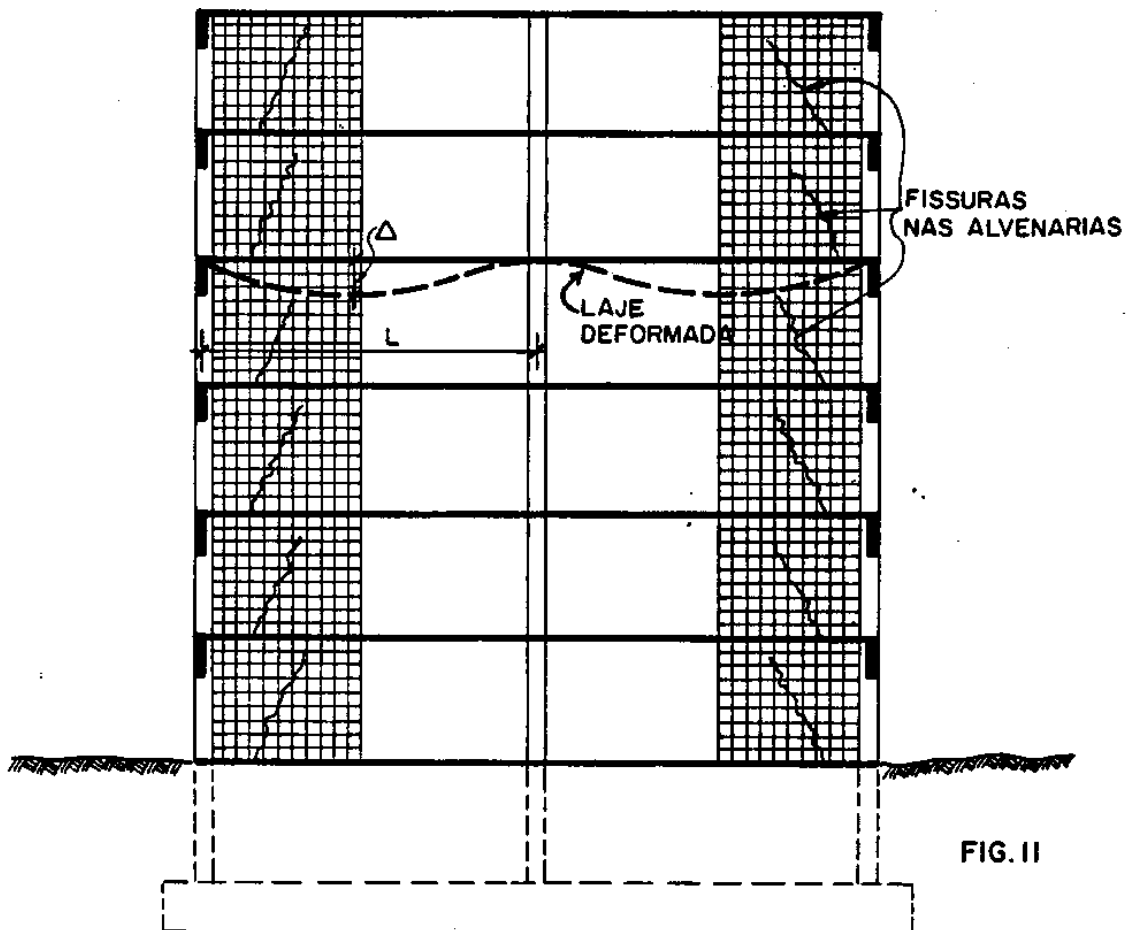


FIG. II

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As lajes lisas, se projetadas muito esbeltas, possuem grandes deformações quando carregadas com as cargas variáveis de utilização. As alvenarias, de modo semelhante ao exemplo nº 10, fissuram como indicado acima.

**SOLUÇÃO:** Projetar lajes mais rígidas de modo a evitar as flechas excessivas. A limitação recomendada é:  
 $\Delta/L = (1 \text{ a } 1,5) \times 10^{-3}$

Em estruturas existentes a melhor solução é limitar as cargas de utilização dos pisos do edifício. Qualquer reforço na estrutura é extremamente caro.

**OBSERVAÇÃO:** Diferentemente do exemplo número 9 as fissuras são praticamente iguais em todos os pisos.

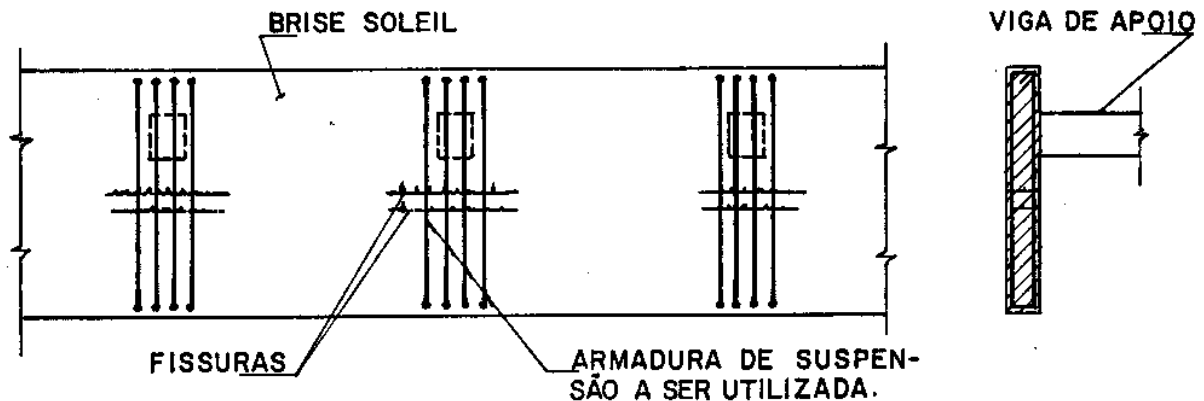
Exemplo nº 12

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas com apoios na parte superior. Exemplo frequente: "BRISE SOLEIL"

**FISSURAÇÃO:** Fissuras horizontais sob os apoios

**ESQUEMA:**

**TIPO 1: APOIO A MEIA ALTURA**



**TIPO 2: APOIO SUPERIOR**

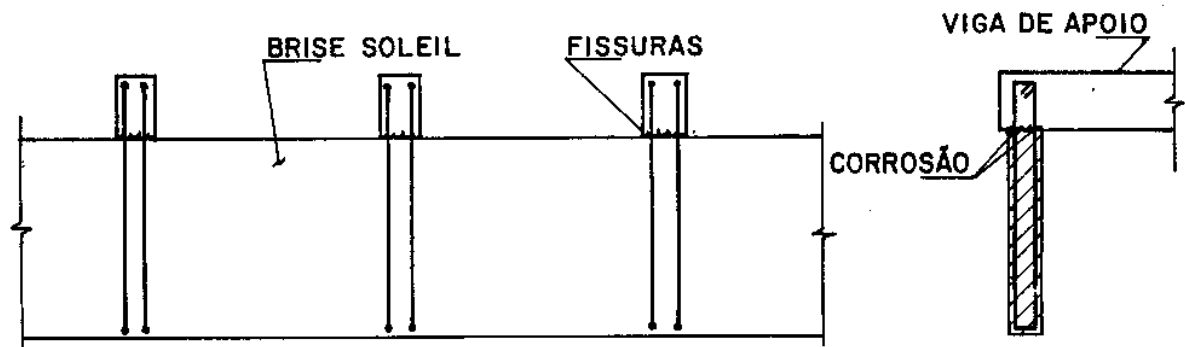


FIG.12

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Armadura de suspensão deficiente ocasionando aberturas excessivas das fissuras. Nos casos em que o meio ambiente é agressivo a corrosão das armaduras é intensa ocasionando a ruptura das barras e a conseqüente queda do "Brise Soleil".

**SOLUÇÃO:** - Dimensionar armadura de suspensão adequada.  
- Usar barras de diâmetro  $\geq 12,5\text{mm}$  para não ser sensível à corrosão (Ver CEB/78).  
- Protender a armadura de suspensão se houver exposição a meio ambiente muito agressivo.

**OBSERVAÇÃO:** As fissuras podem ser tomadas, pois não há variação da sua abertura se as cargas variáveis são pequenas, como é o caso de "BRISE SOLEIL".

Exemplo nº 13

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes ou viadutos com dente Gerber

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas a 45° a partir do canto interno do dente

**ESQUEMA:**

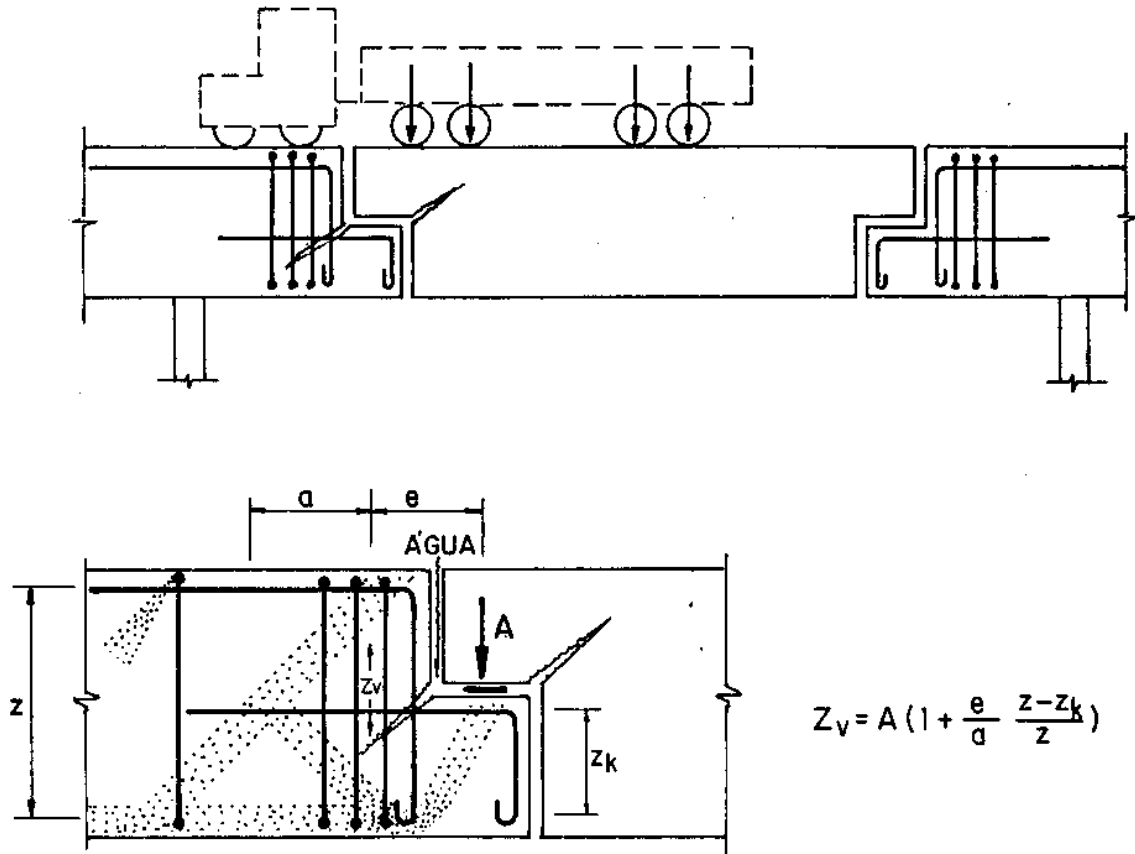


FIG.13

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As armaduras de dentes Gerber devem ser calculadas com base em um modelo de treliça semelhante ao sugerido pelo Prof. Schlaich [20]. Desse modelo, por exemplo, resulta que a força de tração ( $Z_v$ ) na armadura de suspensão é maior do que a reação de apoio ( $A$ ). Ver figura acima tirada de [20].

A armadura de suspensão mal dimensionada leva a fissuração com grandes aberturas.

O dimensionamento e a ancoragem da armadura horizontal é também de importância fundamental para evitar grandes fissuras.

**SOLUÇÃO:** A recuperação de fissuras em Dentes Gerber é de difícil solução, pois nesses casos há sempre falha no detalhamento das armaduras dos dentes.

Em alguns casos pode-se fazer um reforço da estrutura.

**OBSERVAÇÃO:** A corrosão das armaduras do Dente Gerber resultante da penetração de água através das fissuras pode reduzir em muito a segurança da estrutura, resultando até mesmo na ruptura do dente Gerber.

Exemplo nº 14

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes de concreto armado ou de concreto protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas a  $45^\circ$  tangentes à armadura dobrada ou à placa de ancoragem dos cabos de protensão

**ESQUEMA:**

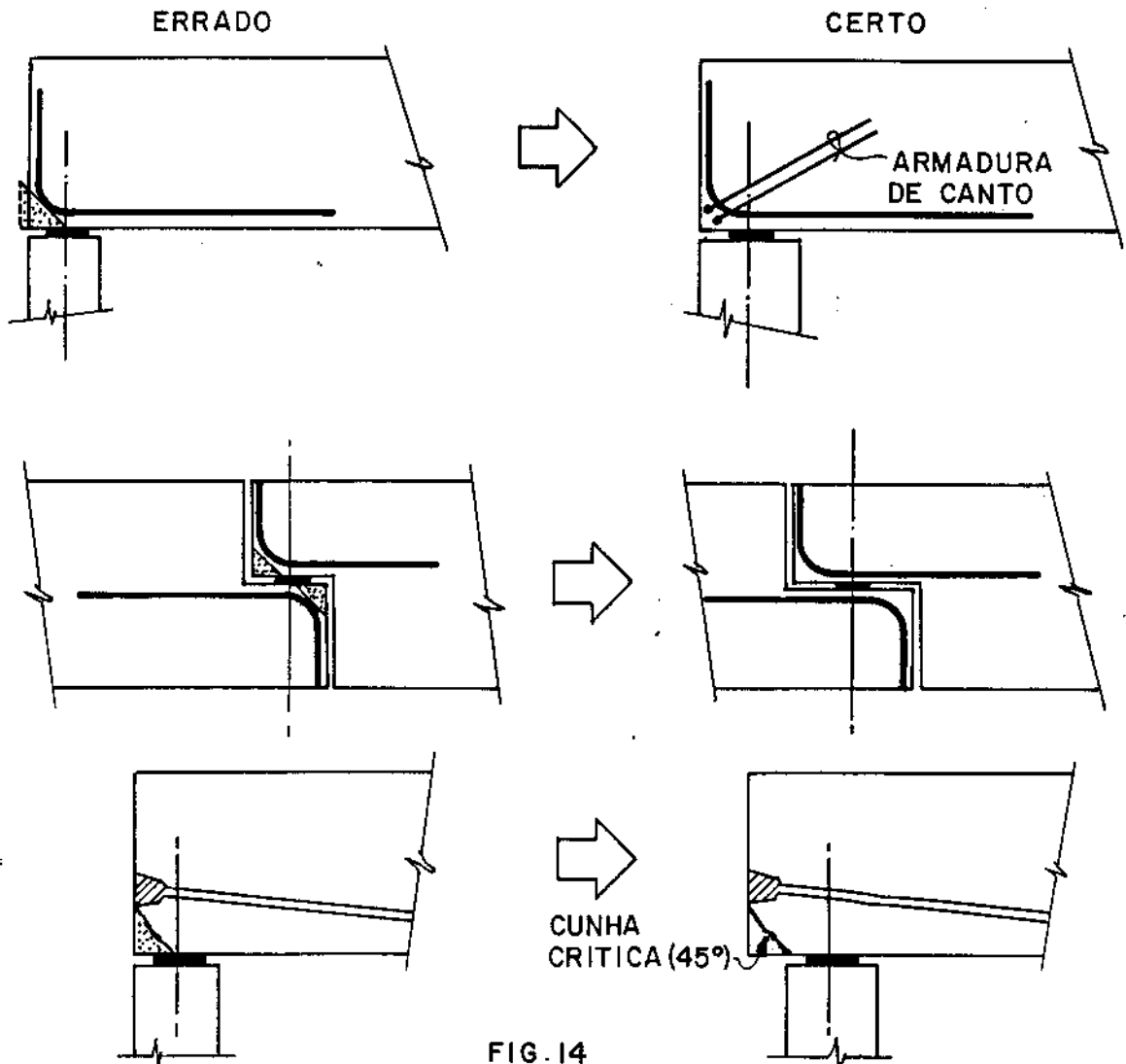


FIG.14

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Falta de armadura no canto da viga. As grandes tensões de compressão dos apoios provocam a ruptura do canto da viga num plano tangente à barra dobrada ou a placa de ancoragem

**SOLUÇÃO:** Projetar o apoio com largura adequada de modo que o início da curva da barra de concreto armado se dê além da extremidade da placa de apoio (Ver figura acima). No caso do concreto protendido, o cabo mais baixo deve ter uma posição tal que a placa de apoio fique além da "cunha crítica".

**OBSERVAÇÃO:** Esse tipo de fissuração é muito frequente podendo ser considerado como falha grave de detalhamento das armaduras.

Exemplo nº 15

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estruturas de apoio de vigas premoldadas

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas a 45° tangentes a armadura dobrada

**ESQUEMA:**

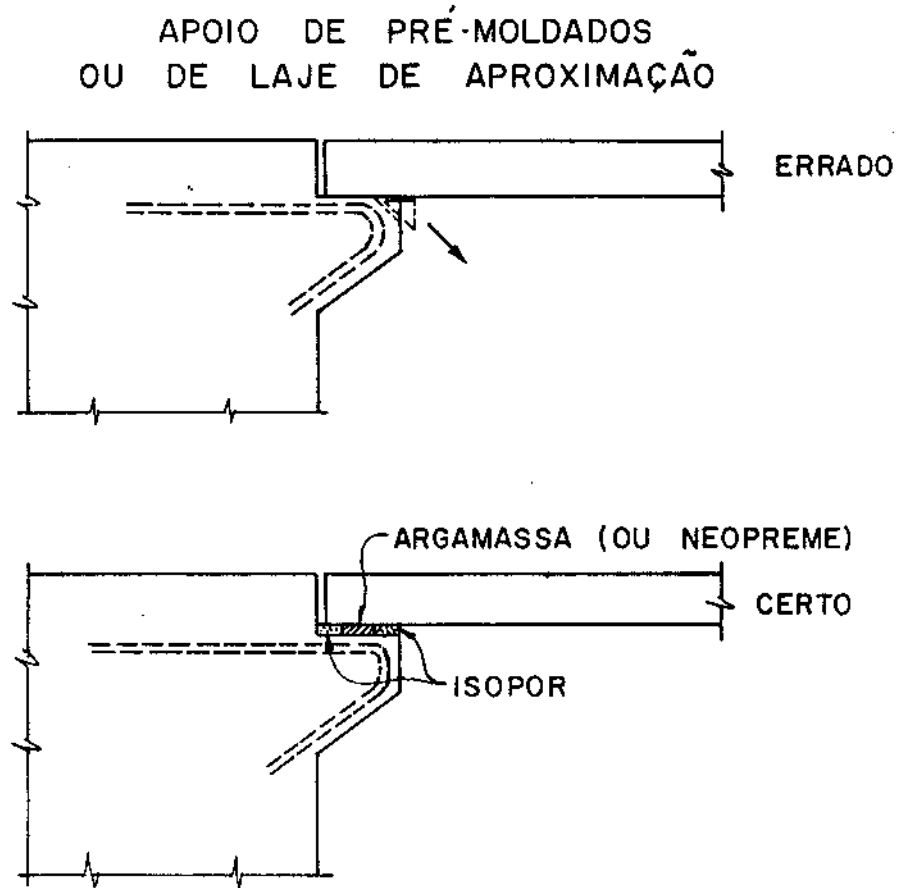


FIG. 15

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Assentamento inadequado das vigas premoldadas

Com a deformação da viga devida a cargas permanentes de 2º estágio (concreto "In situ", pavimentação etc) e a cargas variáveis de utilização da obra a viga sofre rotações nos apoios e acaba se apoiando no bordo da estrutura de apoio. Isso ocasiona a ruptura de uma cunha a 45° tangente à armadura.

**SOLUÇÃO:** Projetar os apoios com altura adequada de modo a evitar os danos indicados acima. Para um assentamento perfeito é necessário usar argamassa de regularização e um equipamento de montagem adequado que mantenha a viga em posição durante o endurecimento da argamassa de assentamento.

**OBSERVAÇÃO:** Esse tipo de fissuração é também correlacionado com o exemplo nº 14. O apoio de premoldados com argamassa, como indicado na figura, só pode ser feito para pequenas vigas ou lajes. O correto é o uso de apoios de neoprene.

Exemplo nº 16

**TIPO DE ESTRUTURA:** Canais em concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais mais frequentes na parte superior das paredes.

**ESQUEMA:**

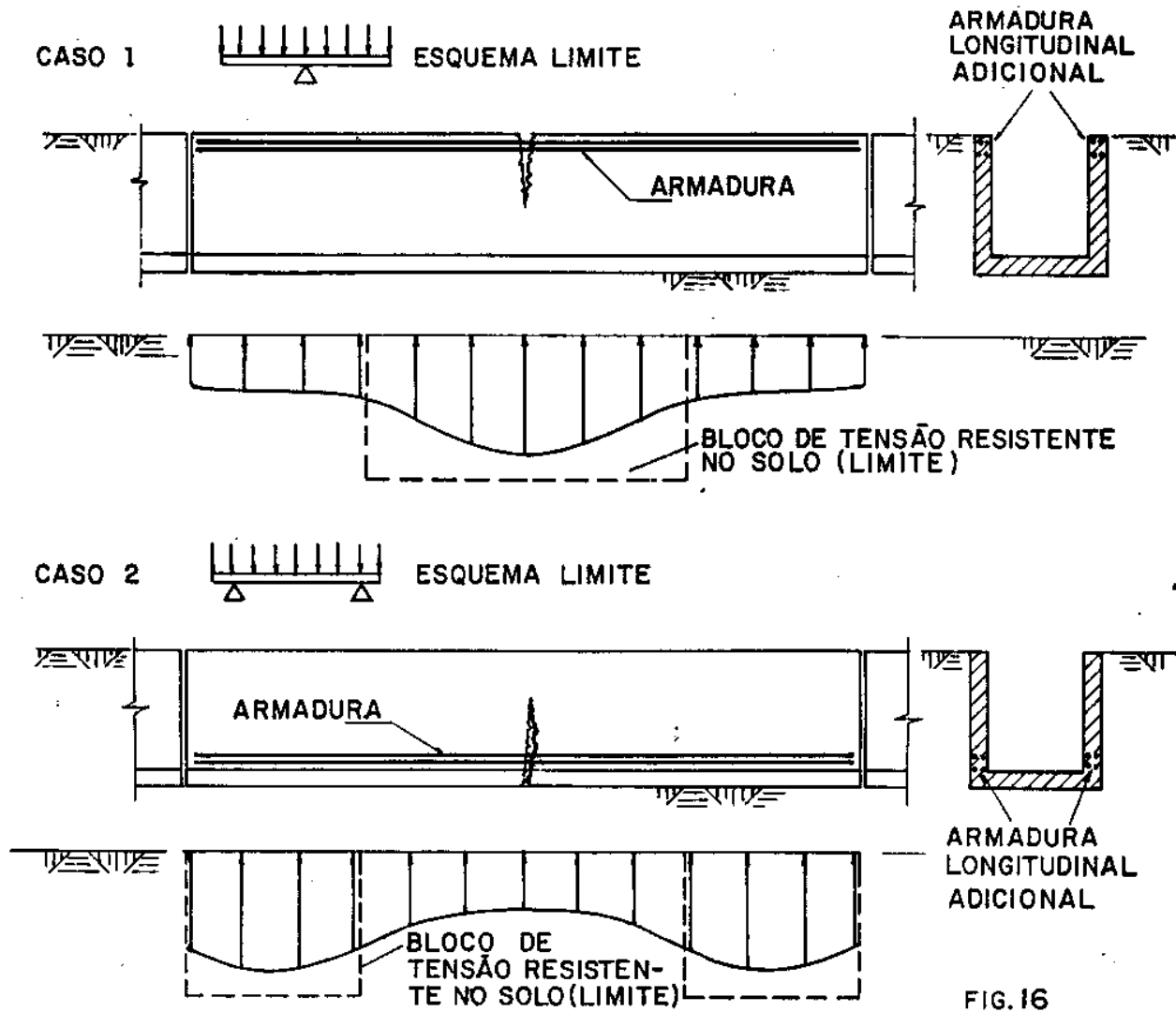


FIG. 16

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Recalques diferenciais em solos bastante heterogêneos . O Engº Emil Moersch em 1919 em seus livros de concreto armado já citava esse tipo de fissuração não prevista no projeto. (8)

**SOLUÇÃO:** Análise das características do solo de fundação para estimar possíveis distribuições de tensões nas fundações. Como esquema estrutural limite (ver figuras acima) temos no caso1 um balanço duplo e no caso2 uma viga simplesmente apoiada.

**OBSERVAÇÃO:** Em geral, no caso 2 não é necessário acrescentar armadura longitudinal na viga, pois a própria armadura longitudinal da laje inferior já é suficiente para evitar fissuras.



Exemplo nº 17

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes ou viadutos em concreto protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais

**ESQUEMA:**

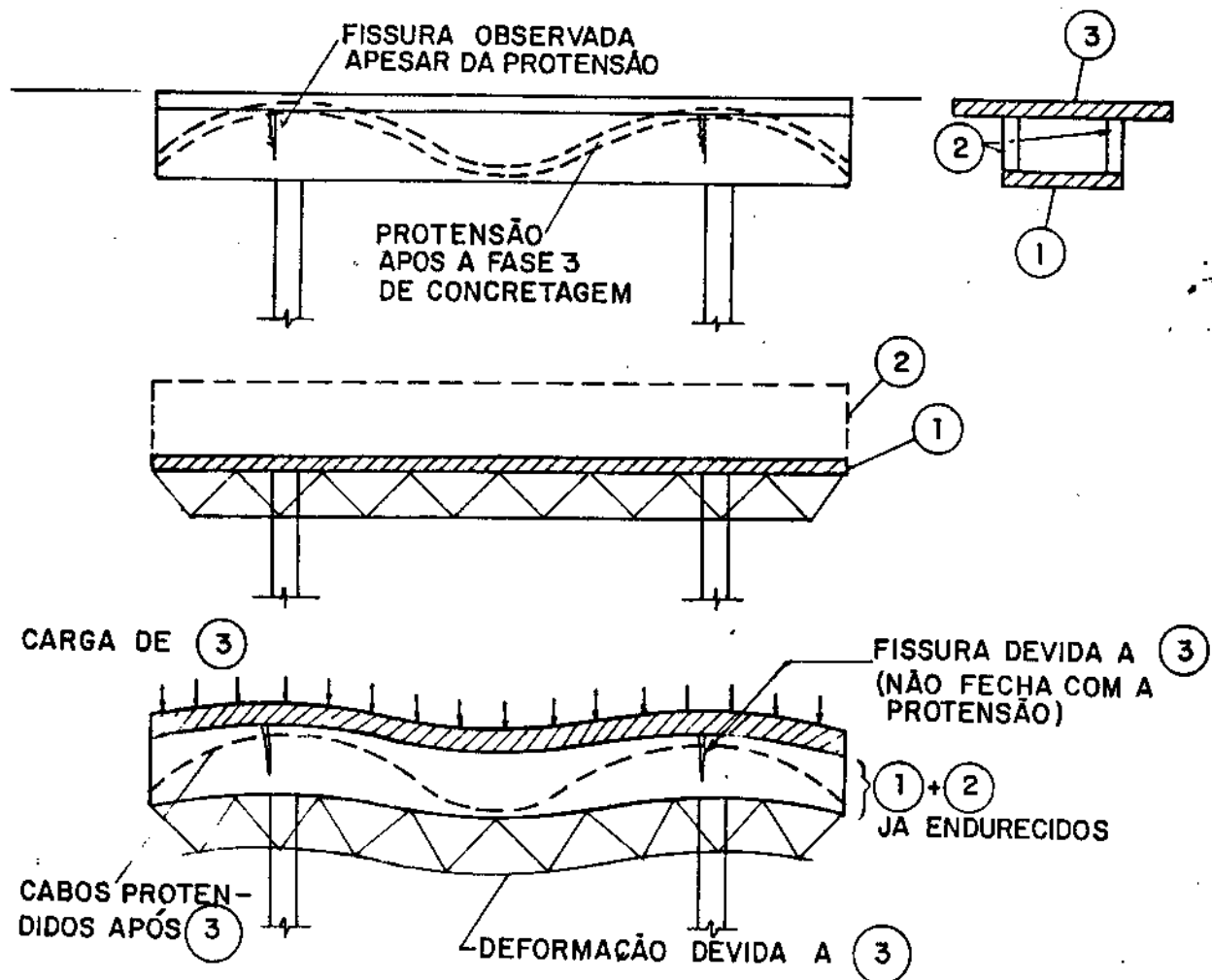


FIG.17

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Deformação excessiva do escoramento. O concreto da viga (fase de concretagem) já endurecido e sem protensão é solicitado à flexão por parte da carga proveniente da concretagem da laje superior (fase 3 de concretagem). A fissuração ocorre sobre os apoios em geral na face da transversina de apoio.

**SOLUÇÃO:** - Projetar alguns cabos com traçados que permitam uma protensão após endurecimento do concreto da viga.  
- Como alternativa projetar armadura comum de CA-50 colocada dentro da viga (fase 2 de concretagem) de modo a funcionar à flexão limitando a abertura das fissuras.

**OBSERVAÇÃO:** As fissuras observadas são em geral uma sobre cada apoio pois após a 1ª. fissura toda a carga passa a atuar sobre o escoramento não mais solicitando a viga de concreto.

Exemplo nº 18

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes e viadutos em concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais a meia altura das vigas

**ESQUEMA:**

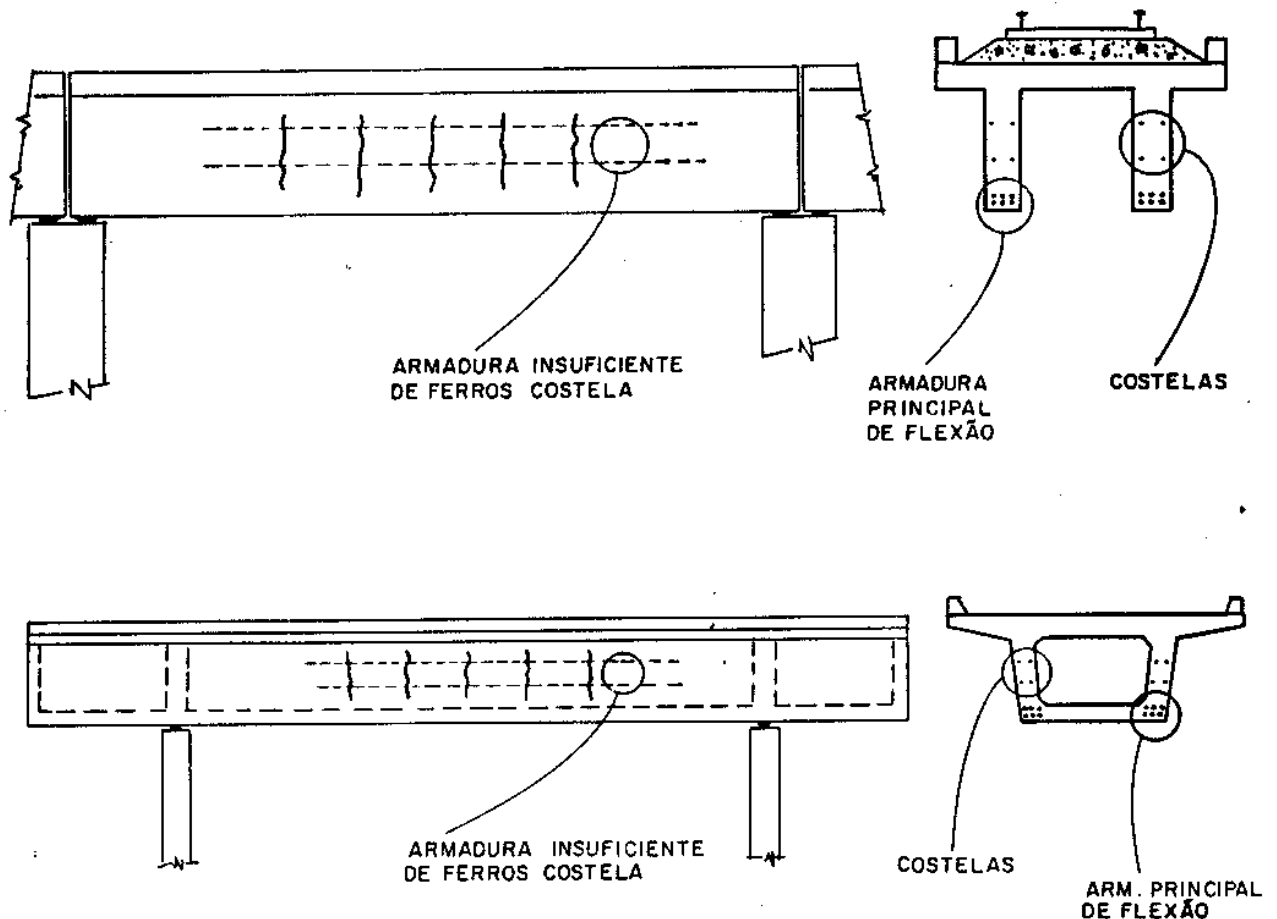


FIG.18

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Armadura de "Ferros costela" insuficiente. O critério da NBR 6118 segundo o qual deve-se usar  $A_s = 0,1 \times b \times d$  como armadura de "ferro costela" distribuída na zona tracionada é insuficiente. A abertura dessas fissuras é variável ao longo da altura da viga. É praticamente nula junto à armadura principal da flexão e cresce sendo máxima a meia altura. Volta a decrescer junto à linha neutra. Tem a forma de uma "lente convexa".

**SOLUÇÃO:** Para estruturas com cargas variáveis grandes em relação às cargas permanentes as fissuras são ativas e sofrem grande variação. Nesses casos não é suficiente apenas injetar as fissuras com material a base de epoxi. Pode ser necessário protender a estrutura.

**OBSERVAÇÃO:** Esse tipo de fissuração é muito frequente e é necessário, para evitá-lo, um cálculo correto segundo os critérios do CEB/78.

Exemplo nº 19

**TIPO DE ESTRUTURA:** Consolos curtos como apoio de vigas de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras quase verticais em diferentes posições dos consolos

**ESQUEMA:**

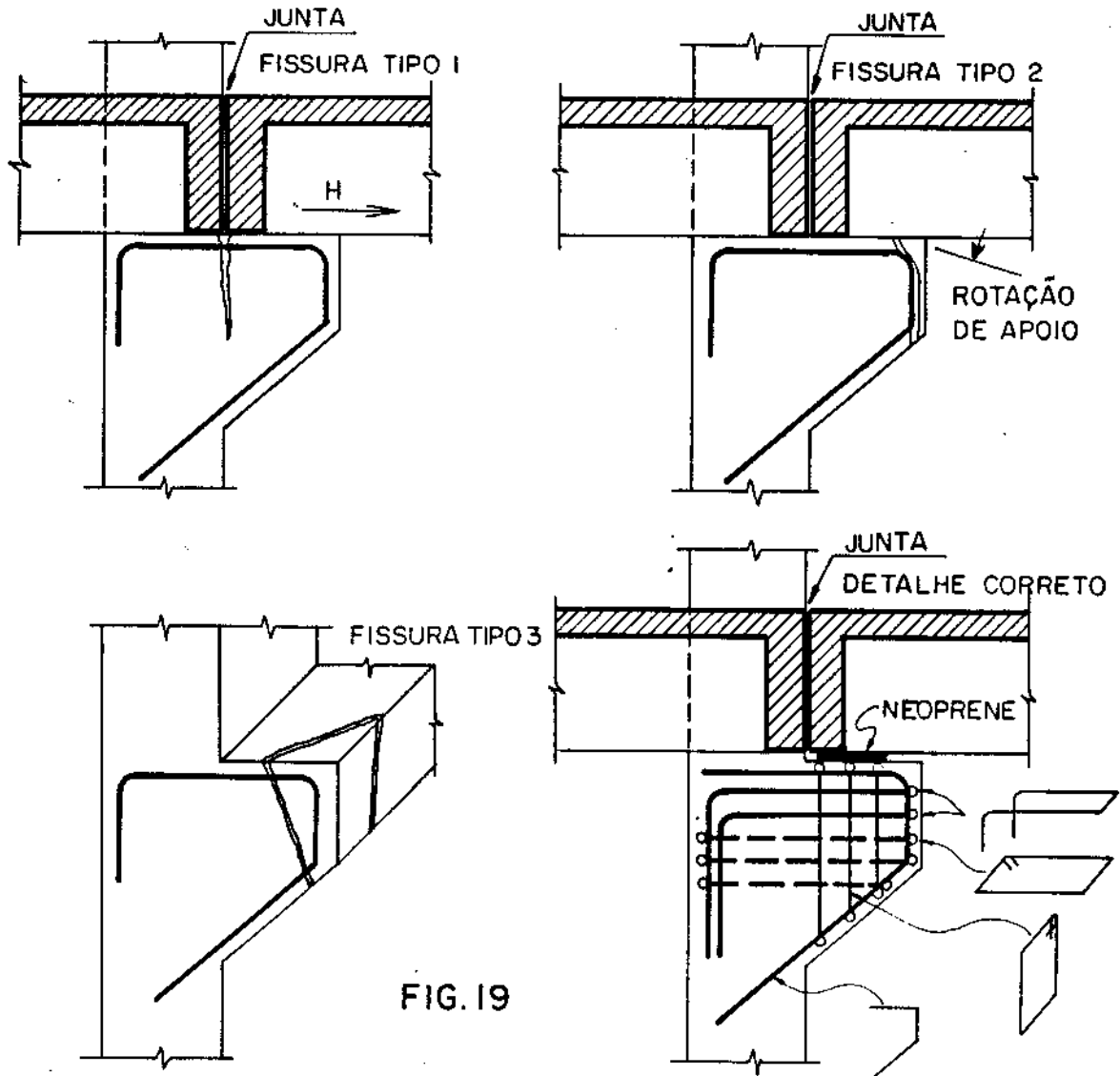


FIG. 19

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Cálculo errado e detalhamento inadequado das armaduras dos consolos curtos. Em geral esquece-se de considerar as forças horizontais de coação  $H$  (retração térmica ou hidráulica).

Apoio inadequado de estruturas na quina do consolo gerando o mesmo problema que nos exemplos nºs 14 e 15.

**SOLUÇÃO:** - Uso de barras em laço como indicado na figura acima, em quantidade adequada ver [29] de modo a evitar a fissura tipo 1.

- Usar um apoio recuado em relação ao bordo do consolo para evitar a fissura tipo 2.

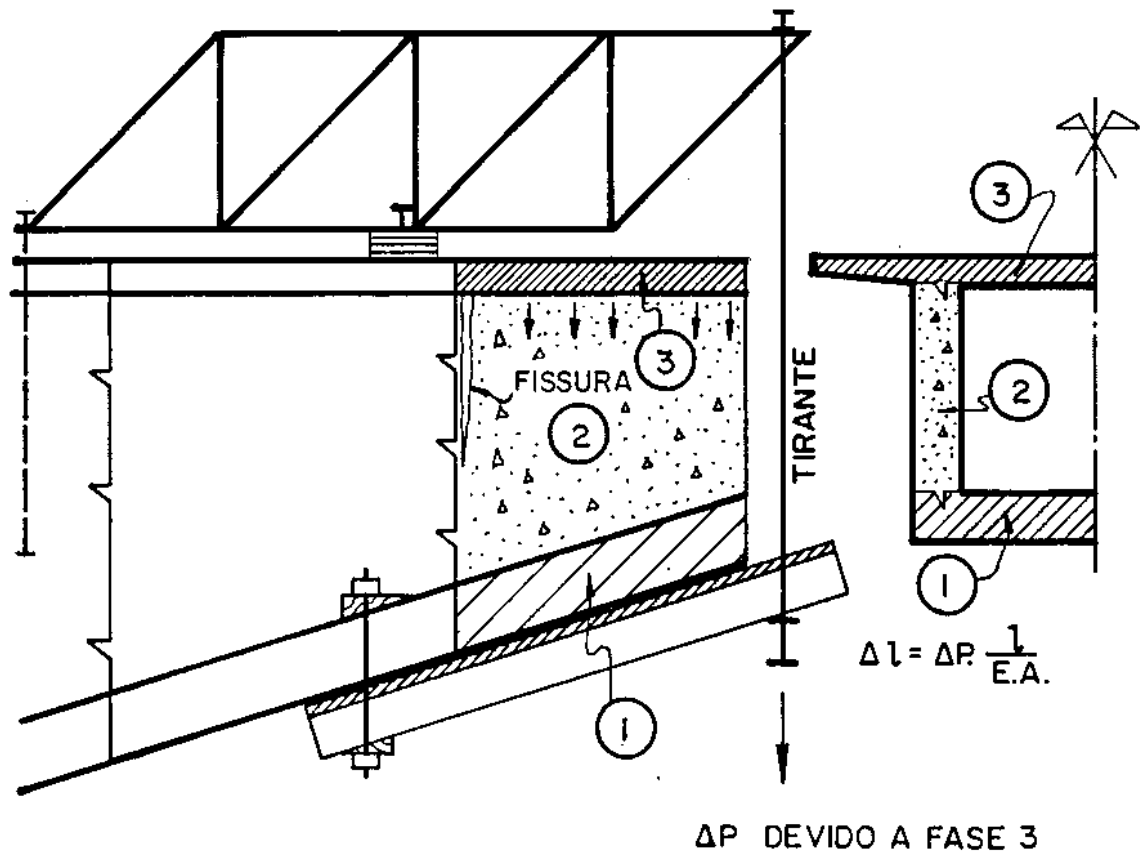
**OBSERVAÇÃO:** Detalhar os ferros costelas com diâmetro e espaçamento adequado para evitar as fissuras tipo 3.

Exemplo nº 20

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes em Balanços Sucessivos

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais na alma da viga, nas juntas de concretagem entre os diversos segmentos do balanço

**ESQUEMA:**



A CONCRETAGEM DA LAJE (FASE 3) PRODUZ UM  $\Delta L$  GRANDE.

FIG. 20

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Ao ser concretada a laje superior (fase 3 acima) o tirante da forma recebe um acréscimo de carga  $\Delta P$ . Sendo o tirante pouco rígido o resultado é um grande deslocamento ( $\Delta L$ ) e uma rotação de todo o segmento já concretado. A fissura vertical é a consequência dessa rotação.

**SOLUÇÃO:** Usar tirante com grande seção transversal possuindo, portanto, grande rigidez axial. O deslocamento vertical será pequeno e a fissura também.  
Usar armadura horizontal de "costelas", entre os segmentos.

**OBSERVAÇÃO:** No caso de fissuras já existentes é necessário preenche-las para proteger da corrosão os cabos que atravessam a seção fissurada e garantir a transmissão da força cortante.

Exemplo nº 21

**TIPO DE ESTRUTURA:** Construções em balanço em concreto protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais na viga antes da protensão

**ESQUEMA:**

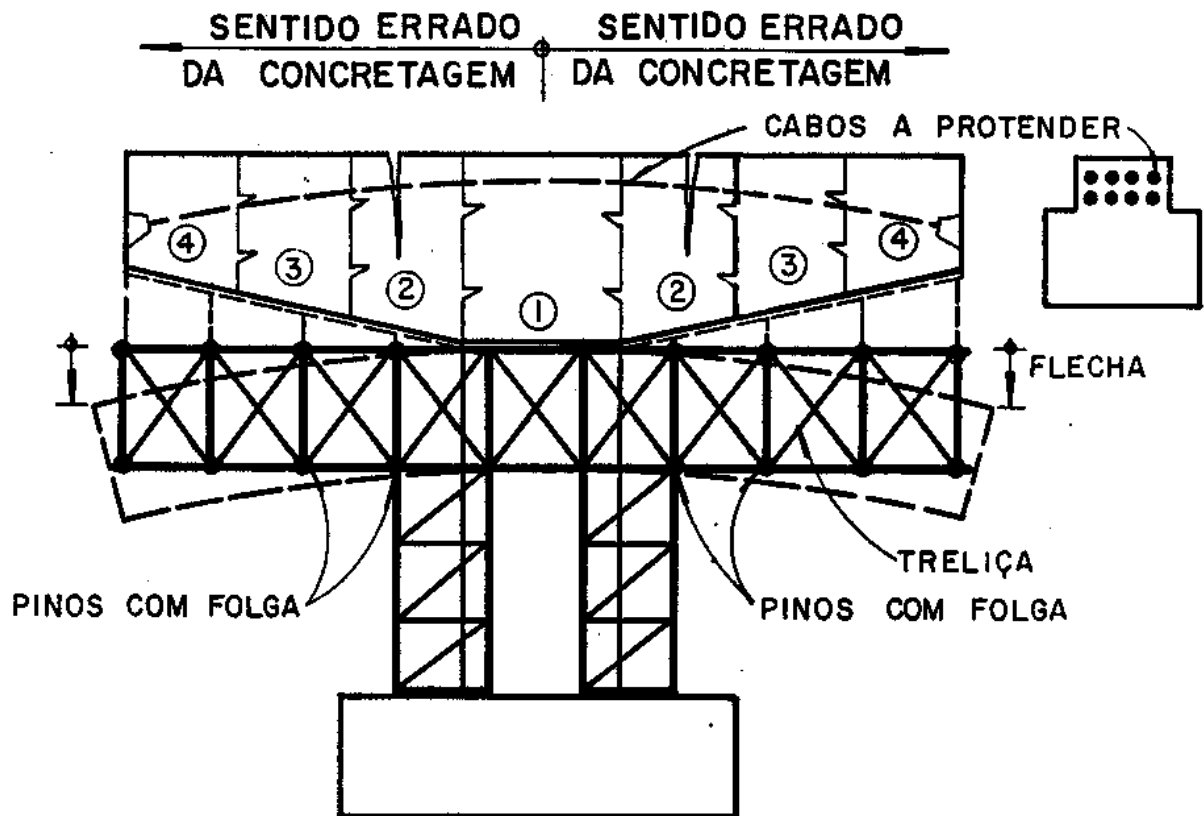


FIG. 21

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A pequena rigidez do escoramento e em alguns casos as folgas de montagem do mesmo resultam em grandes deformações. Como a protensão ainda não foi aplicada, o concreto fissa próximo ao pilar. A fissura em geral não fecha com a protensão posterior.

**SOLUÇÃO:** - Projetar escoramentos rígidos  
- Eliminar as folgas de montagem  
- Concretar a partir da extremidade do balanço no sentido do pilar central. Conter o concreto durante a concretagem tendo em vista a inclinação do fundo da forma.

**OBSERVAÇÃO:** Caso existam fissuras elas podem ser tomadas com injeção de material adequado. Após as injeções, as fissuras não mais abrirão a não ser pela ação de cargas adicionais na estrutura.

Exemplo nº 22

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas contínuas em concreto protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais no bordo inferior da viga junto aos apoios (geralmente na face da transversina de apoio).

**ESQUEMA:**

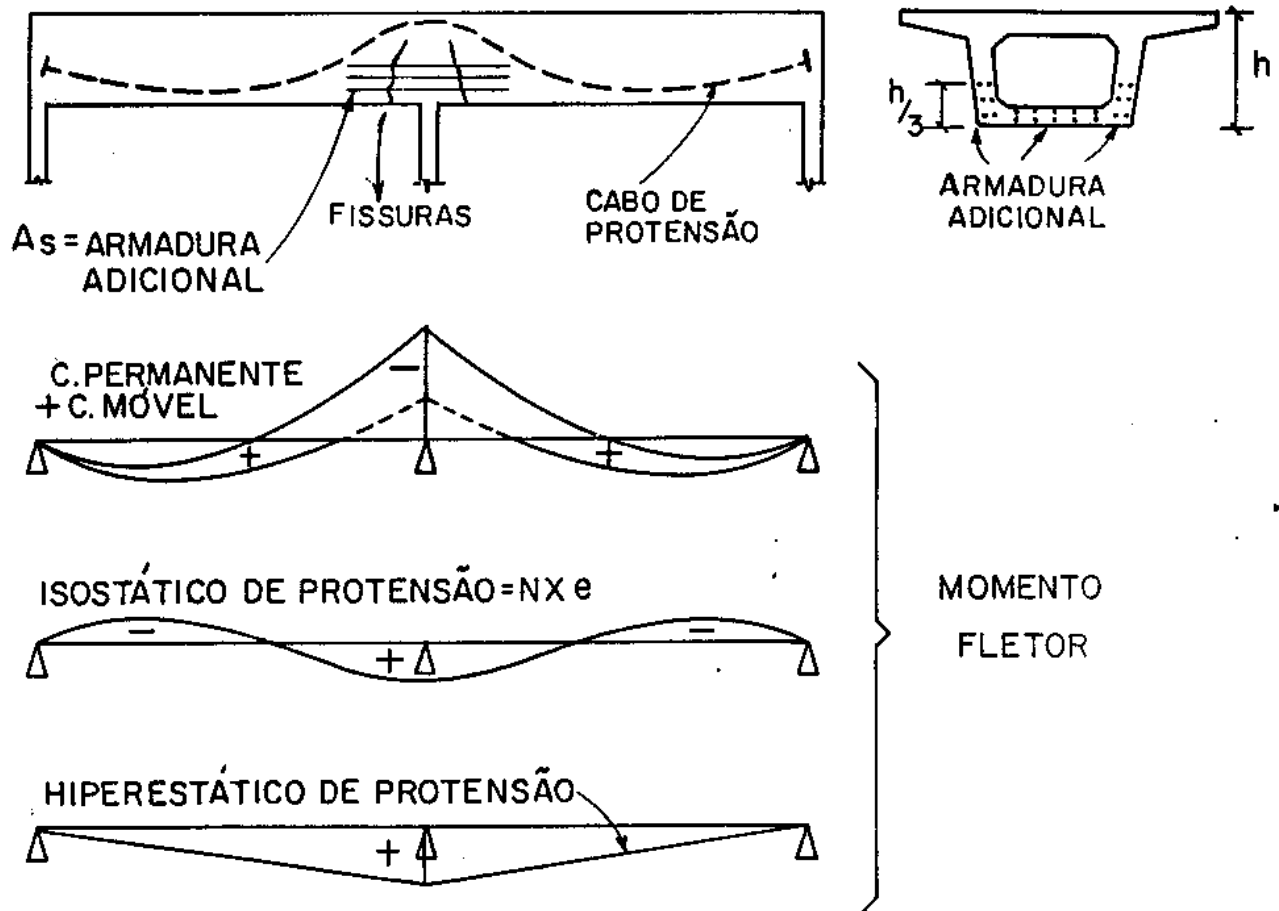


FIG. 22

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Cálculo estrutural incorreto. O momento fletor hiperestático de protensão quando mal avaliado pode provocar tensões de tração no bordo inferior, na região dos apoios. Em algumas pontes antigas o cálculo do momento hiperestático de protensão sequer era feito. a consequência eram fissuras com grandes aberturas.

**SOLUÇÃO:** - Análise correta de protensão.  
- Colocação de armadura de aço na CA-50 na região inferior da viga. A norma DIN 4227 item 6.7.6 recomenda  $A_s = 0,2\% A_c$ , onde  $A_c$  é a área das vigas mais a área da laje inferior [21].

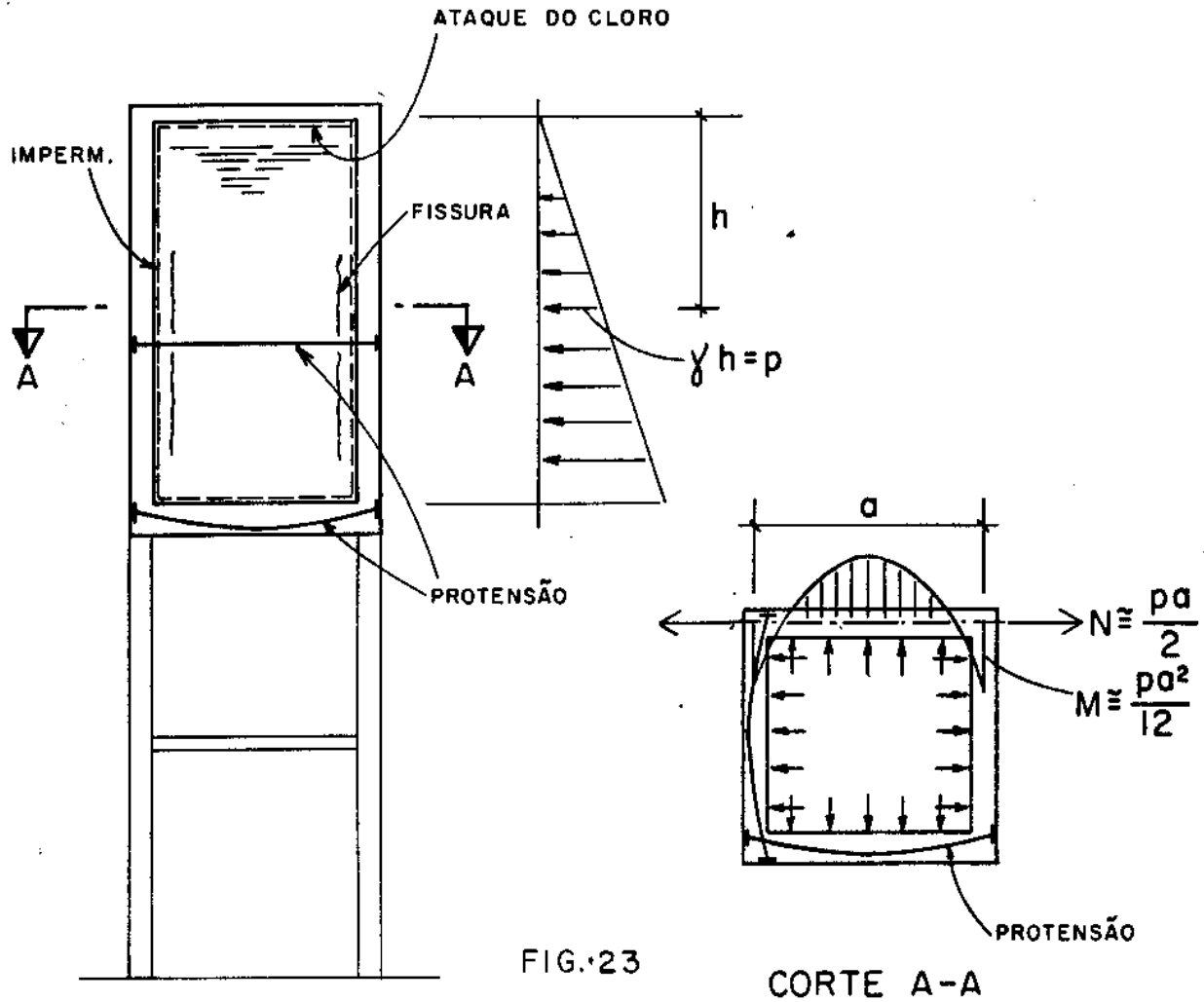
**OBSERVAÇÃO:** As fissuras acima indicadas não surgem em vigas de concreto armado. No início do concreto protendido essas fissuras foram um desafio aos calculistas. Hoje tem-se conhecimentos suficientes para evitá-las.

Exemplo nº 23

**TIPO DE ESTRUTURA:** Castelos d'água com seção retangular

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nas partes inferiores do castelo d'água onde as pressões d'água são grandes.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Em geral os dimensionamentos de reservatórios de água deveriam levar em conta o estado limite de "formação de fissura". ( $\sqrt{N/S + M/W} \leq f_{ct}$ ).

Como alternativa pode-se usar o estado limite de "abertura de fissura" com a abertura  $W_{95}$  limitada a 0,1mm.

A causa principal das fissuras observadas é que nenhuma dessas verificações é feita.

Outra falha é que nas verificações acima indicadas omite-se o esforço normal de tração.

**SOLUÇÃO:** Para o caso de fissura já existente uma solução é usar impermeabilização interna flexível pois as fissuras são ativas, i.e., abrem quando se enche o reservatório. Impermeabilização rígida fissura ao encher o reservatório.

**OBSERVAÇÃO:** - Uma solução estrutural boa para castelos d'água com grande pressão é o uso de protensão (ver esquema na figura acima). O cloro d'água se acumula no topo do reservatório atacando a laje da cobertura, que necessita de uma proteção adequada.

Exemplo nº 24

**TIPO DE ESTRUTURA:** Castelos d'água com seção circular

**FISSURAÇÃO:** Fissuras segundo as geratrizes

**ESQUEMA:**

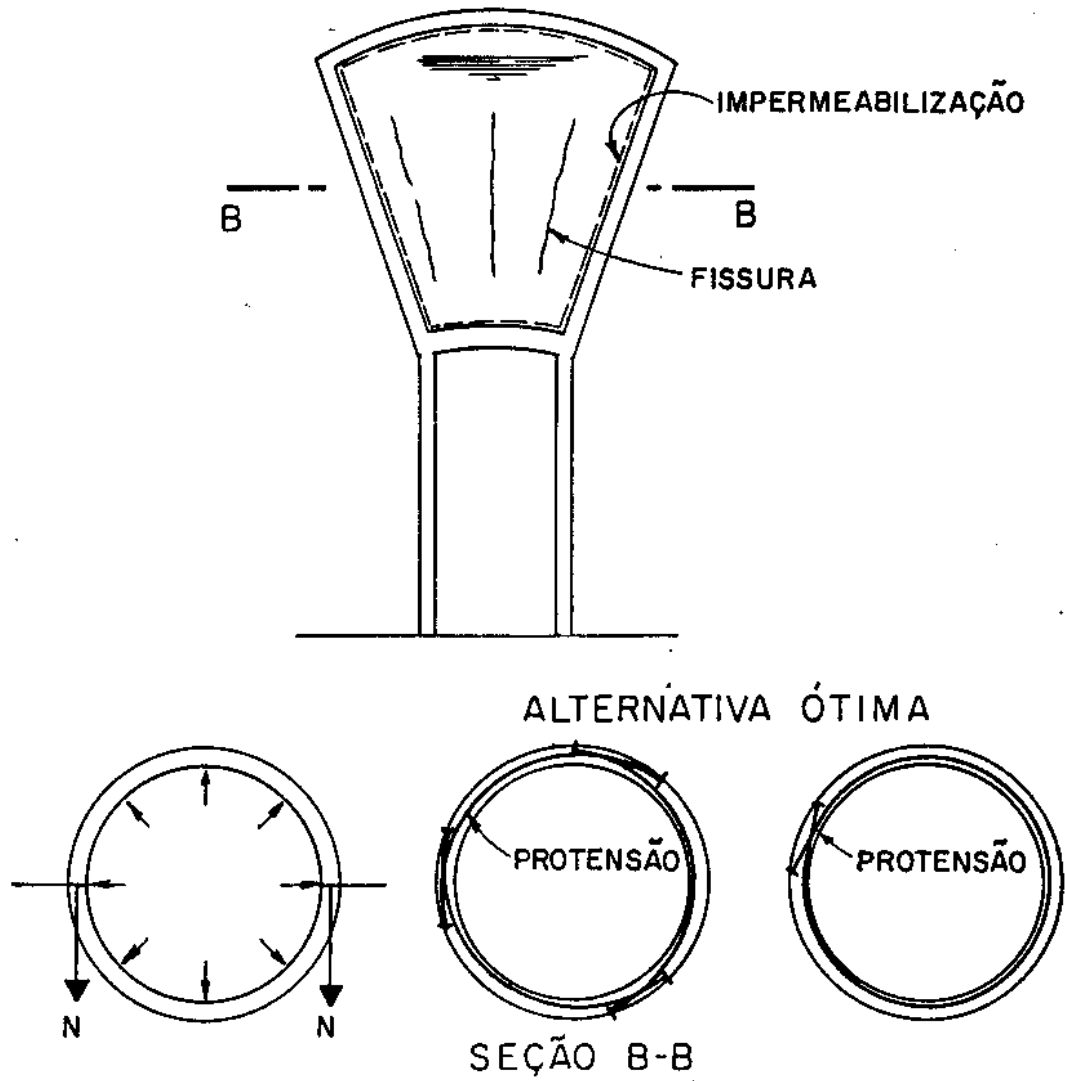


FIG. 24

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Não observância do estado limite "Formação fissura"  $\sigma = N/S \leq f_{ct}$

Como critério alternativo pode ser usado o estado limite "abertura de fissura"  $w_{95} = 0,1\text{mm}$

**SOLUÇÃO:** A protensão é a melhor solução estrutural para reservatórios com elevada pressão d'água.

**OBSERVAÇÃO:** O uso de impermeabilização rígida em reservatórios de concreto armado como correção de fissuração excessiva não é adequado, pois as fissuras são ativas, isto é, reabrem quando do enchimento com água.



Exemplo nº 25

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes em vigas premoldadas de concreto protendido com 2 fases de protensão

**FISSURAÇÃO:** Fissuras transversais ao eixo longitudinal da ponte, no concreto "In situ" da laje superior.

**ESQUEMA:**

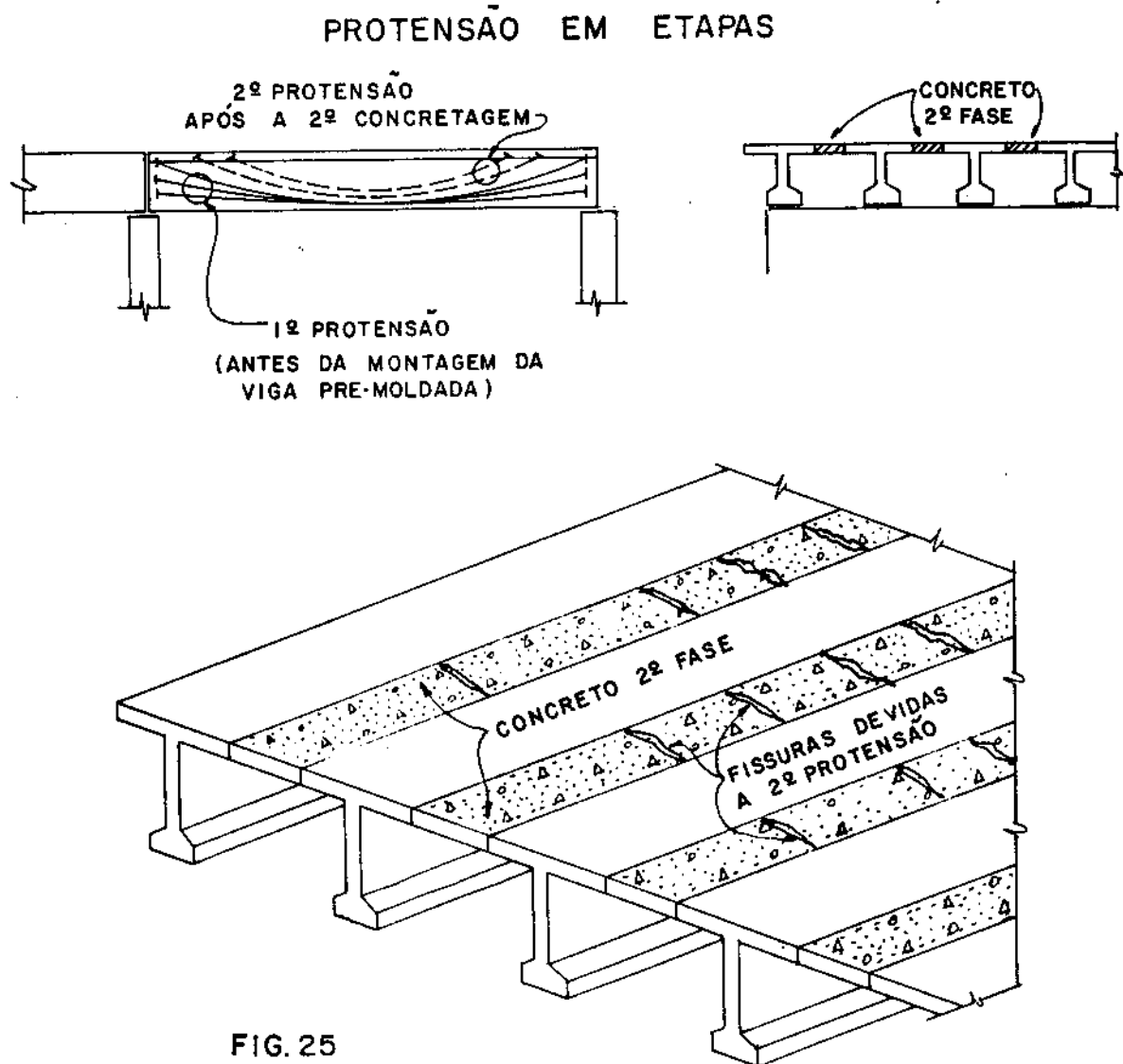


FIG. 25

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Tensões de tração devidas à retração do concreto "in situ" adicionadas as tensões de tração causadas pela 2a. fase da protensão.

A superposição dessas tensões pode atingir a resistência do concreto à tração. Como se usa, em geral, pouca armadura longitudinal na laje concretada "in situ" surgem fissuras com grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Calcular as armaduras longitudinais da laje superior segundo o critério de H. Falkner [4].

No caso de fissuras existentes, elas podem ser tomadas após o período de retração da laje concretada "In situ".

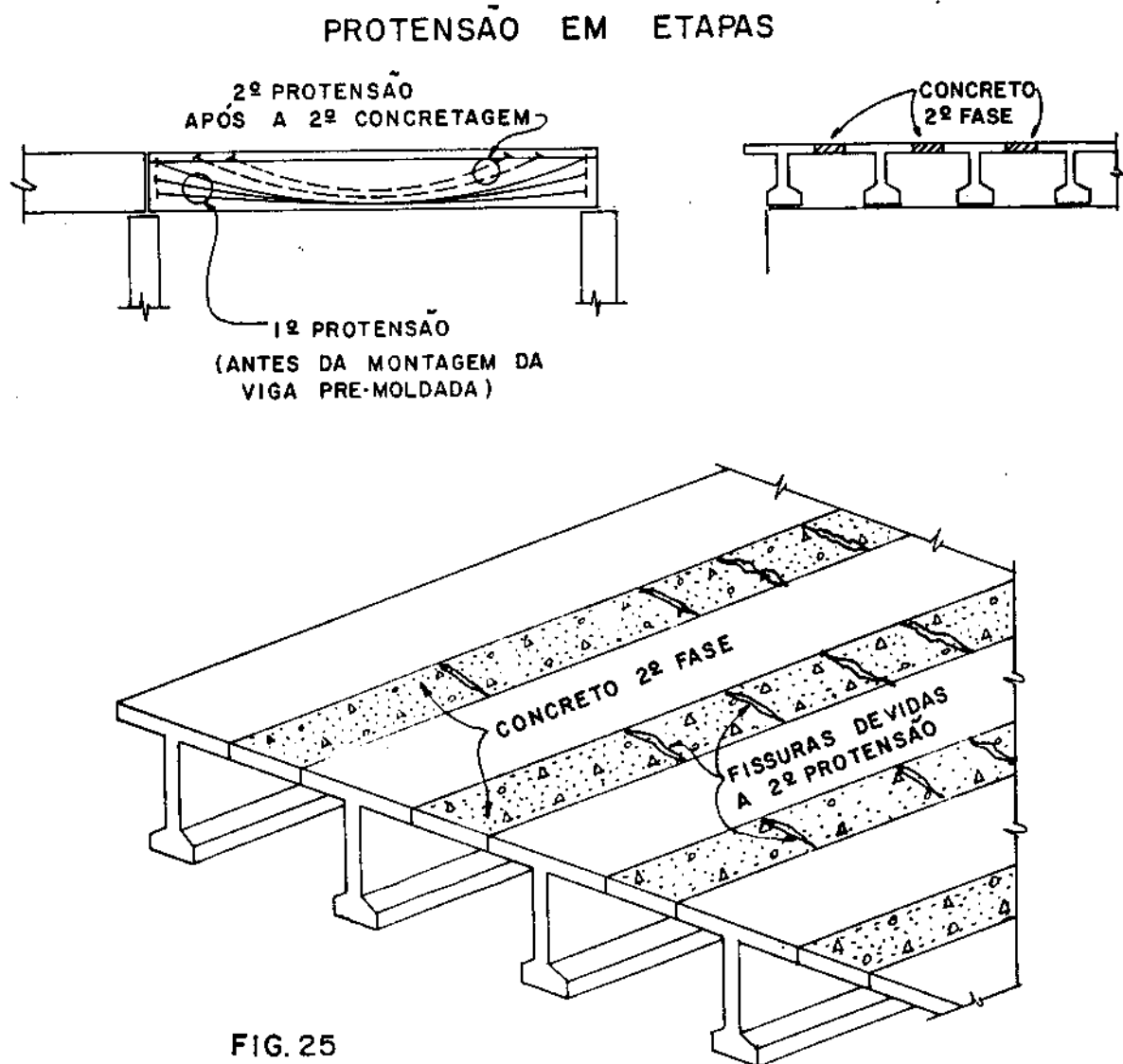
**OBSERVAÇÃO:** As fissuras acima indicadas não são ativas, isto é, a causa das mesmas cessa após o período de retração.

Exemplo nº 25

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes em vigas premoldadas de concreto protendido com 2 fases de protensão

**FISSURAÇÃO:** Fissuras transversais ao eixo longitudinal da ponte, no concreto "In situ" da laje superior.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Tensões de tração devidas à retração do concreto "in situ" adicionadas as tensões de tração causadas pela 2a. fase da protensão.

A superposição dessas tensões pode atingir a resistência do concreto à tração. Como se usa, em geral, pouca armadura longitudinal na laje concretada "in situ" surgem fissuras com grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Calcular as armaduras longitudinais da laje superior segundo o critério de H. Falkner [4].

No caso de fissuras existentes, elas podem ser tomadas após o período de retração da laje concretada "In situ".

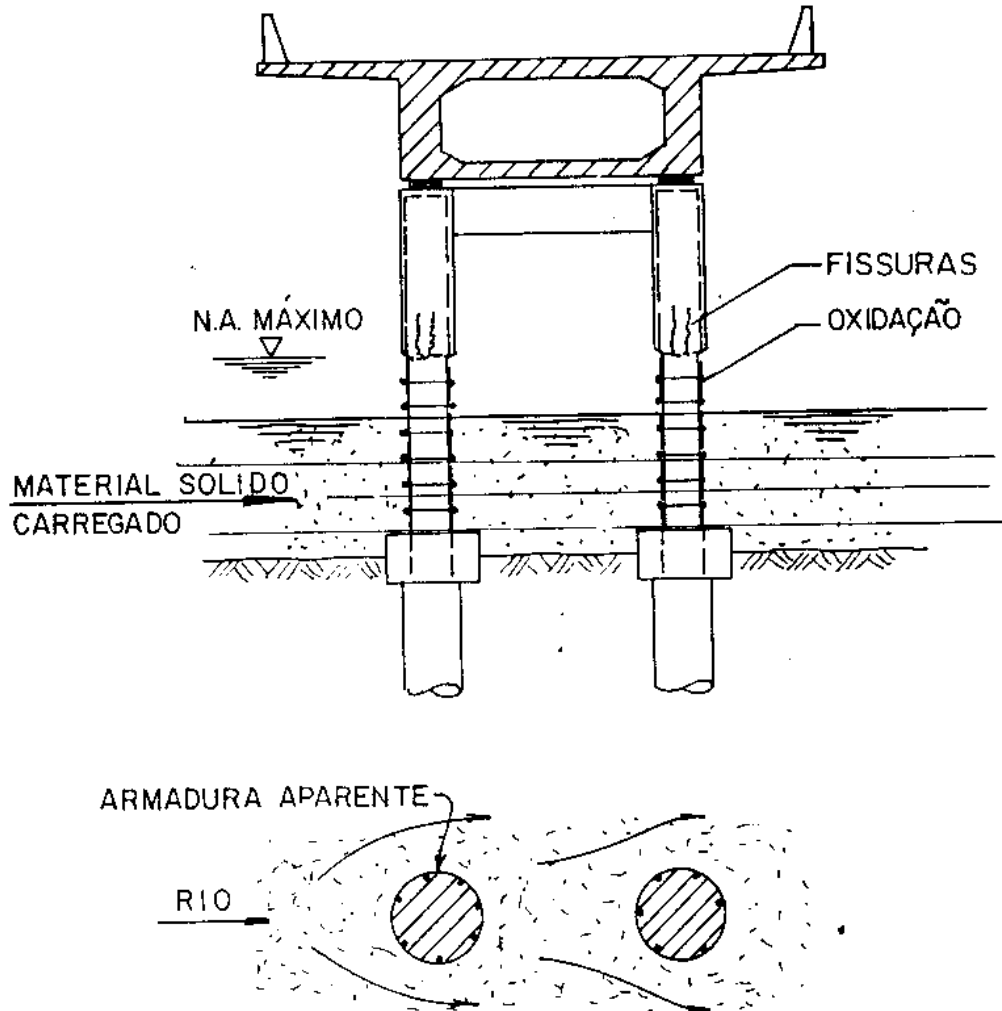
**OBSERVAÇÃO:** As fissuras acima indicadas não são ativas, isto é, a causa das mesmas cessa após o período de retração.

Exemplo nº 26

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes de concreto armado com pilares dentro de rios

**FISSURAÇÃO:** O dano principal à estrutura aqui indicado é a desagregação do concreto de cobertura na parte da estrutura submersa. Surgem também fissuras pouco acima da linha d'água

**ESQUEMA:**



SOLUÇÃO : ENCAMISAR

FIG. 26

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Alguns rios com muito material sólido carregado causam uma abrasão (?) no concreto de cobertura dos pilares. Quando essa abrasão atinge a profundidade da armadura principal e dos estribos esse fenômeno aparentemente é contido. A oxidação das armaduras longitudinais expostas provoca o surgimento de fissuras ao longo das barras acima da linha d'água (ver figura acima).

**SOLUÇÃO:** Em rios com grande velocidade e com grande transporte de material sólido as fundações e os pilares devem ser executados com concreto de alta resistência e preferencialmente devem ser encamisados com chapas de aço.

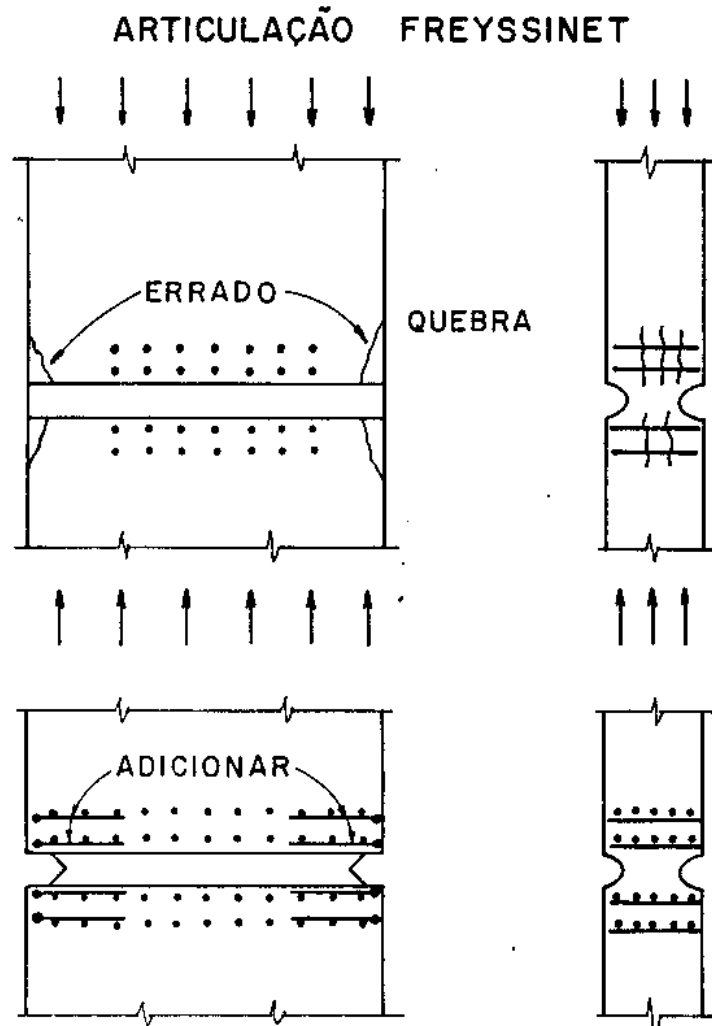
**OBSERVAÇÃO:** Esse fenômeno foi observado poucas vezes, em obras numa mesma região. É no entanto, um dano estrutural a ser considerado.

Exemplo nº 27

TIPO DE ESTRUTURA: Rótula tipo Freyssinet

FISSURAÇÃO: Fissuras nas faces laterais da articulação conforme indicado abaixo.

ESQUEMA:



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Tensões elevadas sem confinamento lateral. A falta de armadura de fretagem na direção transversal à articulação conduz à ruptura dos cantos da articulação (Ver figura acima)

**SOLUÇÃO:** São necessárias uma geometria adequada com o estrangulamento da seção nas duas direções (longitudinal e transversal) e uma armadura de fretagem também nas duas direções.

**OBSERVAÇÃO:** Essa falha de detalhamento é frequente e o reparo da articulação é muito difícil. Como a dimensão transversal da articulação é geralmente grande essa falha não é importante estruturalmente. O reparo pode se resumir à proteção contra corrosão da armadura eventualmente exposta.

Exemplo nº 28

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pontes em concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuração intensa na laje superior na região do apoio

**ESQUEMA:**

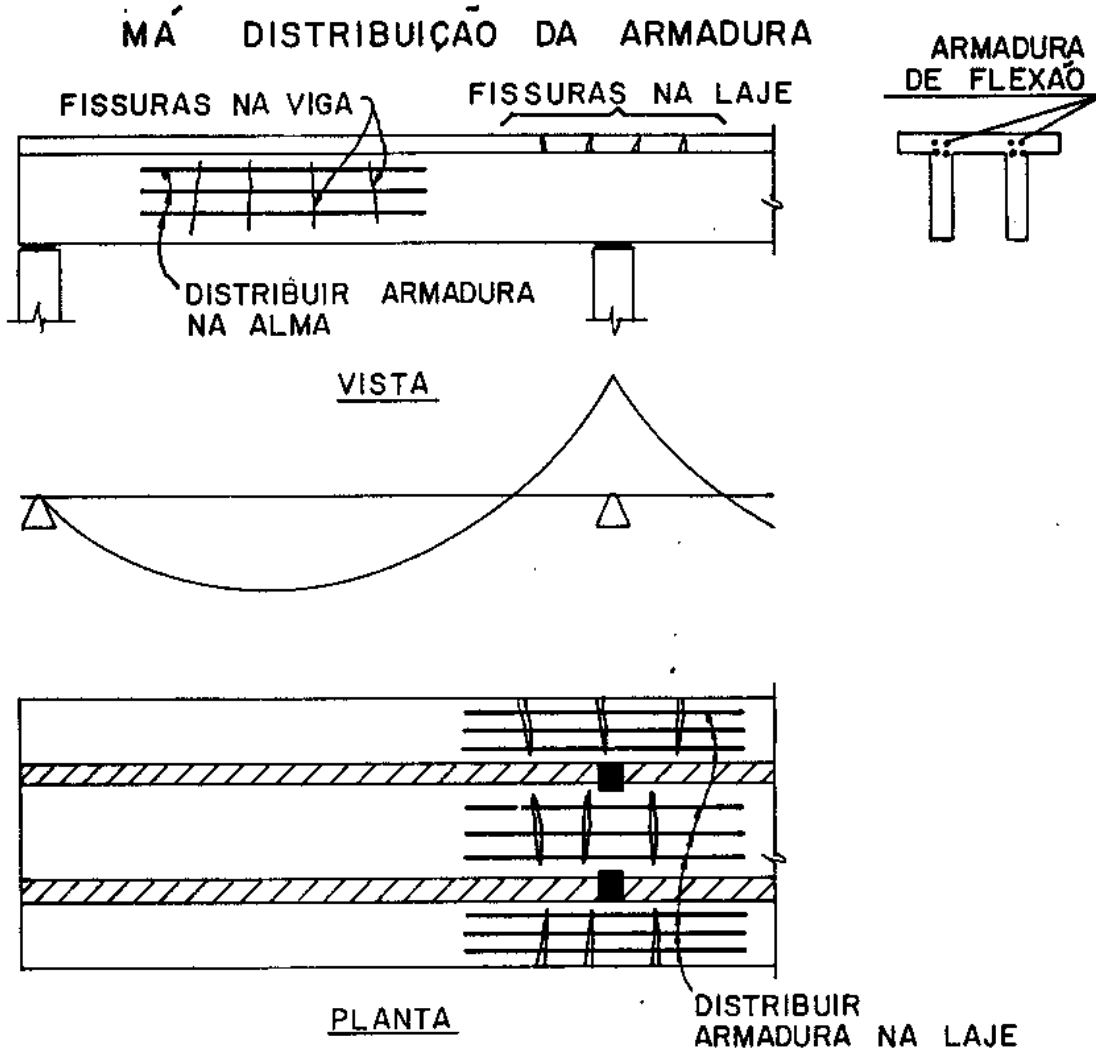


FIG. 28

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A falta de armadura longitudinal na laje superior ocasiona fissuras com grande abertura. A falta de ferros "costela" ocasiona fissuras na alma da viga (ver exemplo nº 18).

**SOLUÇÃO:** Distribuir armadura na laje superior obedecendo aos critérios de fissuração de H.Falkner [4]. Para a armadura de ferros "costela" seguir os critérios do CEB/78 [1].

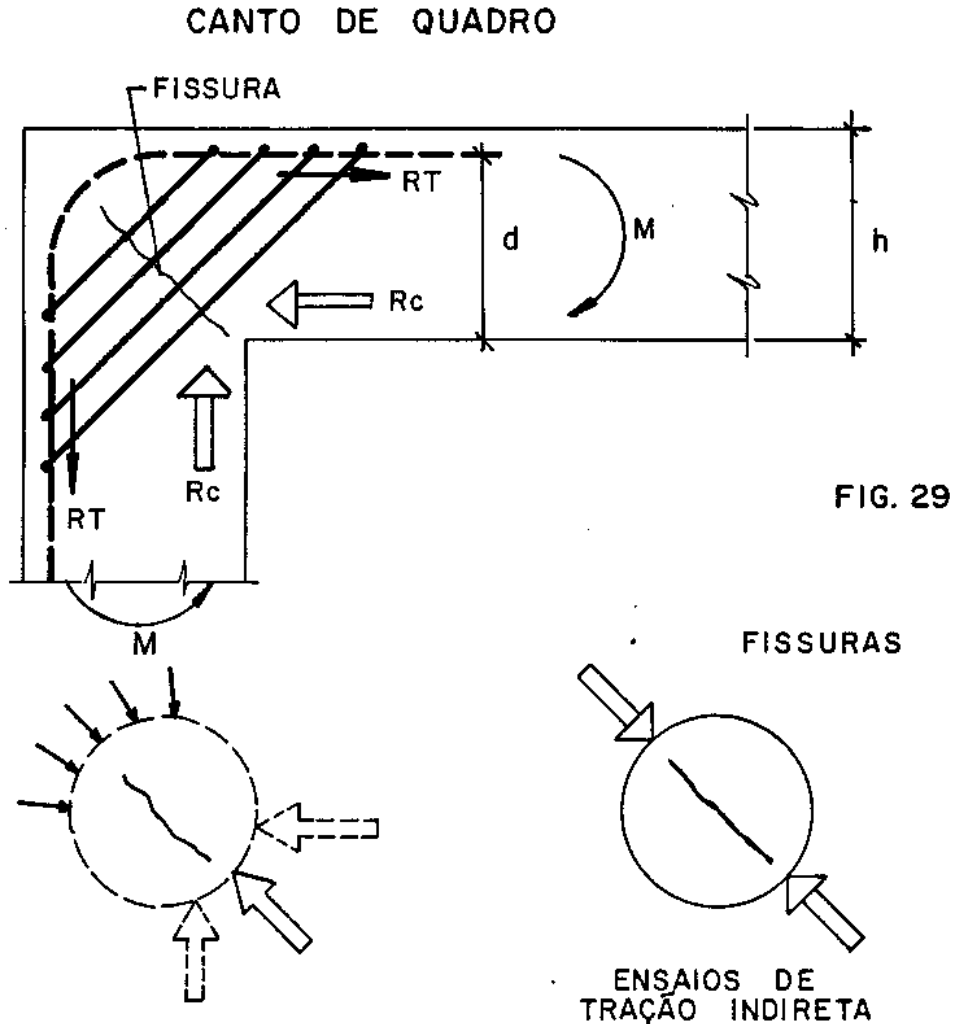
**OBSERVAÇÃO:** Essas fissuras ocorrem frequentemente em pontes ferroviárias onde a carga variável é grande e as solicitações são em consequência elevadas.

Exemplo nº 29

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estruturas em quadro de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas aproximadamente na bissetriz do canto do quadro

**ESQUEMA:**



EM CANTOS MUITO SOLICITADOS  
COLOCAR ARMADURA INCLINADA

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Devida à "compressão diametral" do canto do quadro (ver figura acima) surge uma fissura inclinada segundo a bissetriz do canto do quadro. O fendilhamento que ocorre é semelhante ao "ensaio brasileiro" de tração indireta normalizado pelo MB 212.

**SOLUÇÃO:** Dimensionar a altura da viga "h" de modo que a força de tração RT seja pequena. Isso pode se traduzir na expressão  $us = A_s/b \cdot d \leq 0,24\%$ , ver estudos de E.Thomaz em [22].

**OBSERVAÇÃO:** No caso de cantos muito solicitados, isto é,  $us_{nec} \geq 0,24\%$  deve-se colocar armadura transversal no canto do quadro (ver figura acima).

Exemplo nº 30

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estruturas em quadro de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais na seção de engaste da viga nos pilares

**ESQUEMA:**

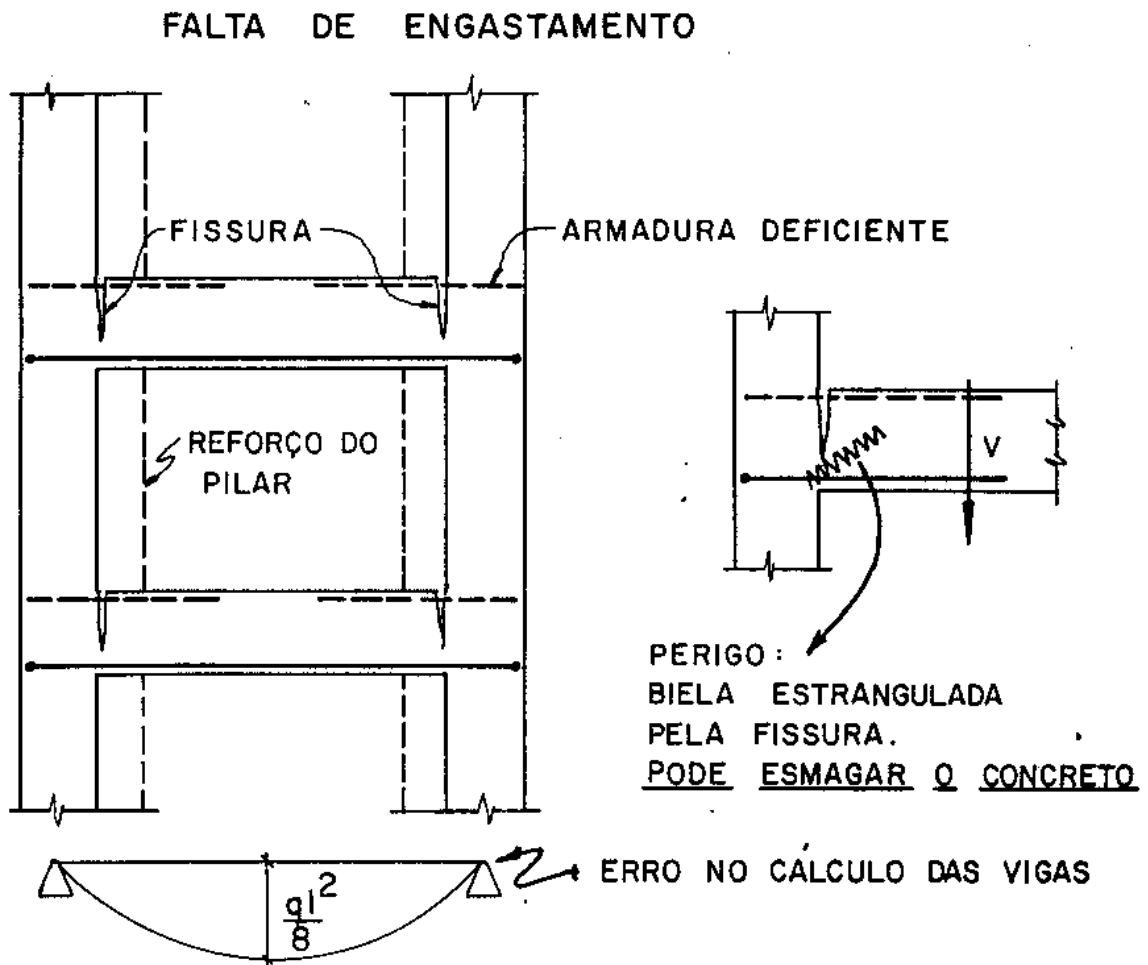


FIG. 30

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Erro no modelo estrutural que não considera o engaste elástico da viga no pilar. Daí resulta falta de armadura superior nas vigas e em consequência fissuras com grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Em alguns casos, quando o vão é grande, torna-se necessário reforçar o pilar de modo a criar um apoio mais seguro para a viga. Esse esforço não exclui a verificação da viga para as novas condições de apoio.

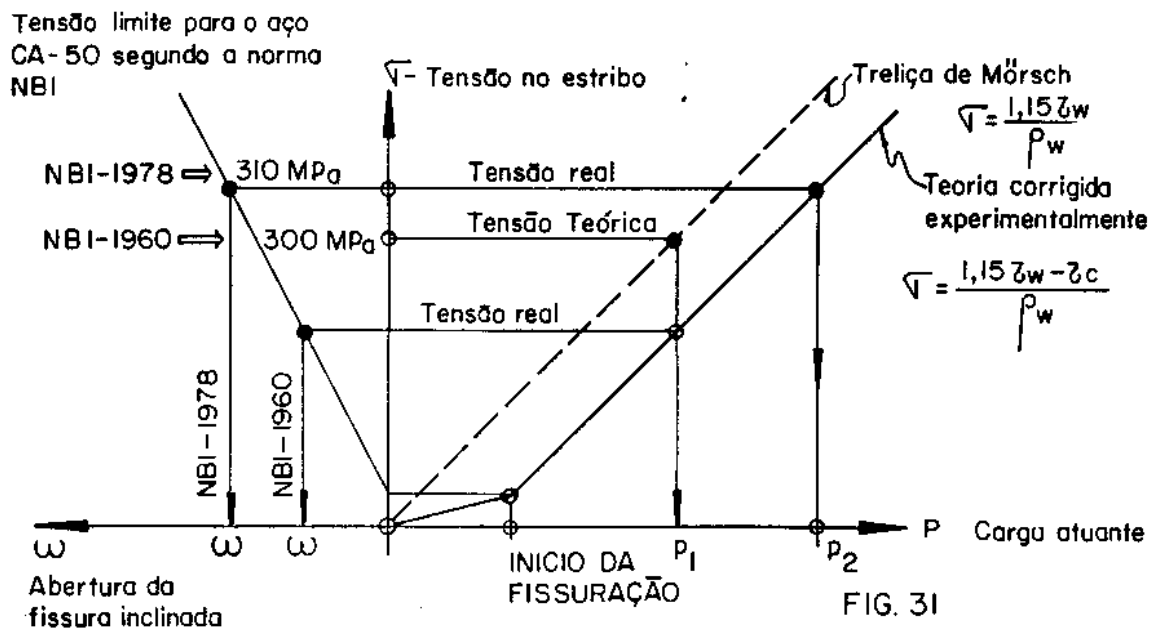
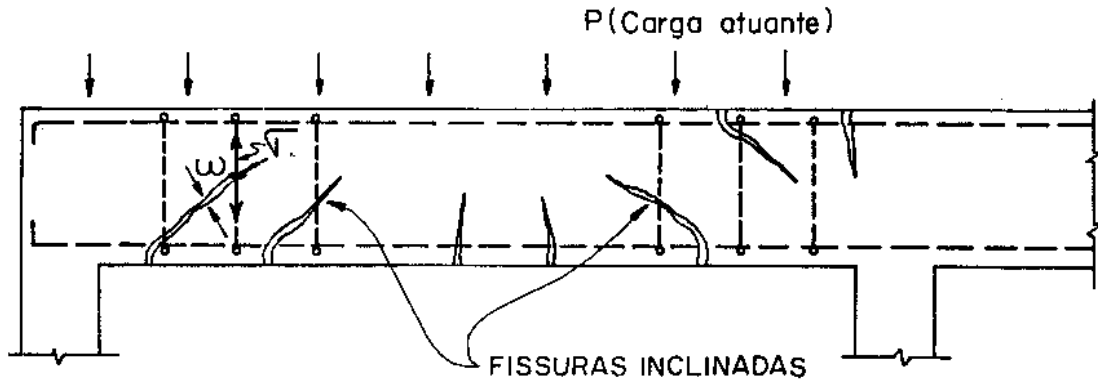
**OBSERVAÇÃO:** Sem o reforço do pilar é necessário verificar a capacidade da seção de engaste de transmitir o esforço cortante, mesmo com a grande fissura de flexão.

Exemplo nº 31

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas comuns de concreto armado em estruturas sujeitas a cargas variáveis realmente atuantes.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas com aberturas acima dos limites aceitáveis

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A tensão real nos estribos era bem menor que a tensão teórica segundo a NBI-1960. Com a correção introduzida pela NBI/78 a tensão real passou a ser maior. Como consequência várias obras apresentaram fissuras inclinadas com aberturas excessivas.

**SOLUÇÃO:** Verificar, usando a formulação do CEB/78, as aberturas das fissuras inclinadas. Ensaios executados na Fac.Eng.da UERJ confirmam a formulação proposta pelo CEB-78, ver [27].

**OBSERVAÇÃO:** Com a utilização do aço CA60 com tensões limites mais elevadas torna-se imperioso verificar a abertura das fissuras inclinadas. Em vigas comuns de edifícios, cada vez mais, se recomenda o uso de estribos de pequeno diâmetro (3,4mm a 5mm) com espaçamentos reduzidos (5cm a 10cm).



Exemplo nº 32

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissura curva iniciando como fissura de flexão e se dirigindo para o meio do vão na parte superior da viga

**ESQUEMA:**

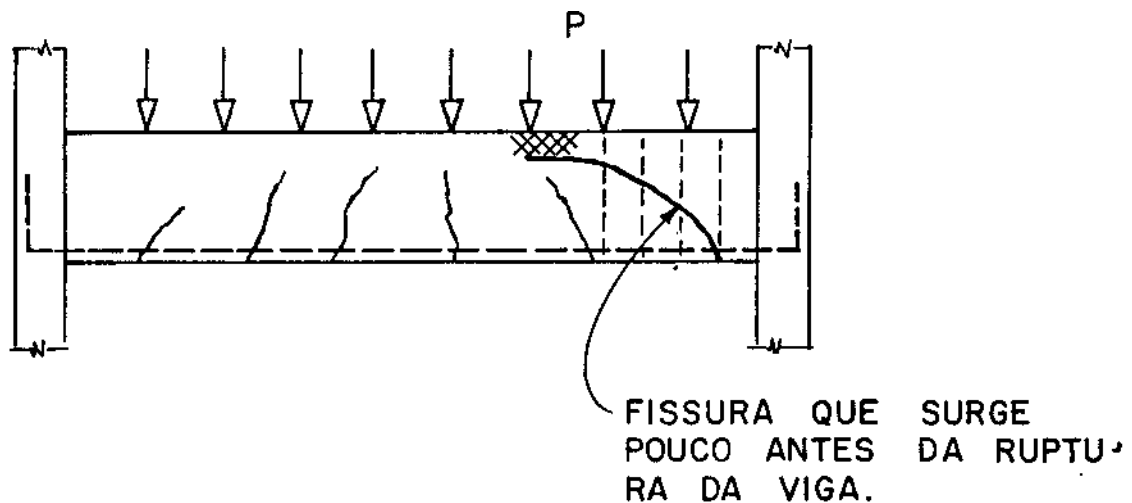


FIG. 32

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Deficiência da armadura de estribos. A fissura com o formato indicado acima indica que o estribo já escoou e está próximo da ruptura. A carga já é de 80% a 90% da carga última.

**SOLUÇÃO:** A fissura acima indica que a viga precisa ser escorada, pois a ruptura é iminente, de nada adiantando injetar a fissura.

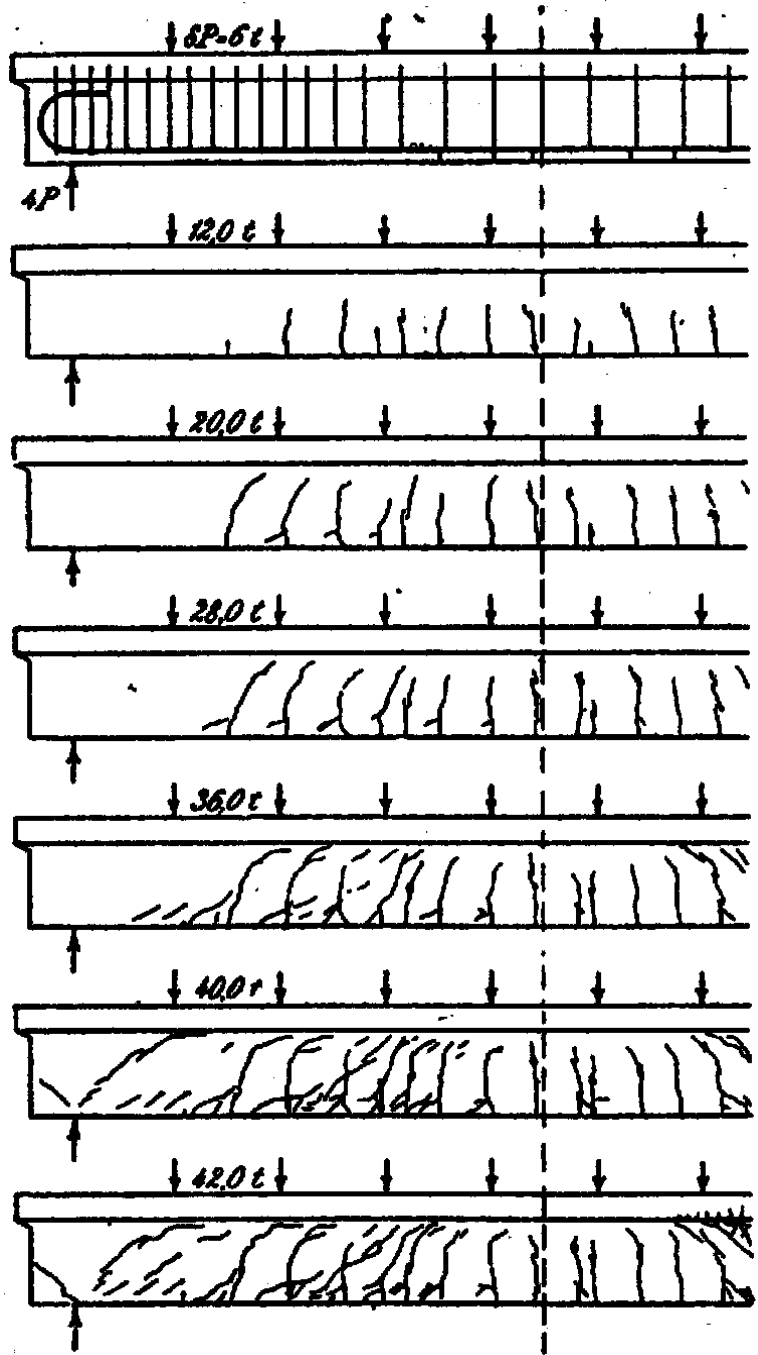
**OBSERVAÇÃO:** A fissura indicada é um "aviso" da estrutura, providências urgentes devem ser tomadas.

**Exemplo no 32 ( Continuação )**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Viga T de concreto armado, com laje na parte superior .

- A seguir mostramos as fissuras de viga ensaiada por Mörsch [8].
- É mostrada a evolução das fissuras em 7 níveis crescentes de carregamento.

- Carga distribuída em 8 pontos de aplicação.
- Armação composta de ferros retos e de estribos
- Carga de ruptura = 42 t
- Tipo de ruptura : Escoamento do aço dos estribos , junto ao apoio.
- Surgimento da fissura inclinada "fatal", junto ao apoio, para uma carga de 40t.
- Isto é : 95% da carga de ruptura.
- Quando surge essa fissura "fatal", junto ao apoio, o perigo de ruptura já é muito grande.



- Com o uso das novas formulações para o dimensionamento dos estribos, usam-se menos estribos do que se usava, quando se dimensionava pela treliça de Mörsch.
- A fissura inclinada "fatal" , bem junto ao apoio, começa com carga menores, mas o risco de ruptura já é muito grande também.

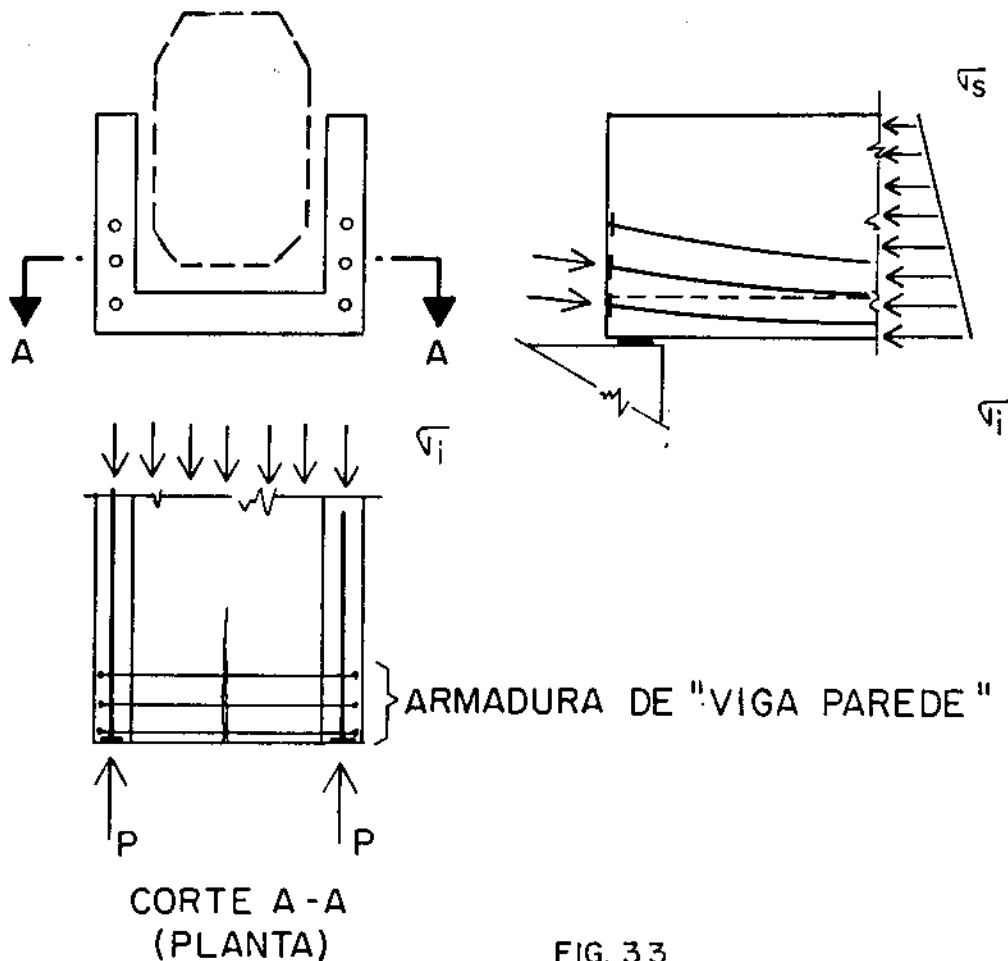
Exemplo nº 33

**TIPO DE ESTRUTURA:** Ponte ferroviária em concreto protendido com vigas invertidas

**FISSURAÇÃO:** Fissura longitudinal na laje inferior na extremidade da laje

**ESQUEMA:**

FALTA DE ARMADURA DE "VIGA PAREDE"  
EM PONTES PROTENDIDAS



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A introdução da força longitudinal de protensão cria uma força transversal similar ao de uma viga parede. (Ver planta acima). Deve ser detalhada uma armadura de viga parede segundo os critérios do boletim nº 150 do CEB preparado pelo Prof. J. Schlaich [15].

**SOLUÇÃO:** No caso de fissuras já existentes deve ser criada uma protensão transversal na laje inferior.

**OBSERVAÇÃO:** O "funcionamento de viga parede" é muito comum nas discontinuidades estáticas ou geométricas das estruturas [15].

Exemplo nº 34

**TIPO DE ESTRUTURA:** Viga parede

**FISSURAÇÃO:** Fissura dirigida aproximadamente para o centro do apoio central da viga parede contínua ou para um apoio qualquer da viga parede simples

**ESQUEMA:**

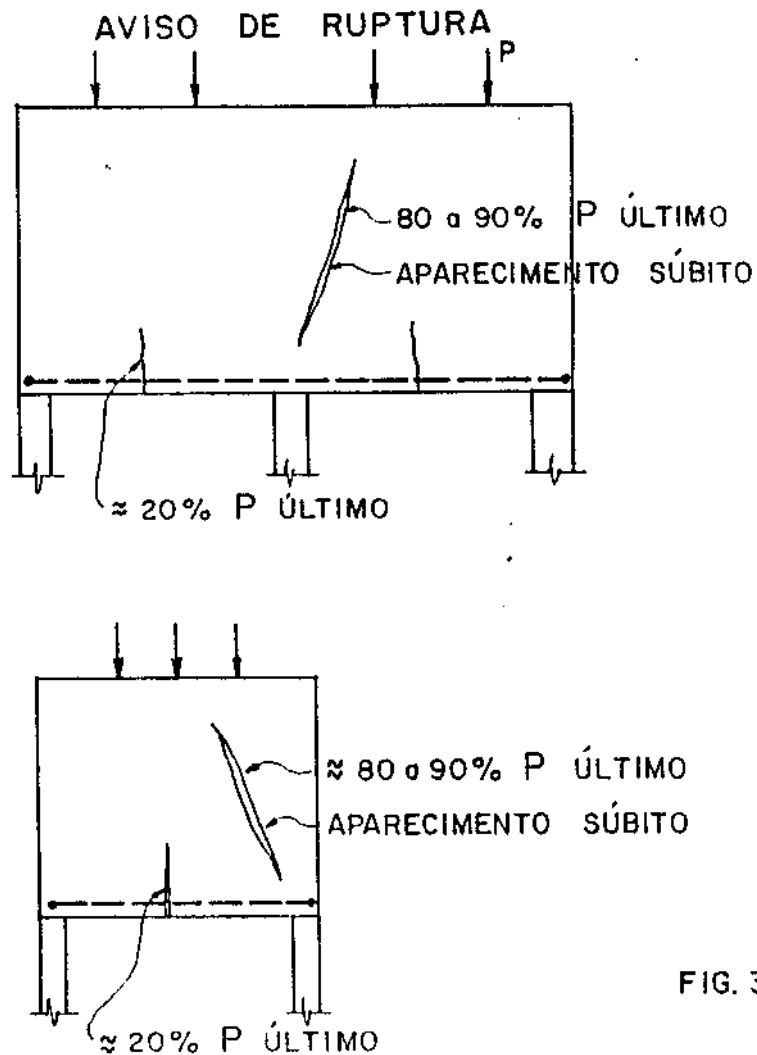


FIG. 34

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Fendilhamento das "bielas" de apoio das vigas paredes. Ver boletim 150 do CEB preparado pelo Prof. J.Schlaich [15]. Ver também os ensaios de vigas paredes realizados na PUC/RJ (25).

**SOLUÇÃO:** Essas fissuras são muito graves, pois a viga já está próxima da ruptura. É necessário escorar a viga parede e criar novos apoios definitivos. De nada adianta injetar as fissuras pois isso não aumenta a resistência da estrutura.

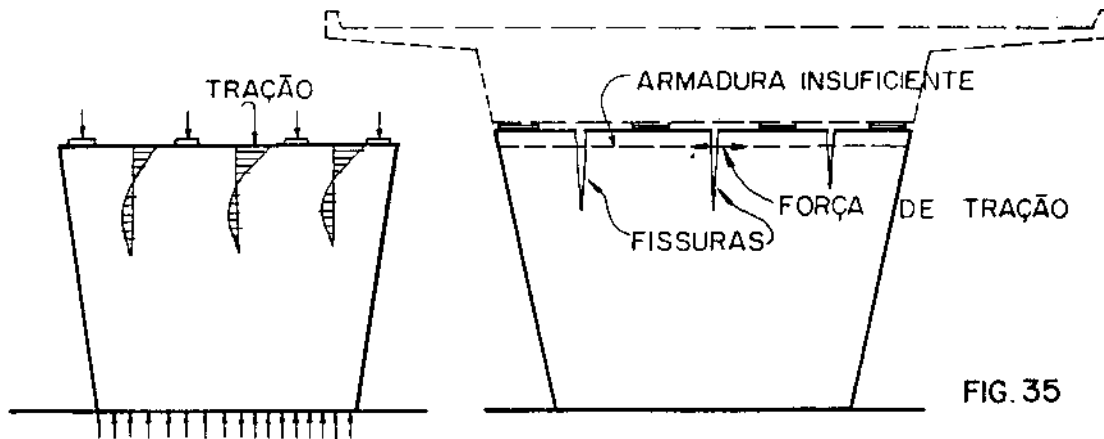
**OBSERVAÇÃO:** A fissuração, indicada acima, em vigas com "ferro costela" mínimo e com estribo mínimo, corresponde a uma carga entre 80% e 90% da carga de ruptura.

Exemplo nº 35

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pilares tipo parede com vários aparelhos de apoio no topo (viadutos urbanos)

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais próximas do topo do pilar.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Armadura insuficiente da "viga parede". O cálculo da força de tração pode ser feito como uma viga parede contínua.

**SOLUÇÃO:** Colocar a armadura com tensão limitada e com diâmetro adequado de modo a limitar a abertura de fissura.

**OBSERVAÇÃO:** Para verificar a abertura da fissura em vigas parede sugerimos considerar o "tirante efetivo de concreto" definido pelo CEB-78 usando a força de tração calculada elasticamente.

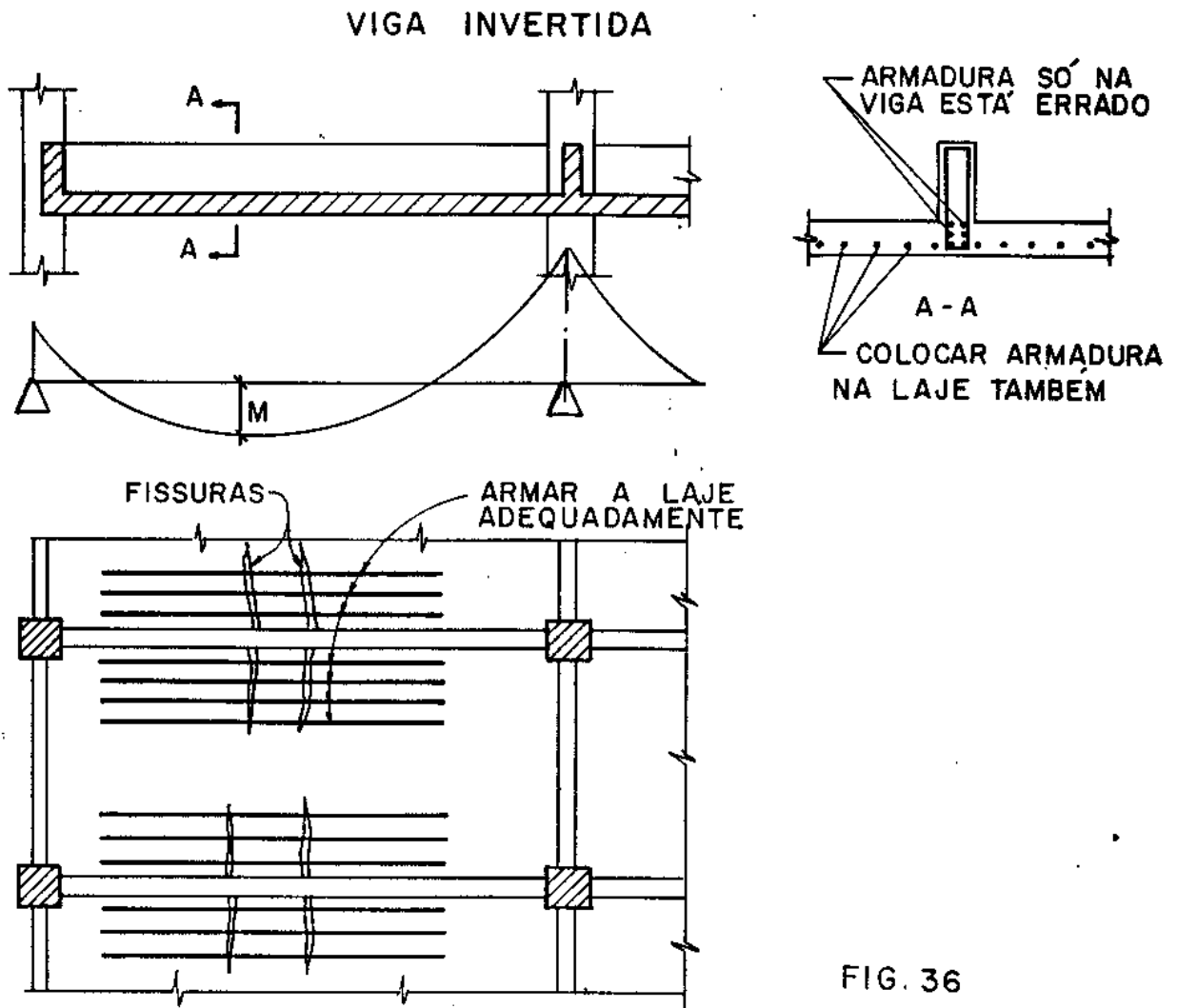
**COMENTÁRIO:** O modelo estrutural de "Viga Parede" ocorre embutido dentro da maioria das estruturas. A identificação desse modelo, com o correto dimensionamento das armaduras, evita o surgimento de fissuras.

Exemplo nº 36

**TIPO DE ESTRUTURA:** Viga invertida de piso de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras na laje do piso transversalmente à viga, próximo ao centro dos vãos.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** No caso de vigas invertidas a laje é tracionada pela flexão da viga. Caso não seja detalhada armadura longitudinal também na laje, surgem fissuras com grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Colocar armaduras na laje paralelamente à viga na região dos momentos positivos (traciona o bordo inferior da viga).

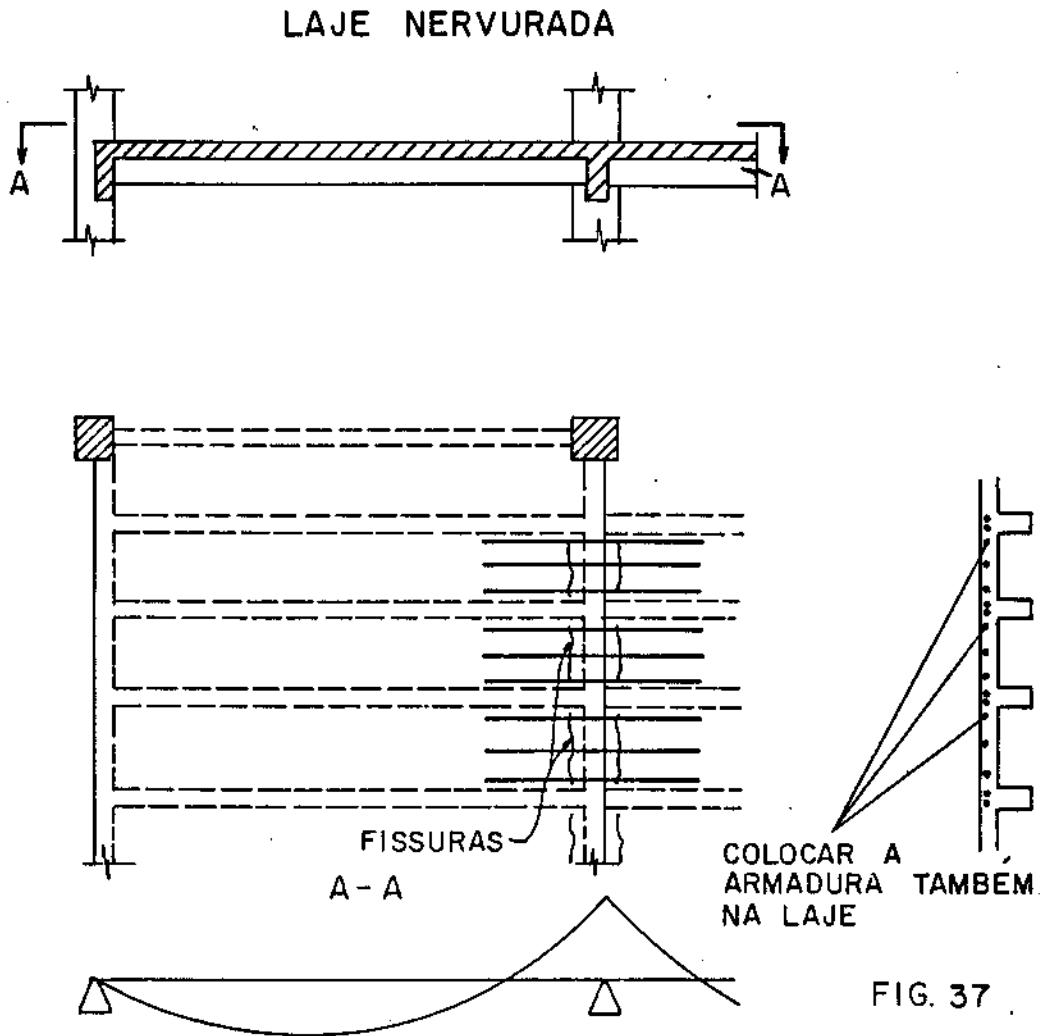
**OBSERVAÇÃO:** No caso de cargas variáveis pequenas as fissuras podem ser tomadas, pois a variação da sua abertura será pequena.

Exemplo nº 37

**TIPO DE ESTRUTURA:** Lajes nervuradas

**FISSURAÇÃO:** Fissuras na laje na região do apoio das nervuras

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Falta de armadura superior nas lajes na direção das nervuras.

A laje é mobilizada na zona tracionada da viga sobre os apoios, e como falta armadura na laje surgem fissuras com grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Colocar armadura superior na laje (ver figura acima) paralelamente às nervuras.

**OBSERVAÇÃO:** No caso de fissuras já existentes e de sobrecarga pequena, elas podem ser injetadas, pois a variação de suas aberturas é pequena.

Exemplo nº 38

**TIPO DE ESTRUTURA:** Edificações de concreto armado ou protendido com grandes balanços

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas na alvenaria sobre os balanços

**ESQUEMA:**

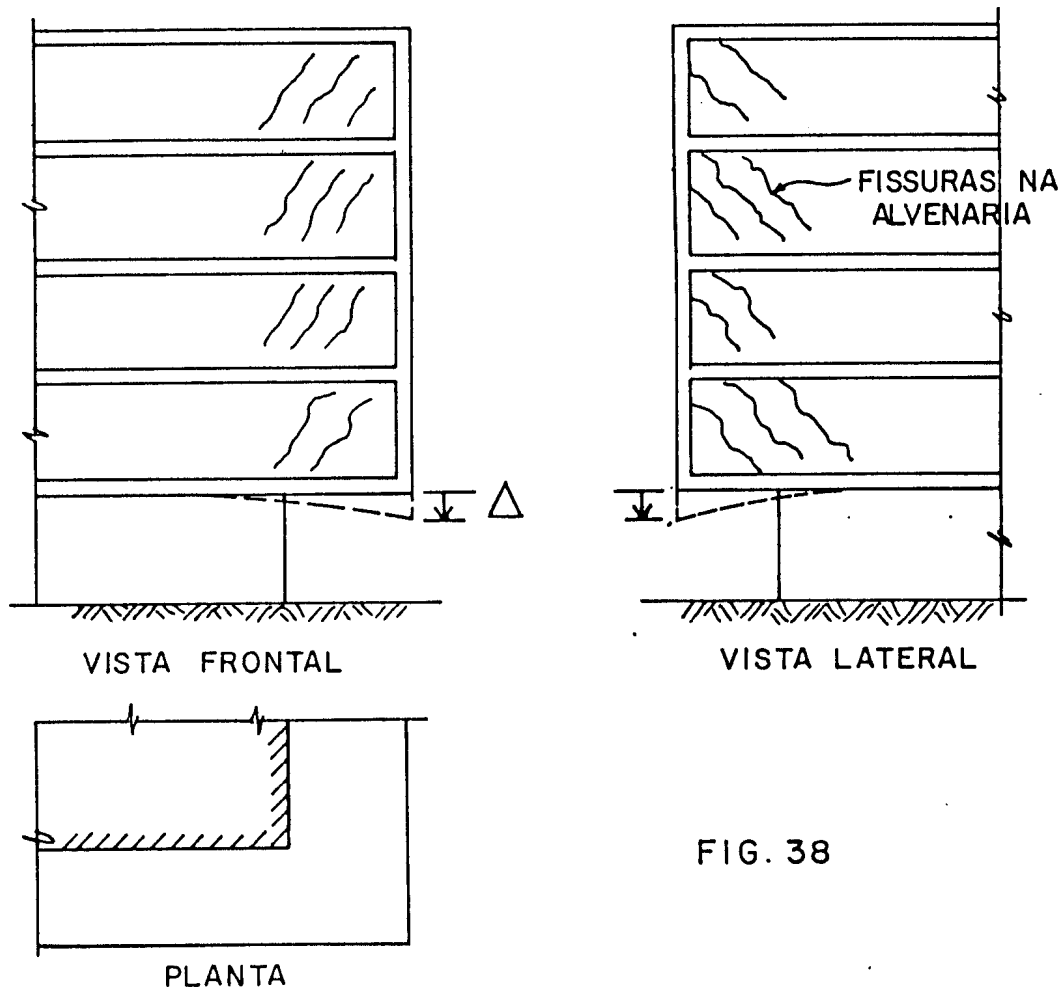


FIG. 38

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Alguns prédios possuem grandes balanços como indicado na figura acima. Os grandes deslocamentos verticais "  $\Delta$  " surgidos em consequência da deformação lenta da estrutura causam fissuras inclinadas nas alvenarias. O efeito é semelhante a de um recalque de apoio como indicado no exemplo nº 10.

**SOLUÇÃO:** Projetar estruturas com grande rigidez de modo a reduzir a deformação imediata, e em consequência a deformação lenta.

**OBSERVAÇÃO:** Após alguns anos (cerca de 2 a 3 anos) quando a maior parte da deformação lenta da estrutura já tiver ocorrido as fissuras podem ser reparadas, pois não são mais ativas.

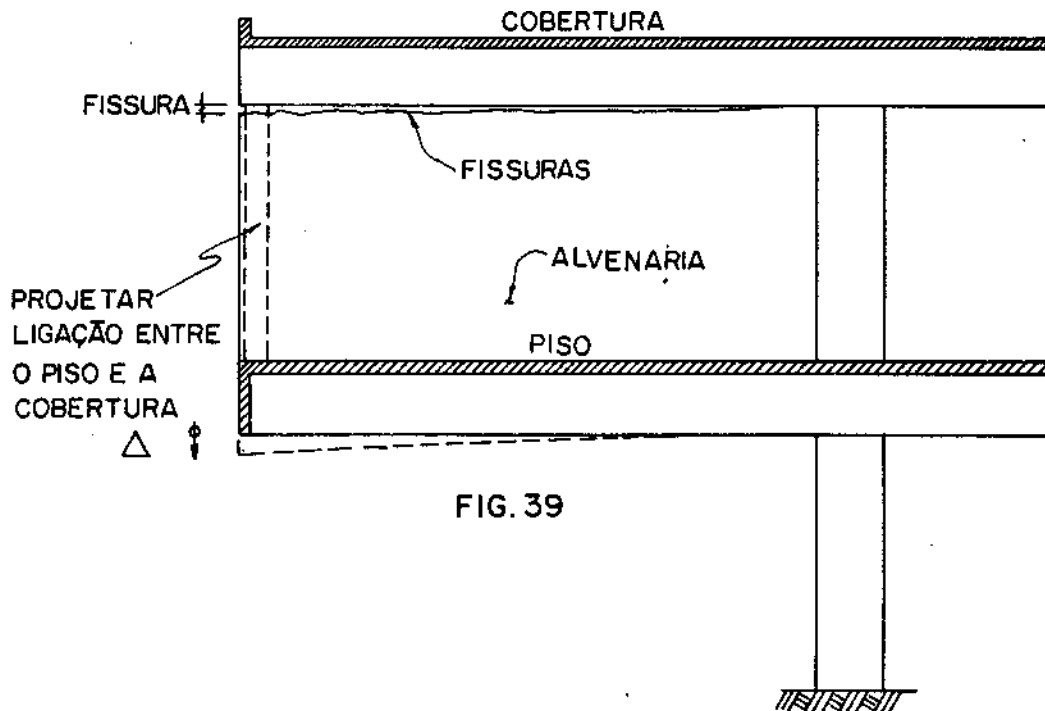


Exemplo nº 39

**TIPO DE ESTRUTURA:** Grandes balanços em concreto armado ou protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras horizontais entre a alvenaria e a viga de cobertura

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Sendo a carga na estrutura do piso maior do que a da cobertura, principalmente devido ao peso das alvenarias, a deformação é também em geral maior. (ver figura acima). A cobertura se deformando menos que o piso, surgem, em consequência fissuras entre a alvenaria e a estrutura da cobertura.

**SOLUÇÃO:** Uma solução arquitetônica é deixar uma folga entre a alvenaria e a cobertura. Essa folga é preenchida com mastique elástico. Uma solução estrutural é criar um tirante (ou pilar) na ponta do balanço (ver figura acima) ligando as estruturas do piso e da cobertura.

**OBSERVAÇÃO:** A fissuração indicada não tem qualquer relação com a segurança da estrutura. O leigo, porém, se sente extremamente preocupado com ela.

Exemplo nº 40

TIPO DE ESTRUTURA: Blocos sobre várias estacas

FISSURAÇÃO: Fissuras em forma de "arco" nas faces laterais dos blocos e entre as estacas

ESQUEMA:

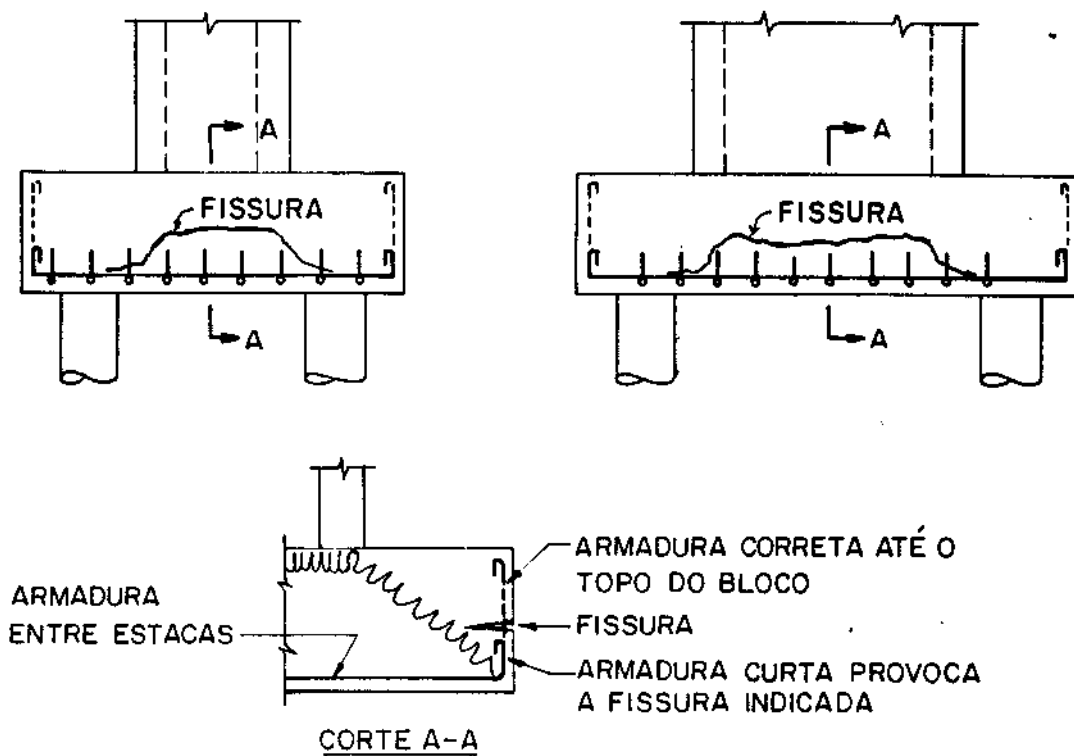


FIG. 40

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Armadura inferior do bloco com comprimento vertical pequeno nas faces laterais dos blocos. As bielas que procuram apoio nas armaduras horizontais geram uma componente vertical de tração. Após vencida a resistência à tração do concreto o bloco fissa como indicado nas figuras.

**SOLUÇÃO:** As armaduras inferiores dos blocos devem ter a perna lateral com a altura total do bloco.

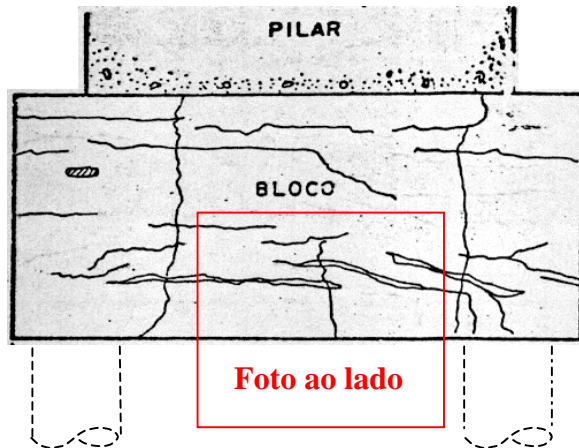
**OBSERVAÇÃO:** Ver previsão desse tipo de fissura em Leonhard [4] volume 3 e também [28]. A recomendação é usar uma armadura vertical de suspensão na face dos blocos para resistir a uma força  $p/1.5n$  (sendo  $n$  o número de estacas).

**Exemplo nº 40 ( continuação da página anterior )**

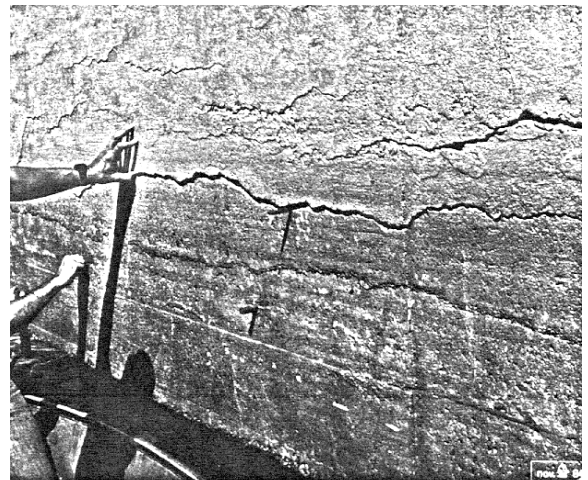
**TIPO DE ESTRUTURA :** Blocos sobre 4 tubulões, em uma ponte sobre um rio.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras horizontais nas 4 faces laterais dos blocos.

**ESQUEMA :**



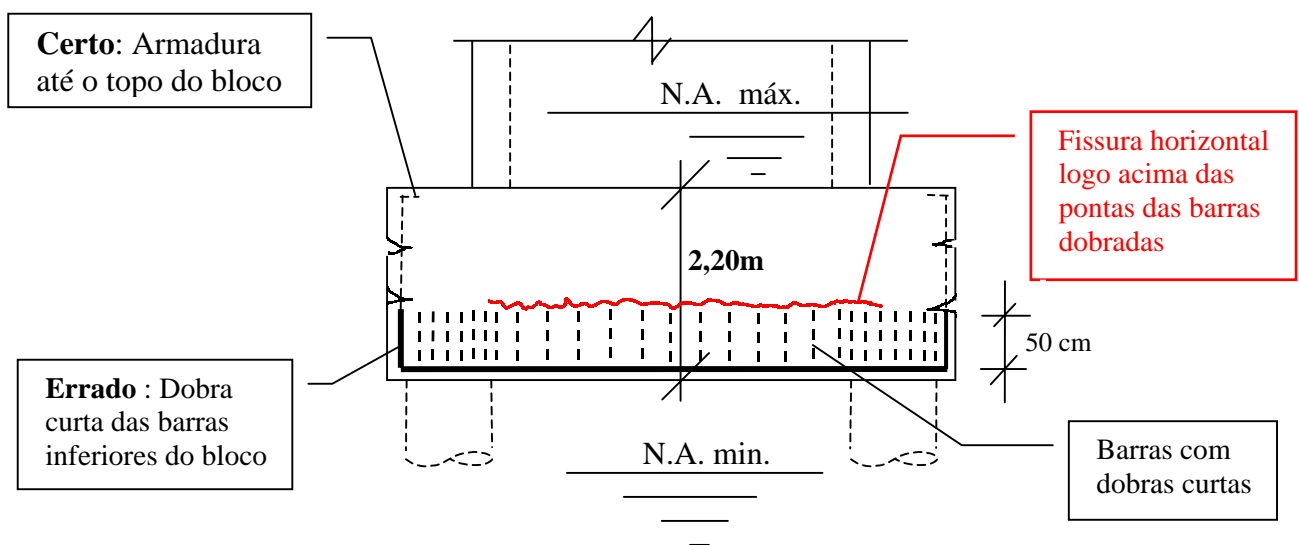
Mapeamento das fissuras em uma face do bloco.



Detalhe da fissura horizontal na face do bloco

**CAUSAS DA FISSURAÇÃO:** As barras do fundo do bloco não são dobradas até o topo do bloco. Isso cria uma fissura horizontal logo acima das pontas das barras dobradas.

O bloco tem 2,2m de altura e as barras da armadura do fundo do bloco têm uma dobra de apenas 50cm na face lateral do bloco.



**SOLUÇÃO :** Detalhar os ferros inferiores do bloco até o topo. Isto evita as fissuras horizontais das faces laterais do bloco.

**OBSERVAÇÃO :** O concreto especificado no projeto, para o bloco, foi de  $f_{ck} > 15\text{MPa}$ .

Esse concreto, com pouco cimento e muita água, é poroso e permite também uma corrosão rápida das armaduras. É um erro usar concreto com baixo teor de cimento nos blocos dentro de rios.

A durabilidade do bloco é aumentada pelo uso de um bom concreto.

Sugere-se o uso de concreto com  $f_{ck} > 30\text{MPa}$  e com :

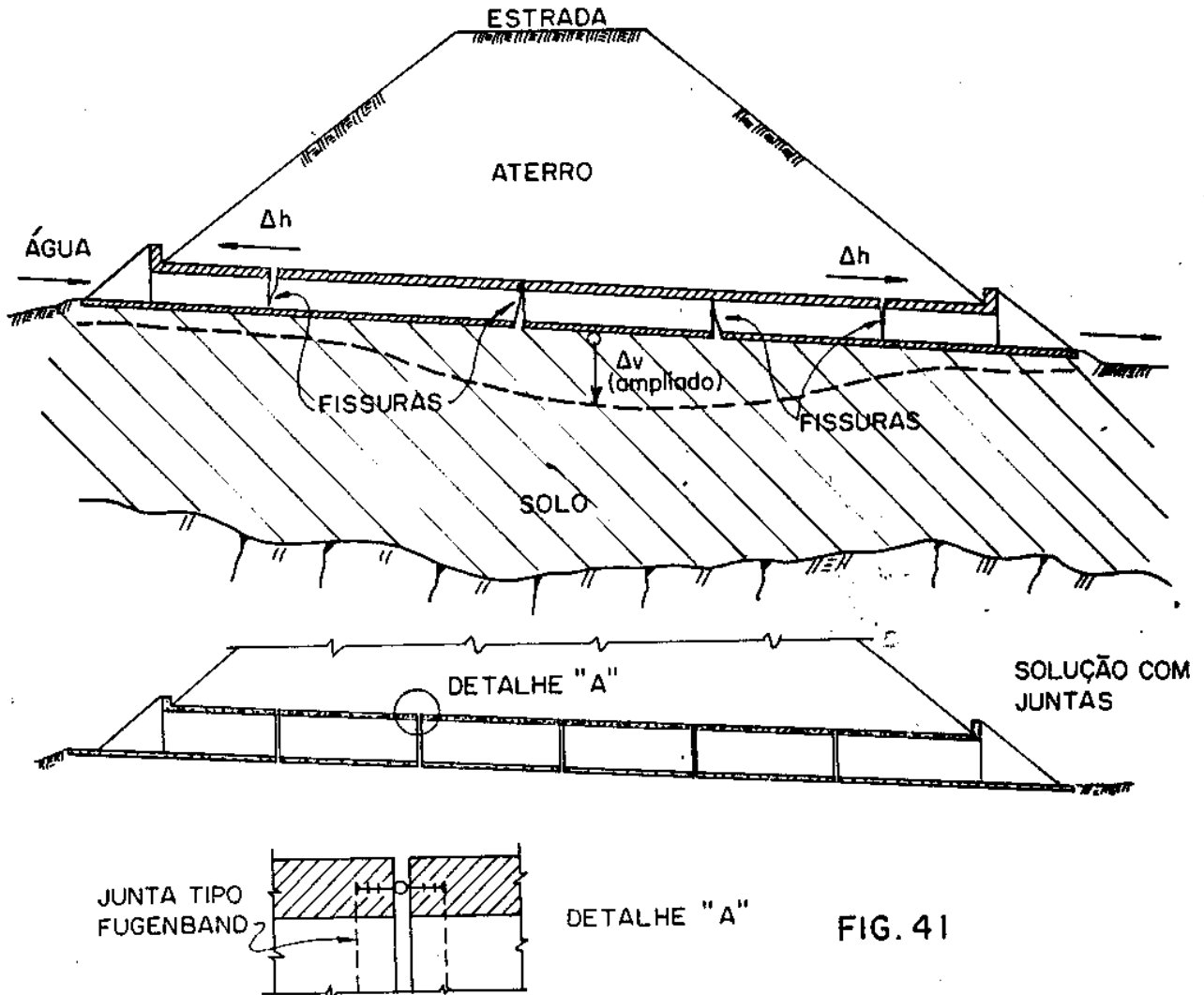
- teor de cimento  $> 380\text{ kg/m}^3$  e
- teor de micro-sílica  $> 17\text{ kg/m}^3$

Exemplo nº 41

**TIPO DE ESTRUTURA:** Galeria, sem juntas, sob aterros de estradas

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais em vários pontos da galeria

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O deslocamento vertical ( $\Delta v$ ) da galeria é em geral maior na parte central do aterro. A curvatura imposta à galeria acarreta grandes esforços de flexão. O deslocamento horizontal ( $\Delta h$ ) do aterro impõe um esforço axial de tração na galeria. Da combinação desses 2 esforços resultam várias fissuras nas posições indicadas na figura.

**SOLUÇÃO:** Projetar juntas, conforme indicado, de modo a eliminar esforços internos. Usar ligações tipo Fugenband de modo a evitar fuga do material de aterro nessas juntas.

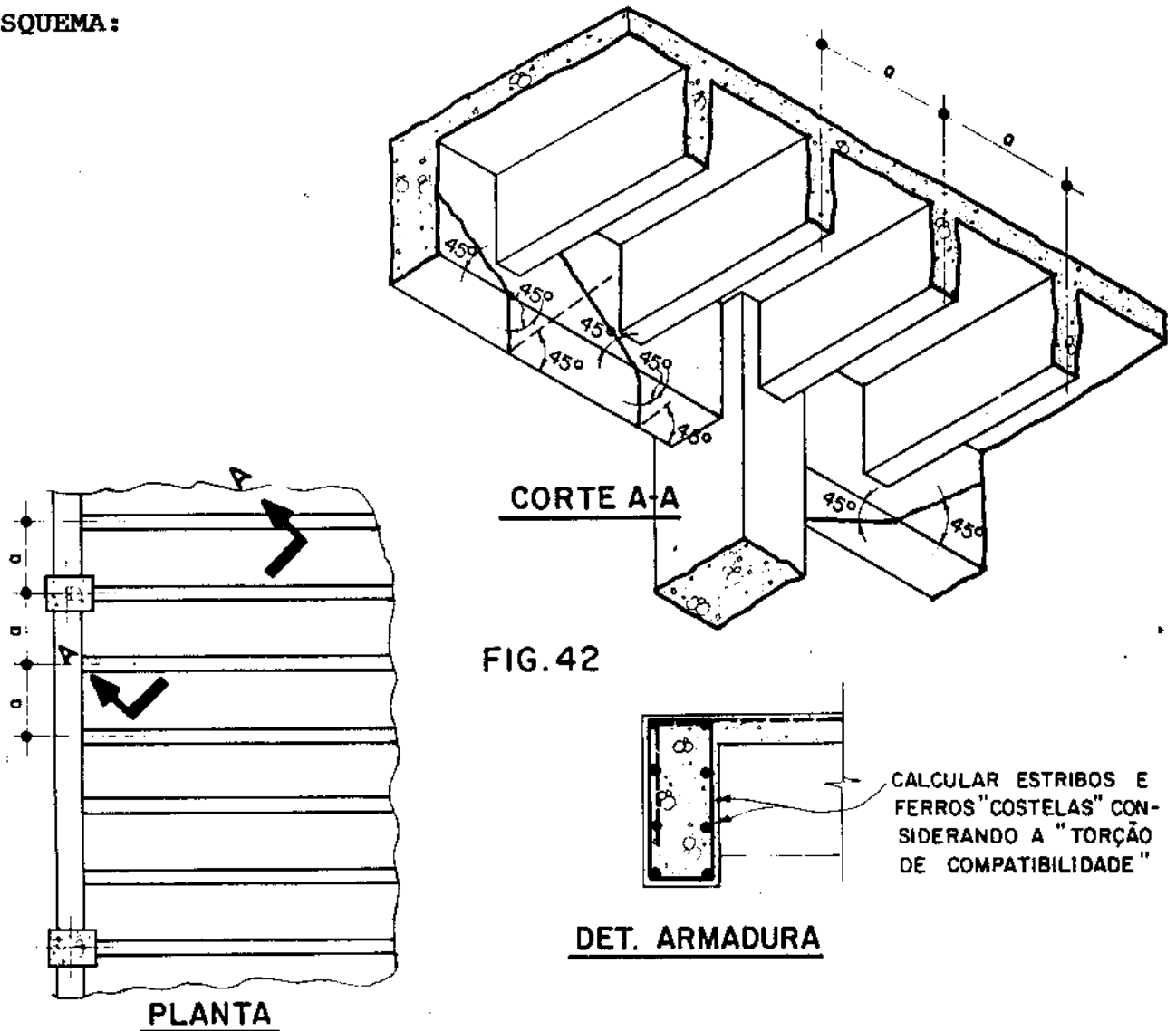
**OBSERVAÇÃO:** Os deslocamentos do aterro evidentemente dependem do solo sobre o qual ele está executado. Recomendam-se estudos do solo, caso a caso, para definir medidas adicionais, eventualmente necessárias.

Exemplo nº 42

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas de bordo de pisos de edifícios com lajes de grandes vãos.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras "helicoidais", próximas aos apoios, com inclinação aproximada de  $45^\circ$  com as arestas da viga

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O engastamento das vigotas do piso na viga de bordo causa um momento torçor na viga de bordo. Essa torção, comumente chamada "torção de compatibilidade", não sendo considerada no cálculo ocasiona fissuras de grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Análise conjunta da torção e da força cortante com o conseqüente dimensionamento dos estribos e dos ferros longitudinais.

**OBSERVAÇÃO:** A rigidez à torção da viga de bordo deve ser considerada reduzida para análise da grelha do piso, ver [4] volume 4.

Exemplo nº 43

**TIPO DE ESTRUTURA:** Barragens em concreto

**FISSURAÇÃO:** Fissuras na face de montante da barragem. Ver [31].

**ESQUEMA:**

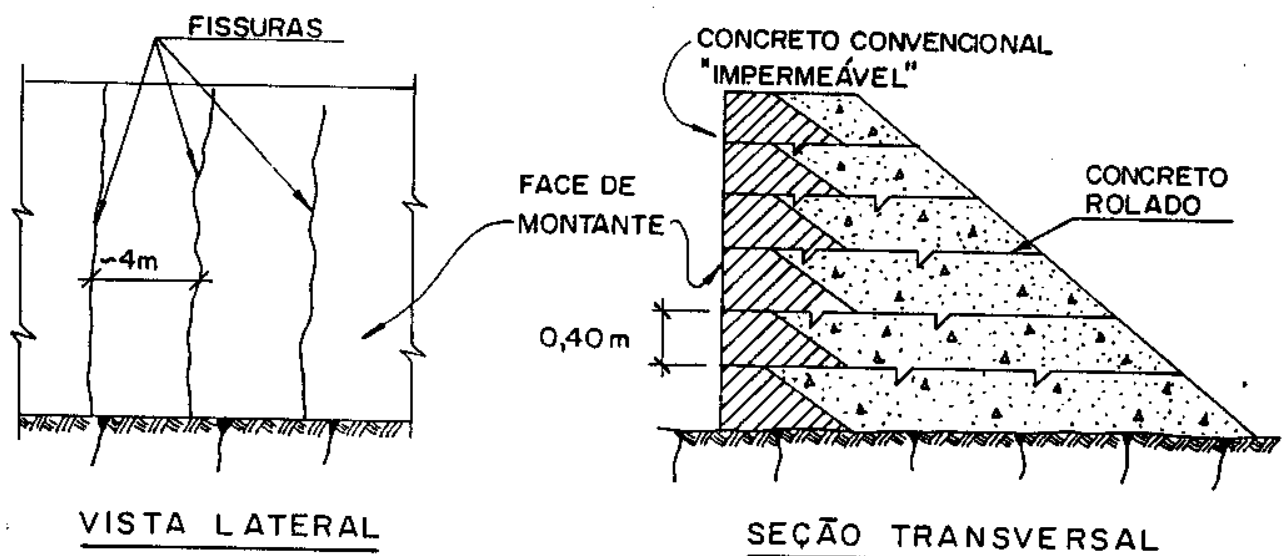


FIG. 43

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O concreto convencional "impermeável" contendo maior quantidade de cimento atinge, durante a concretagem, uma temperatura mais alta que o restante da barragem em concreto rolado. O esfriamento da superfície em contato com o ar, atingindo temperaturas mais baixas que o núcleo de barragem, ocasiona a fissuração indicada. Temos aí novamente a "retração térmica impedida".

**SOLUÇÃO:** Lançar concreto convencional com água gelada, ou usar outro processo executivo que evite essa retração térmica.

Uma cura úmida do concreto evitou a fissuração indicada

**OBSERVAÇÃO:** Caso existam fissuras, elas podem ser tomadas com material adequado, pois as fissuras não mais abrirão.

Exemplo nº 44

**TIPO DE ESTRUTURA:** Lajes simplesmente apoiadas (Geralmente lajes isoladas).

**FISSURAÇÃO:** Fissuras na face superior da laje aproximadamente a  $45^\circ$  nos 4 cantos da laje.

**ESQUEMA:**

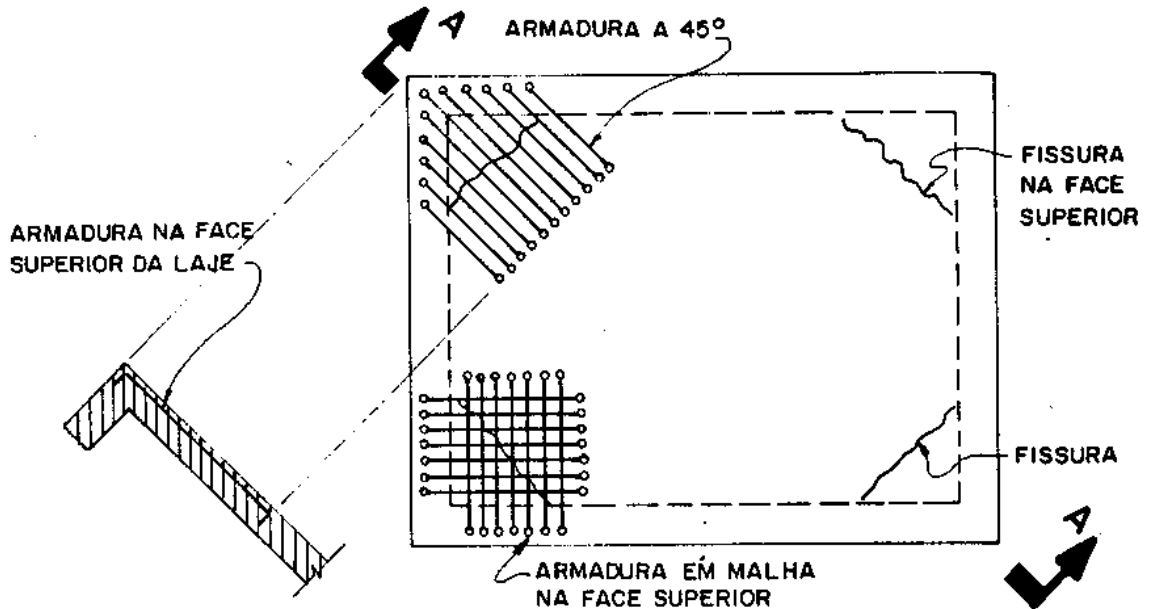


FIG. 44

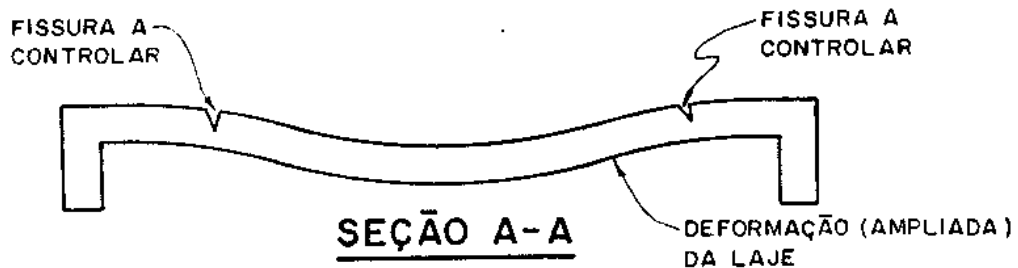


FIG. 44

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As fissuras observadas são o resultado da curvatura da laje junto aos cantos, sem a existência de armaduras adequadas.

**SOLUÇÃO:** Colocação de armaduras na face superior da laje, junto aos cantos, ver [4], volume 3.

As armaduras inferiores geralmente são colocadas em toda laje, não sendo assim necessárias barras adicionais. Em lajes contínuas onde são colocadas armaduras na face superior sobre os apoios essa fissura não aparece.

**OBSERVAÇÃO:** A solução com uma malha na face superior é mais prática, para a execução, do que a armadura a  $45^\circ$  com barras de comprimentos variáveis.

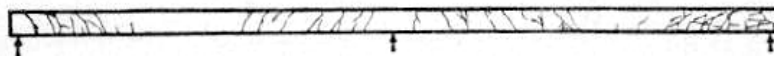
**Exemplo nº 44 (Continuação)**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Lajes simplesmente apoiadas .

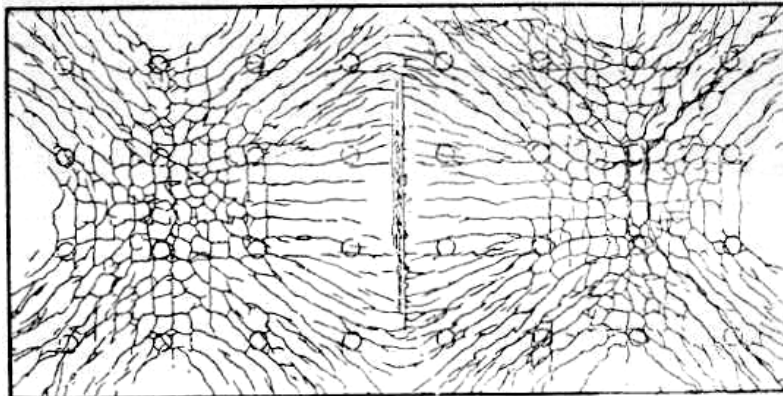
Mostramos abaixo a fissuração observada em ensaio feito por Mörsch [8] em um painel de laje, contendo duas lajes quadradas, com carga distribuída.



**Face superior da laje .**

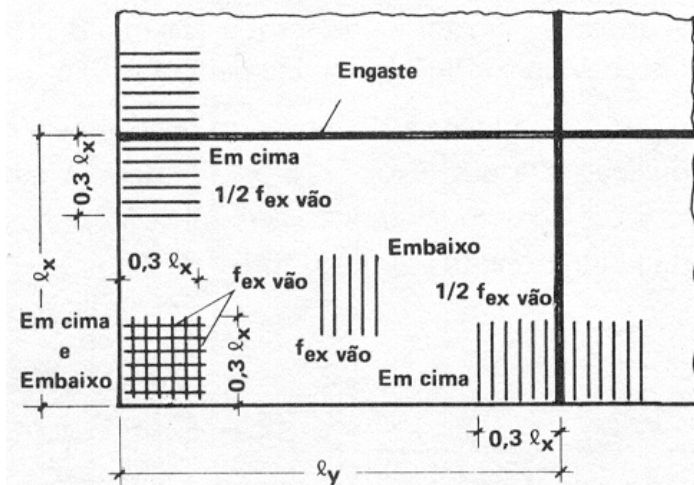


**Seção Transversal**



**Face inferior da laje**

- Nos 4 cantos formados por 2 apoios simples podemos observar as fissuras a 45 graus na face superior da laje.
- Fritz Leonhardt [4] recomenda armadura adicional nas lajes com bordos simplesmente apoiados:



- Os revestimentos rígidos de piso fissuram nesses cantos da laje . Os usuários se preocupam.
- O uso de lajes espessas e com armadura correta reduz essa deformação da laje e reduz as fissuras mantendo os revestimentos íntegros.
- Em caso de lajes finas sugere-se o uso de revestimentos flexíveis, em placas com juntas.

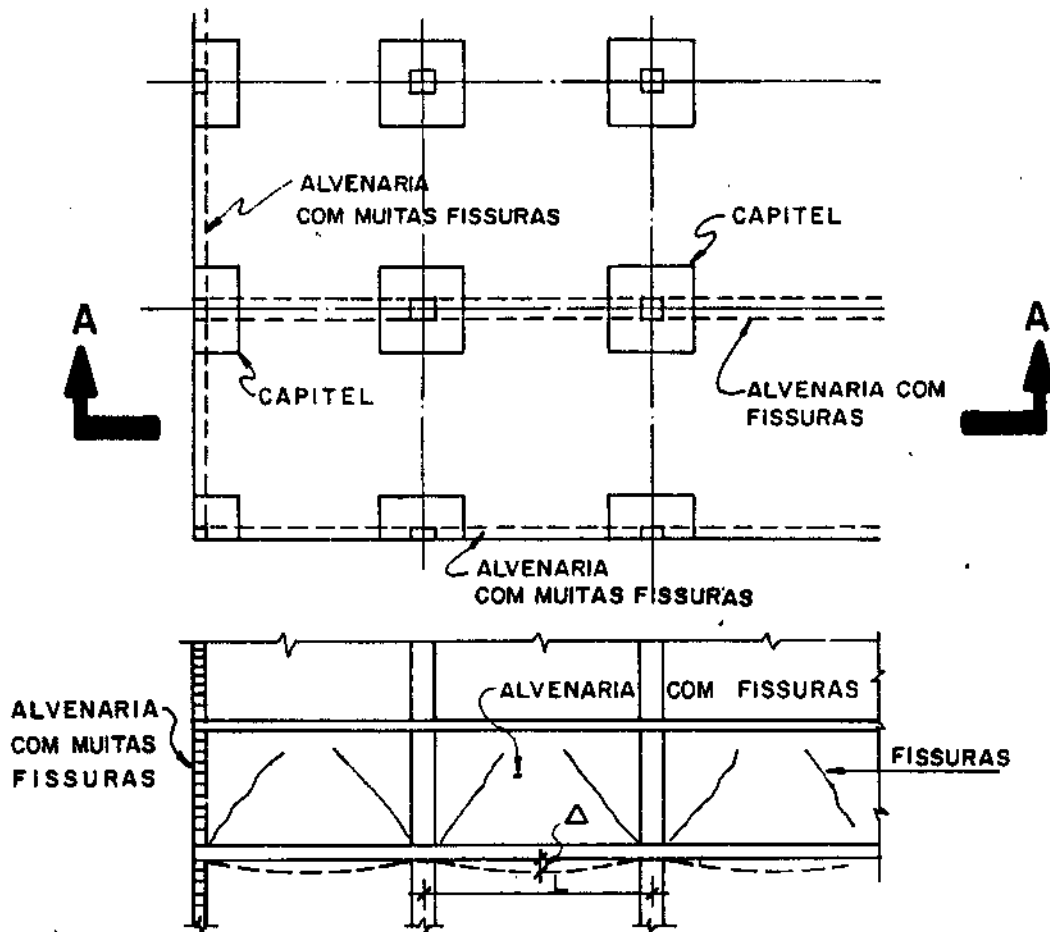


Exemplo nº 45

**TIPO DE ESTRUTURA:** Lajes cogumelo sem viga de bordo e com alvenarias sobre elas.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras a 45º nas alvenarias, principalmente nas alvenarias sobre os bordos das lajes.

**ESQUEMA:**



**SEÇÃO A-A**

FIG. 45

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A laje sem viga nos bordos é extremamente deformável.

A deformabilidade é agravada pela deformação lenta do concreto. Em consequência, as alvenarias sofrem grandes distorções, que causam fissuras inclinadas aproximadamente a 45º.

**SOLUÇÃO:** Projetar a laje cogumelo com vigas em toda a periferia. Caso haja juntas de dilatação na laje, devem ser projetadas vigas de bordo, em cada lado da junta.

**OBSERVAÇÃO:** Nas lajes cogumelo, mesmo os painéis centrais são deformáveis e causam danos nas alvenarias.

Limitar as flechas sob as alvenarias a  $\Delta/L = (1 \text{ a } 1,5) \times 10^{-3}$ .

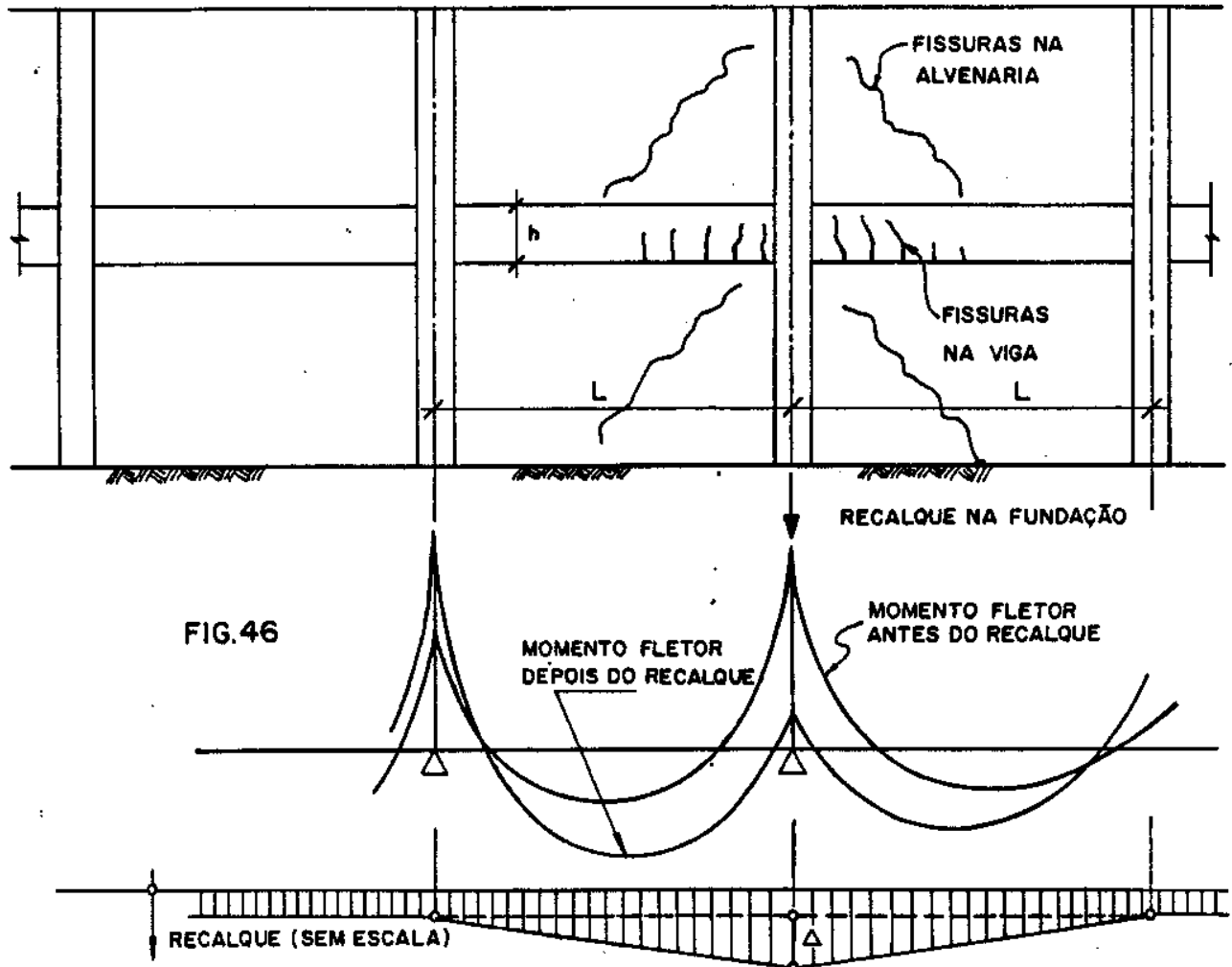
Ver também exemplo nº 11.

Exemplo nº 46

**TIPO DE ESTRUTURA:** Edificações de concreto armado com estruturas em lajes e vigas.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras no bordo inferior da viga junto aos apoios e fissuras a 45° nas alvenarias.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A fundação sofrendo um recalque, o diagrama de momento fletor da viga se modifica, conforme a figura acima.

A armadura no bordo inferior da viga estando dimensionada para esforços menores, a fissuração é intensa, atingindo toda a metade dos vãos adjacentes ao pilar que recalcou.

**SOLUÇÃO:** Basicamente o problema é de fundação e por aí deve ser abordado. É necessário acompanhar o desenvolvimento dos recalques com o tempo.

**OBSERVAÇÃO:** Para recalques pequenos, i.e., com  $\Delta/L \leq 0,06 \times (L/h) \times 10E-3$  as vigas redistribuem os esforços internamente sem sofrer danos em serviço.

Exemplo nº 47

**TIPO DE ESTRUTURA:** Edificações com estruturas em pórticos de concreto armado.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras a 45º nas alvenarias e fissuras de flexão nas vigas, conforme esquema abaixo:

**ESQUEMA:**

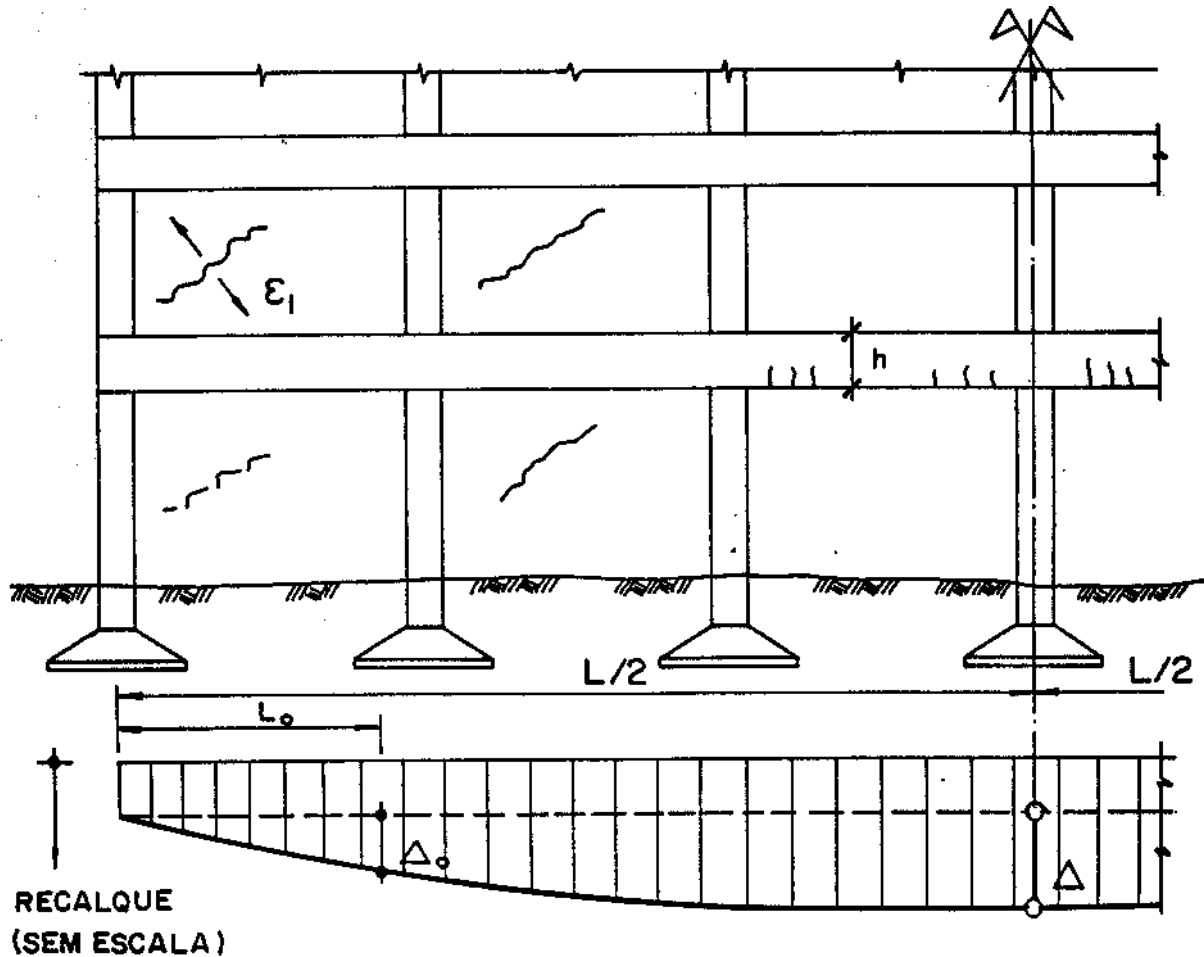


FIG.47

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** No caso das alvenarias a causa é a distorção excessiva que ocasiona um alongamento  $\epsilon_1$ , de tração, a aproximadamente 45º. Quando esse alongamento  $\epsilon_1$ , atinge o valor  $(0,05 \text{ a } 0,10) \times 10^{-3}$  a alvenaria fissa.

Isto ocorre quando  $\Delta_o/L_o \cong (0,1 \text{ a } 0,2) \times 10^{-3}$ .

As fissuras nas alvenarias se tornam visíveis quando  $\Delta_o/L_o \cong (2 \text{ a } 3) \times 10^{-3}$ .

**SOLUÇÃO:** Para evitar danos nas vigas o recalque diferencial deve ser limitado de modo que  $\Delta/L \leq 0,04 \times (L/h) \times 10^{-3}$ . Com essa limitação do recalque diferencial a viga redistribue os esforços sem sofrer maiores danos em serviço.

**OBSERVAÇÃO:** Se as fissuras nas vigas tiverem abertura maior que 0,3mm certamente medidas de reforço das fundações serão necessárias.

Exemplo nº 48

**TIPO DE ESTRUTURA:** Edificações com estruturas em pórticos de concreto armado

**FISSURAÇÃO:** Fissuras a 45° nas alvenarias, fissuras de flexão nas vigas próximo aos pilares e fissura transversal no pilar (tração no pilar).

**ESQUEMA:**

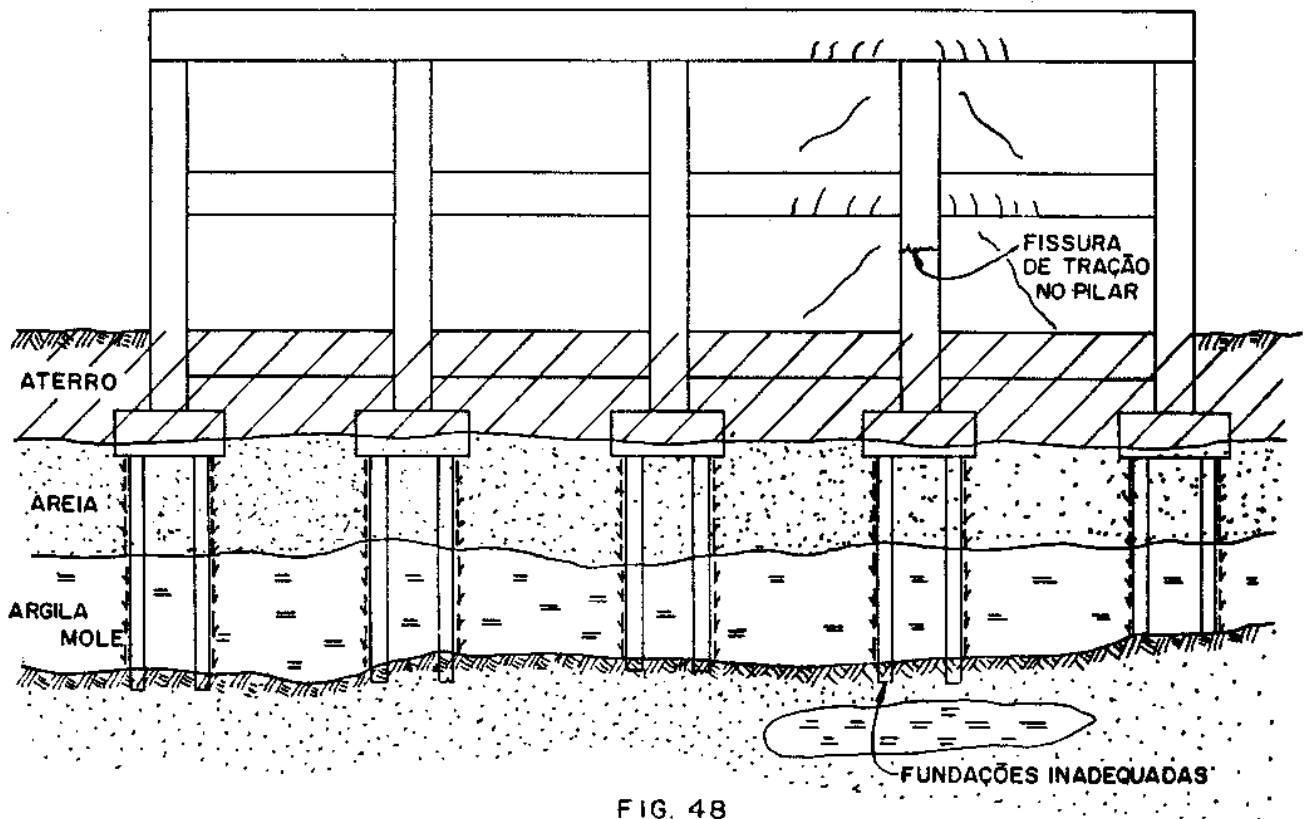


FIG. 48

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O aterro sobre solo mole causa um adensamento deste com o conseqüente atrito negativo sobre as estacas de fundações.

Um pilar com estacas em solo não adequado é "tracionado" pelo atrito negativo. Surgem inclusive, fissuras no "pilar tracionado".

**SOLUÇÃO:** Para a recuperação do pilar seria necessário refazer as fundações de modo adequado e em seguida macaquear o pilar até reintroduzir a carga de compressão do cálculo.

**OBSERVAÇÃO:** O mais comum é que o atrito negativo não chegue a tracionar o pilar e neste caso a fissuração do mesmo não ocorrerá.

Exemplo nº 49

**TIPO DE ESTRUTURA:** Passarela com esquema estrutural em viga Vierendeel.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras inclinadas a 45° nos pilaretes da viga conforme indicado abaixo.

**ESQUEMA:**

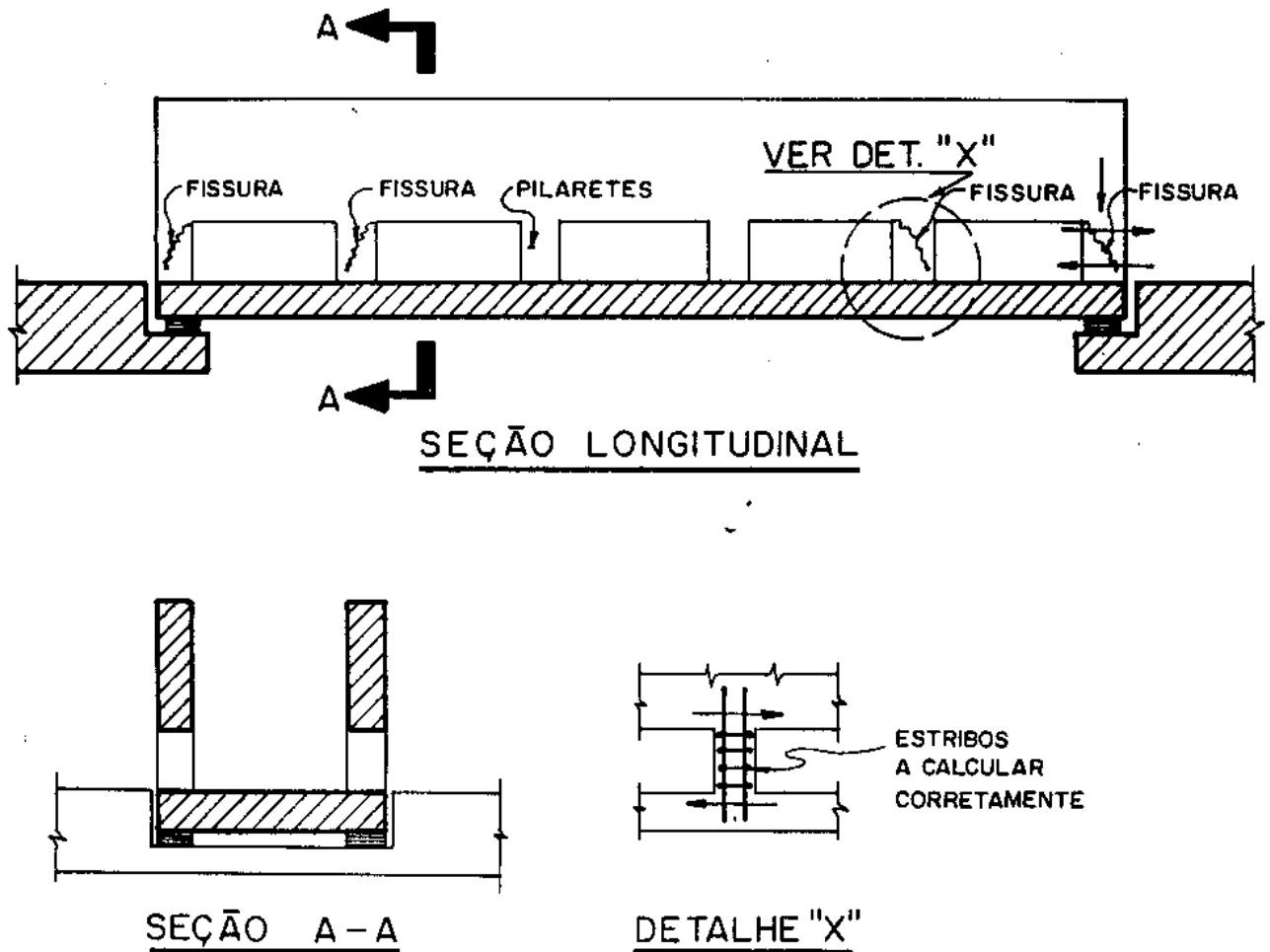


FIG. 49

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A força cortante nos pilaretes da viga Vierendeel é grande e deve ser calculada com precisão. Um cálculo errado da força cortante conduz a estribos em quantidade insuficiente.

A falta de estribos adequados origina fissuras com aberturas excessivas.

**SOLUÇÃO:** A recuperação da estrutura exige o encamisamento do pilarete com a colocação dos estribos que estavam faltando.

**OBSERVAÇÃO:** Os pilaretes próximos do meio do vão tem força cortante pequena e conseqüentemente não fissuram.

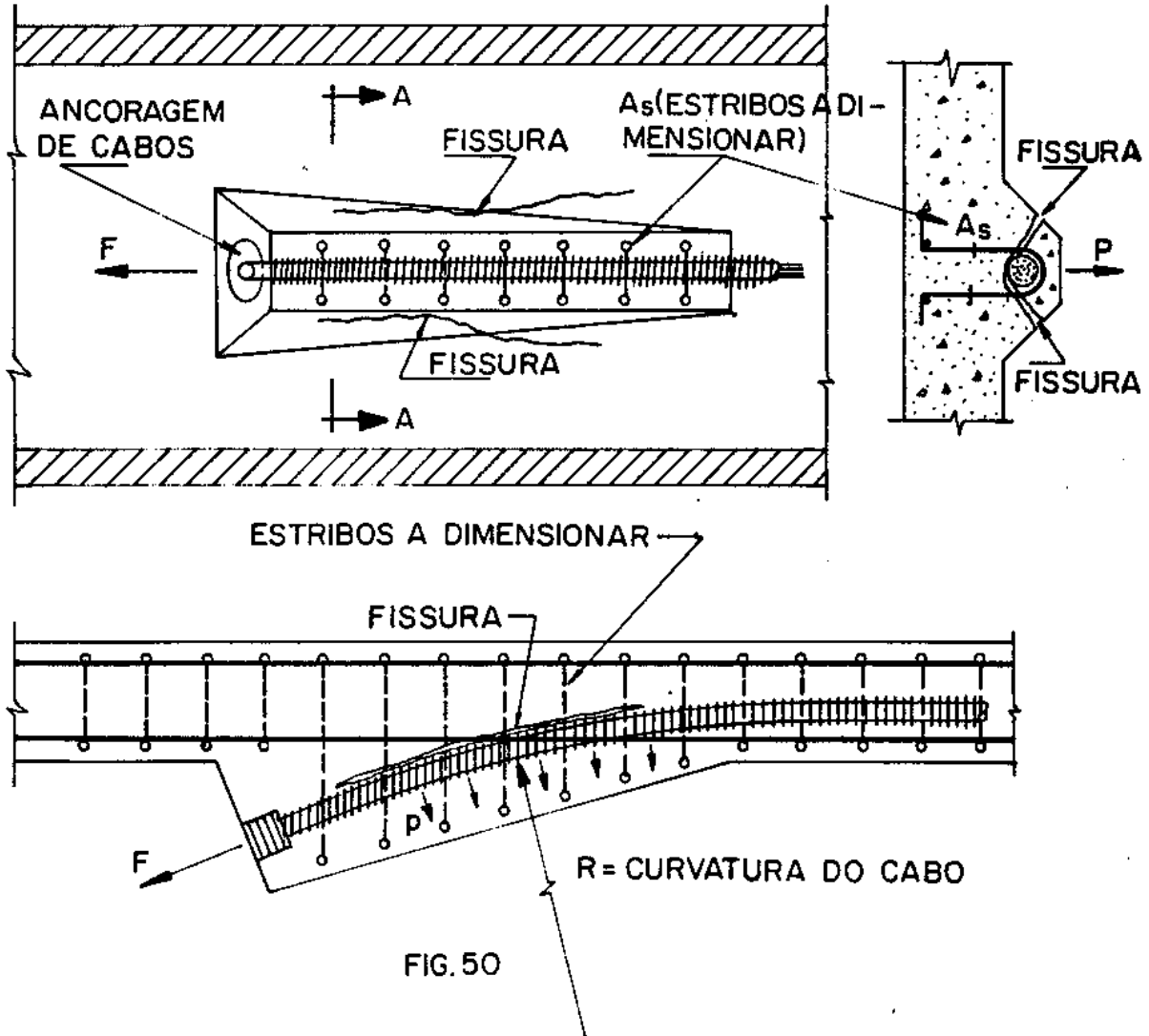
Exemplo nº 50

**TIPO DE ESTRUTURA:**

Estruturas de concreto protendido com cabos ancorados lateralmente nas vigas ou lajes.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras nas faces das "caixas" de saída dos cabos. Na ausência de estribos ocorre a ruptura do concreto e a retificação do cabo que "salta" da viga.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:**

A força  $p$  por unidade de comprimento causada pela curvatura do cabo de protensão provoca uma tração no concreto. Atendida a resistência à tração do concreto forma-se uma fissura.

**SOLUÇÃO:**

Dimensionar corretamente os estribos para resistir a uma força  $p = F/R$  - (por unidade de comprimento). Estes estribos devem "abraçar" o cabo de modo a "suspender" a força  $p$  para a face oposta da viga ou da laje.

**OBSERVAÇÃO:**

A viga ou a laje deve ser dimensionada como placa para a carga  $p$  atuante ortogonalmente ao plano médio da placa.

Exemplo nº 51

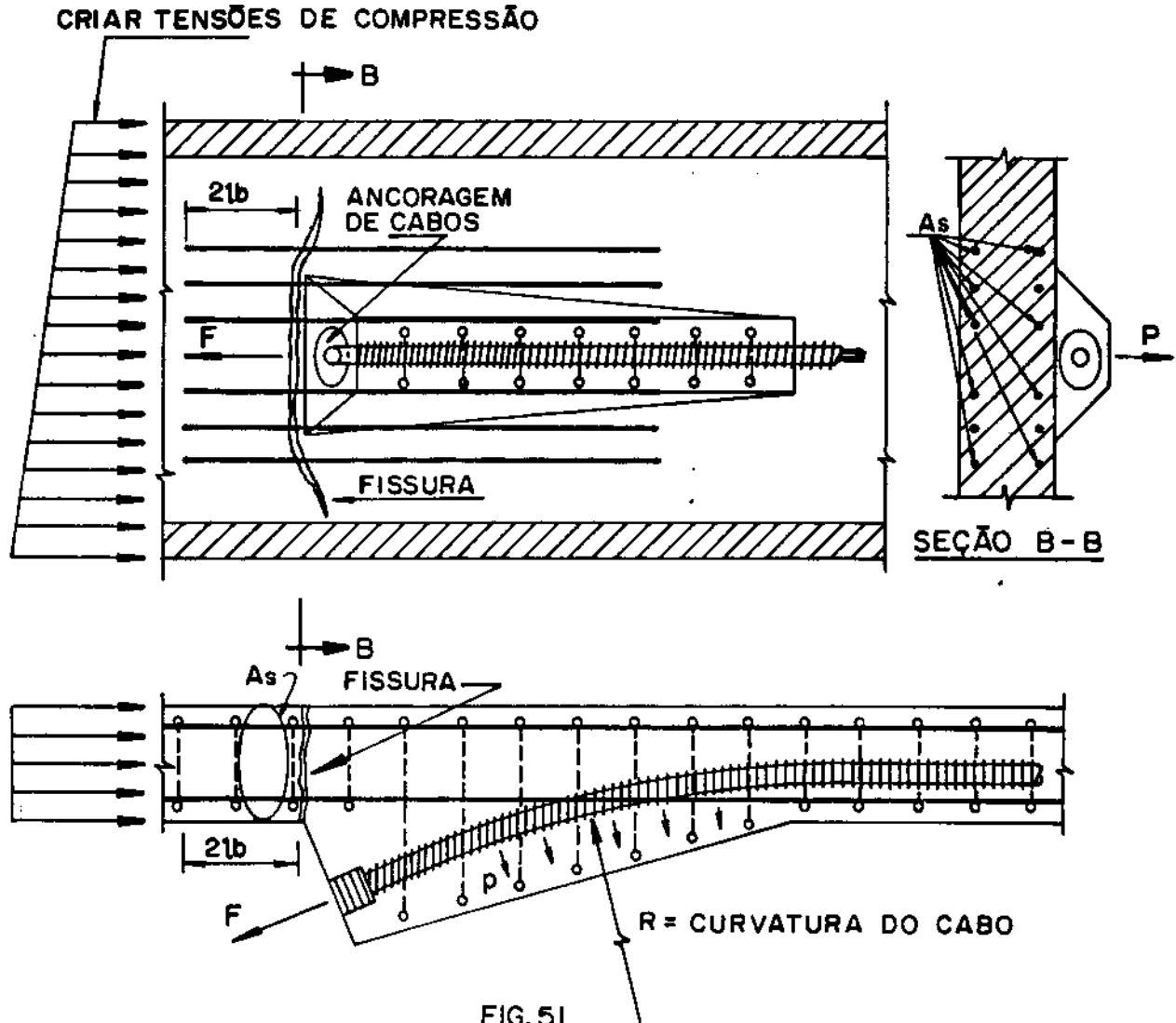
**TIPO DE ESTRUTURA:**

Estruturas de concreto protendido com cabos ancorados lateralmente nas vigas ou lajes.

**FISSURAÇÃO:**

Fissuras logo atrás das ancoragens dos cabos.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:**

A introdução da força  $F$  no meio da placa produz tensões elevadas de tração, logo atrás das ancoragens; ver Leonhardt [4] volume 2. Essa força atrás das ancoragens pode atingir 60% da força  $F$ .

**SOLUÇÃO:**

A colocação da armadura  $A_s$  dimensionada para a força  $60\%F$  e ancorada num comprimento de cerca de  $2 \times lb$  ( $lb = 60 \cdot \phi$ ) evita a fissuração exagerada atrás da ancoragem.

**OBSERVAÇÃO:**

A melhor solução é protender os demais cabos numa sequência tal que produzam na seção BB uma tensão de compressão elevada antes de ser protendido o cabo com saída lateral.

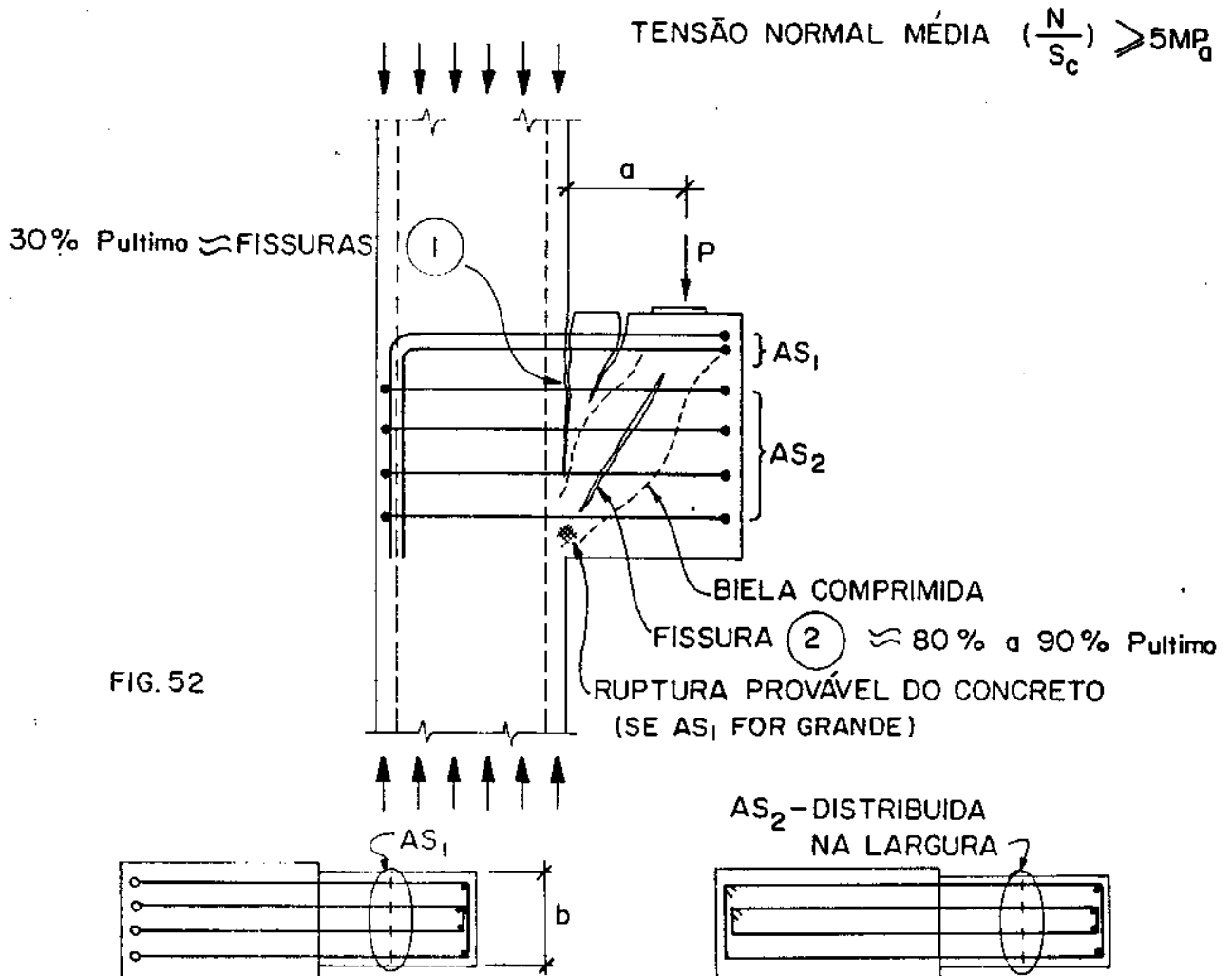
Exemplo nº 52

**TIPO DE ESTRUTURA:**

Consolos curtos ( $0,50 \leq a/d \leq 1,0$ ) em pilares com força normal elevada (tensão normal média  $\geq 5 \text{ MPa}$ )

**FISSURAÇÃO:** Fissura de flexão junto à face do pilar e fissura de fendilhamento inclinada no consolo.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A fissura 1 se deve à flexão na seção de engaste e surge para uma carga cerca de 30% P ruptura. A fissura 2 se deve ao fendilhamento da biela comprimida e surge para uma carga cerca de 80 a 90% de P último.

**SOLUÇÃO:** A fissura 1 é reduzida pelo aumento da armadura As1. A fissura 2 pode ser reduzida com armadura As2 adequada. Sugerimos

$\frac{As_2}{b \cdot x \cdot d} = \frac{f_{ctk}(95\%)}{f_{yk}}$  para evitar a ruptura brusca da biela quando o consolo é super armado.

**OBSERVAÇÃO:** Para consolos projetados com os concretos comuns com  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$  e  $f_{ctk}(95\%) = 2,8 \text{ MPa}$ , e armados com o aço CA50, com  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ , teremos  $\frac{As_2}{b \cdot x \cdot d} = 0,6\%$ .



Exemplo nº 53

**TIPO DE ESTRUTURA:**

Estruturas em pórtico de concreto armado.

**FISSURAÇÃO:**

Fissuras inclinadas no pilar.

**ESQUEMA:**

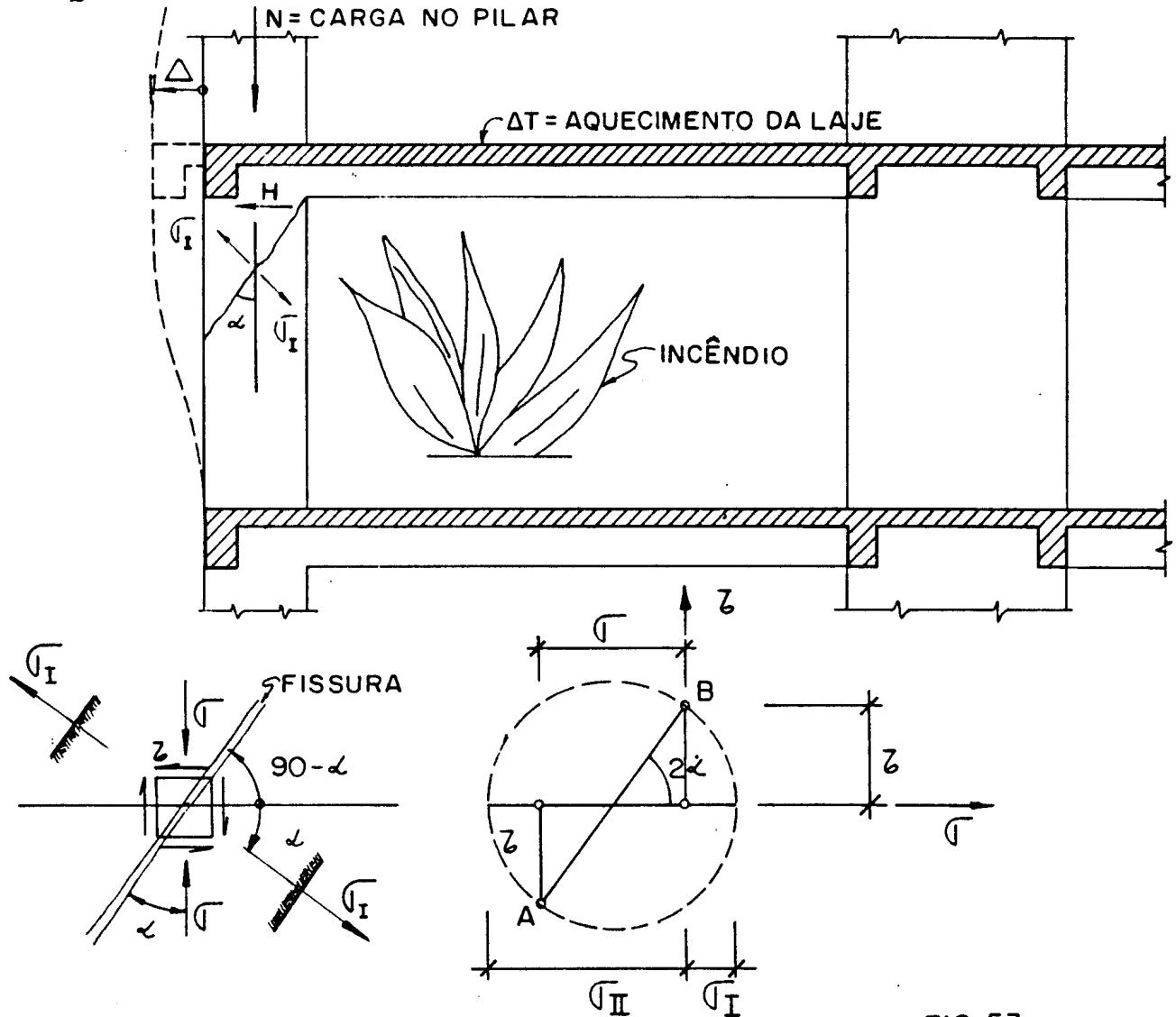


FIG. 53

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:**

A causa da fissuração é o aquecimento da laje devido a um incêndio. O deslocamento imposto ao pilar dá origem à força horizontal  $H$  e a tensões de cisalhamento. A composição das tensões de cisalhamento devidas a  $H$  e das tensões normais devidas à  $N$  define o ângulo da fissura.

**SOLUÇÃO:**

A solução nesse caso é encamisar o pilar restabelecendo a continuidade da estrutura conforme indicado por Prof. J.L. Cardoso [30].

**OBSERVAÇÃO:**

Um dos maiores riscos de incêndio é justamente a ruptura dos pilares devida ao superaquecimento das lajes.

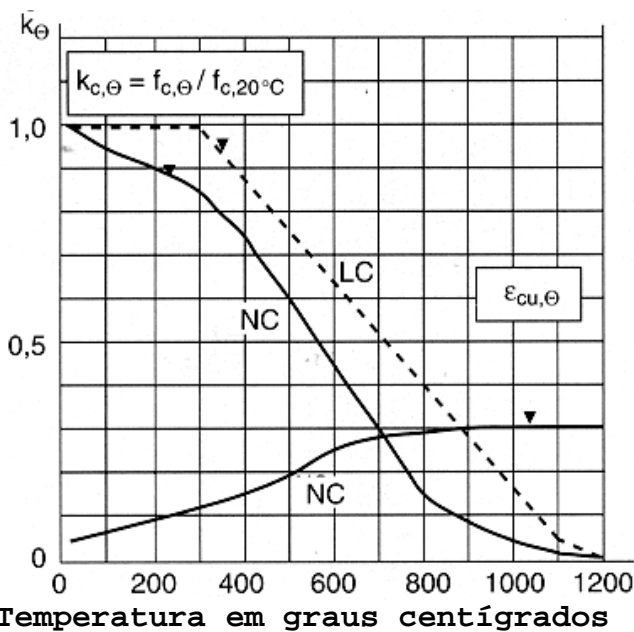
**Exemplo 53 ( continuação )**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Estruturas de prédio em pórtico de concreto armado.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras inclinadas no pilar



- **Foto:** Incêndio de um prédio apresentando fissura no pilar.
- Além da fissuração causada pela dilatação da laje, o concreto do pilar perde resistência devido ao calor do incêndio.



Temperatura em graus centígrados

NC = concreto normal

LC = concreto leve

← O gráfico mostra a variação da resistência do concreto com a temperatura do concreto durante o incêndio.

$f_{c,\theta}$  = resistência do concreto à

temperatura de  $\theta^\circ\text{C}$

$f_{c,20^\circ\text{C}}$  = resistência do concreto à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ .

Em incêndios de prédios de escritórios a temperatura pode atingir  $600^\circ\text{C}$  nos pilares da periferia e  $750^\circ\text{C}$  nos pilares internos.

Para essa temperatura de  $750^\circ\text{C}$ , a resistência do concreto fica reduzida a 20% da resistência normal a  $20^\circ\text{C}$ . (ver gráfico)

**SOLUÇÃO:** Após o incêndio, encamisar os pilares com concreto novo, de modo a restaurar a seção útil do pilar.

**PREVENÇÃO:** Antes de incêndios, envolver os pilares com material isolante térmico para evitar o aquecimento do concreto dos pilares.

Exemplo nº 54

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas de concreto armado, engastadas em estruturas maciças.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nos engastes das vigas.

**ESQUEMA:**

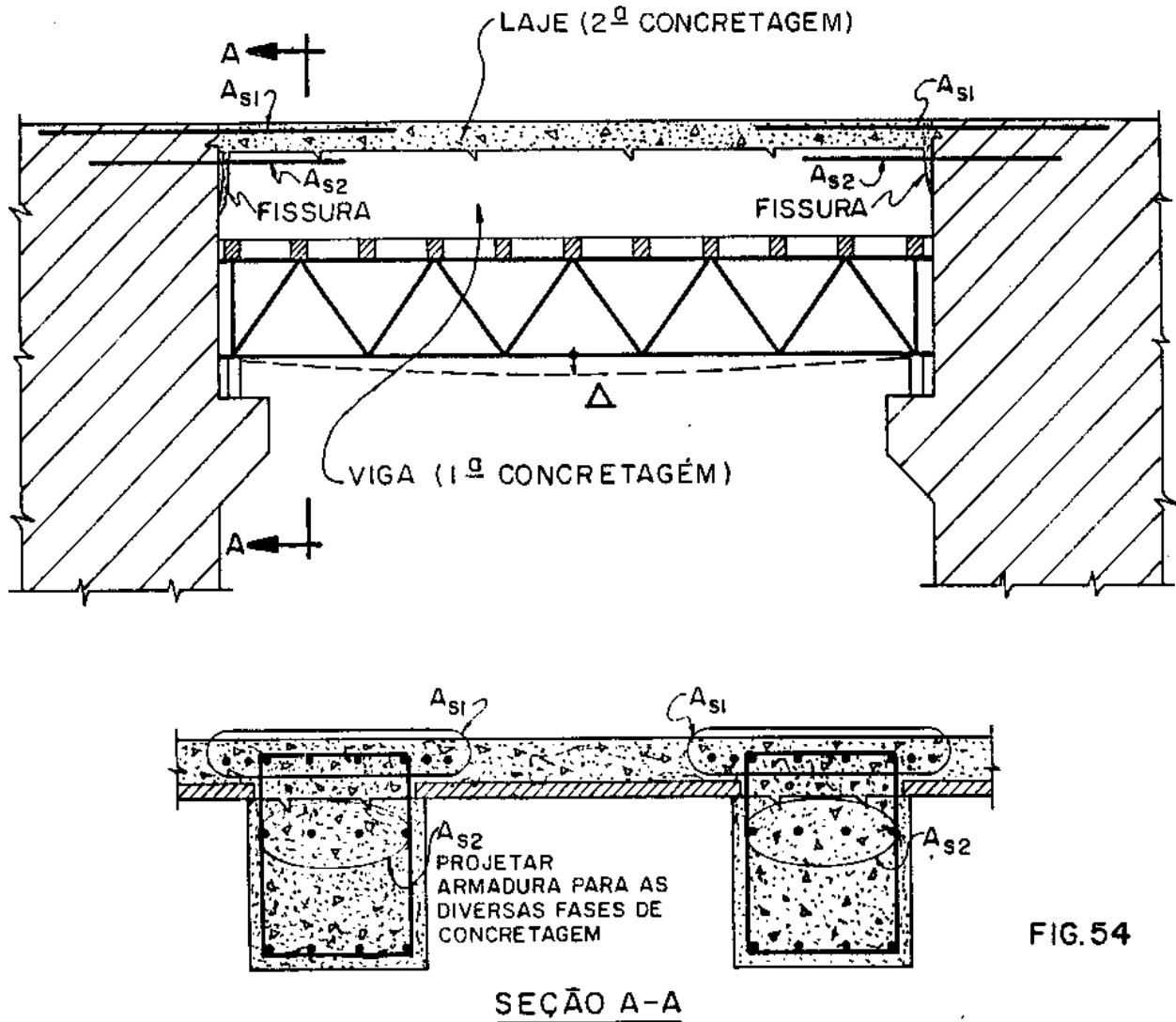


FIG.54

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A deformação da treliça de escoramento permite uma rotação da viga de concreto nos engastes antes que a laje superior seja concretada. Como a armadura da laje superior ( $A_{s1}$ ) é que garante o engastamento nos maciços extremos, surgem fissuras durante a fase de construção. (ver exemplo nº 17)

**SOLUÇÃO:** Projetar armaduras ( $A_{s2}$ ) na seção de engaste para as diversas fases da execução ou realizar a concretagem completa da viga e da laje superior a partir do meio do vão no sentido dos 2 engastes.

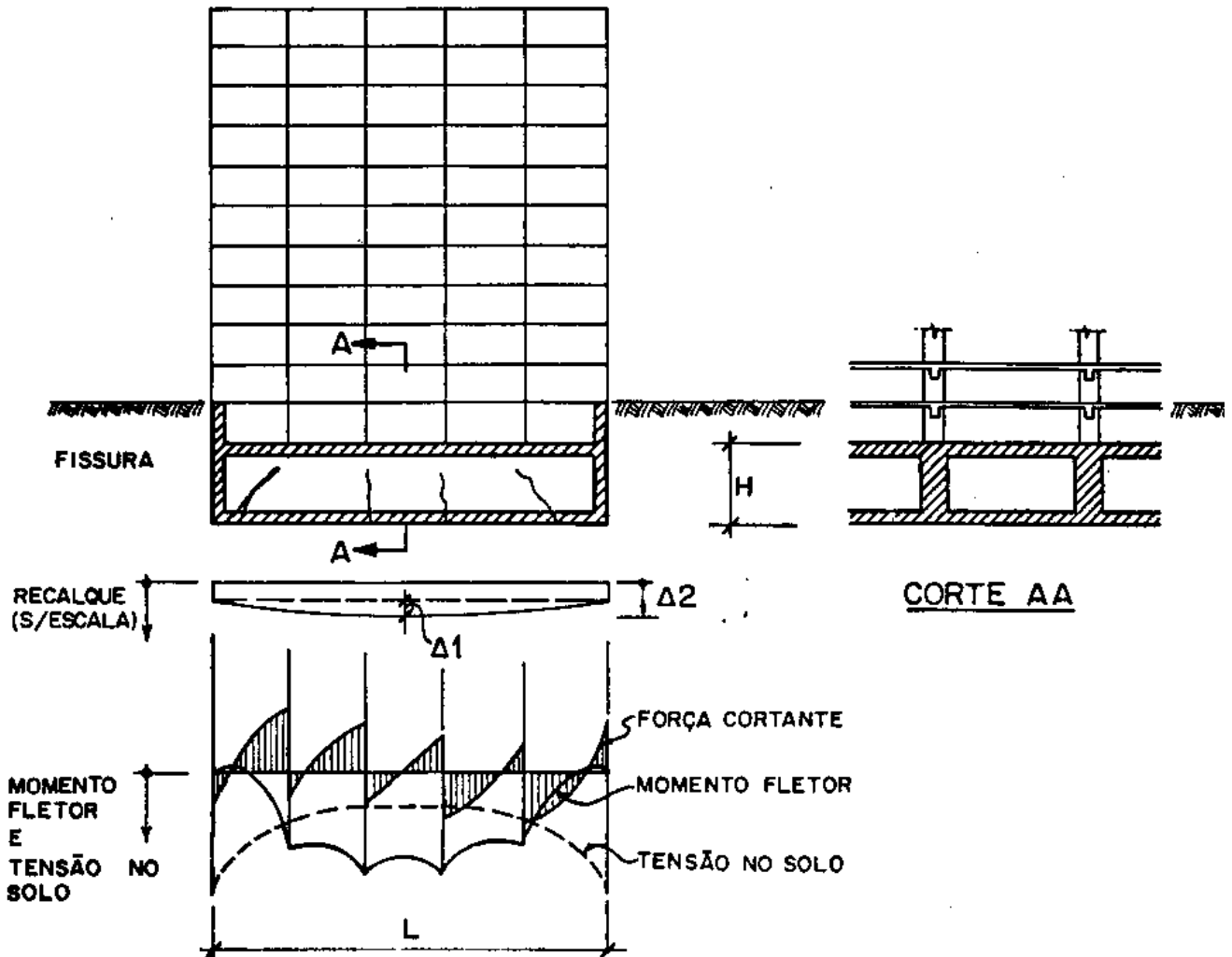
**OBSERVAÇÃO:** Ao efeito das rotações dos apoios se soma o efeito da retração térmica do concreto o que agrava a fissuração.

Exemplo nº 55

**TIPO DE ESTRUTURA:** Edifícios com fundação em Radier

**FISSURAÇÃO:** Fissuras de flexão no centro e fissuras inclinadas junto às extremidades do Radier.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A interação estrutura x solo depende da relação entre a deformabilidade da estrutura e a do solo.

Se a relação  $\Delta_1/\Delta_2$  é pequena a fundação funciona como rígida e as tensões no solo apresentam variação semelhante à indicada na figura. Os esforços internos (momento fletor e força cortante) se mal avaliados resultam em armadura inadequada e fissuras com grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Se  $\Delta_1/L \leq 0,15.L/H(10E-3)$  a fissuração é limitada ( $w \leq 0,1mm$ ) e a fundação poderá ser recuperada tomando-se as fissuras.

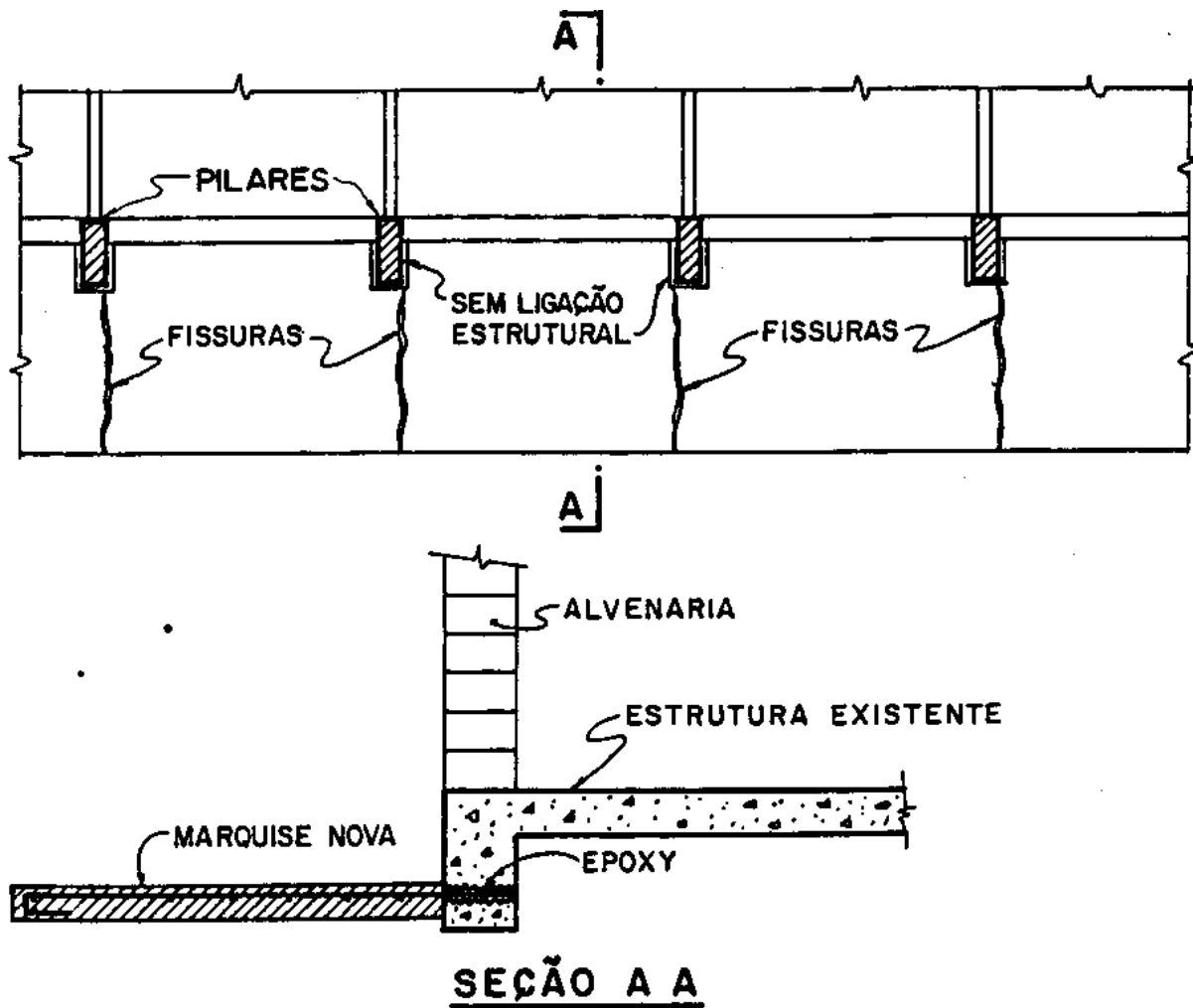
**OBSERVAÇÃO:** Se  $\Delta_1/L \geq 0,45.L/H.(10E-3)$  a fissuração é intensa ( $w \geq 0,3mm$ ) e a fundação está próxima da ruptura e um reforço estrutural é indispensável.

Exemplo n° 56

**TIPO DE ESTRUTURA:** Marquise de concreto armado, engastada, "a posteriori", em estrutura pré-existente.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras transversais à marquise, junto aos pilares pré-existentes.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A retração térmica do concreto, nos primeiros dias após a concretagem, gerou tensões elevadas de tração, pois a estrutura pré-existente impediu os deslocamentos da marquise. (ver exemplo n° 3) Junto aos pilares, onde a marquise nova ficou recortada e onde, em consequência, houve concentração de tensões, surgiram fissuras em toda a espessura da marquise.

**SOLUÇÃO:** Uma armadura adequada reduziria a abertura das fissuras. (ver exemplo n°6). Uma proteção térmica da marquise nos primeiros dias, impedindo o resfriamento rápido do concreto, reduziria as tensões da retração e consequentemente a fissuração.

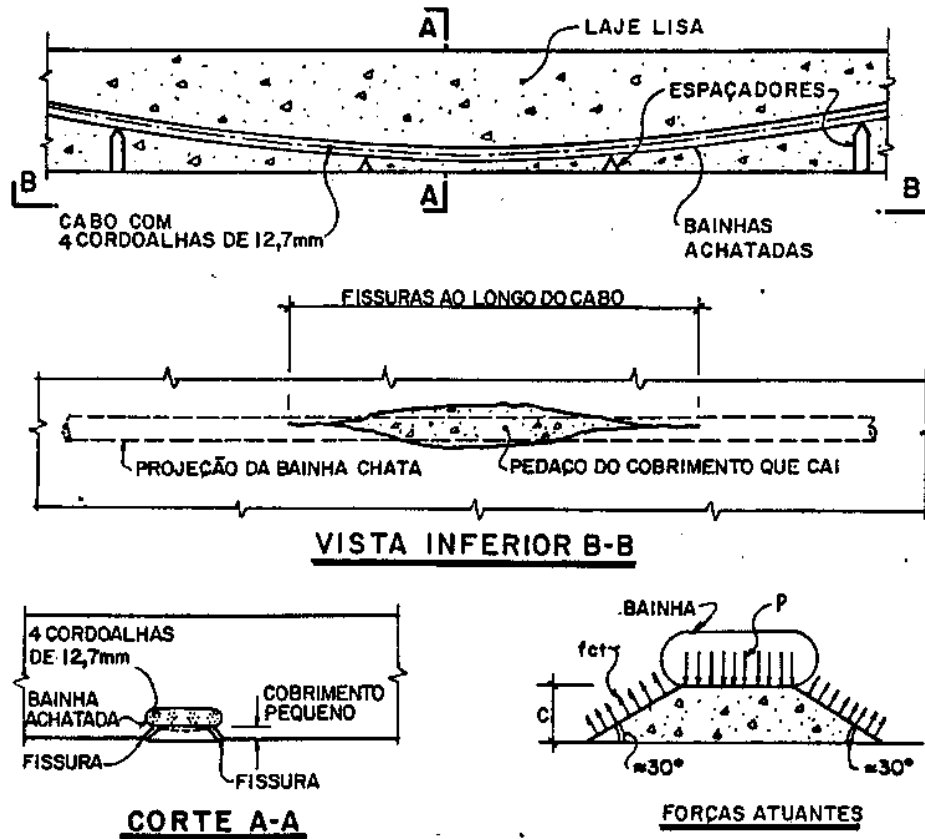
**OBSERVAÇÃO:** Esse tipo de problema é apenas uma variação do tema básico "Retração impedida", já tratado nos exemplos n°2 e n°4.

Exemplo nº 57 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Laje lisa de concreto protendido

**FISSURAÇÃO:** Fissuras ao longo dos cabos de protensão com ruptura do cobrimento no trecho mais baixo dos cabos.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A injeção das bainhas com a água de limpeza ou com a nata de cimento sob pressão (p) produz uma deformação na bainha achatada. A bainha ao se deformar rompe o concreto do cobrimento se esse for muito pequeno.

**SOLUÇÃO:** Projetar um cobrimento mínimo adequado (3 a 4cm) e cuidar para que na execução ele não seja reduzido. Reduzir para isso o espaçamento entre os espaçadores para 50cm. Controlar com rigor a injeção de água de limpeza ou de nata de cimento nas bainhas mantendo a pressão dentro dos níveis recomendados (1,0 MPa)

**OBSERVAÇÃO:** Para um concreto com  $f_{ck} = 25$  MPa, considerando as cargas atuantes no cobrimento (ver figura acima), podemos estimar a pressão admissível (p) na injeção.

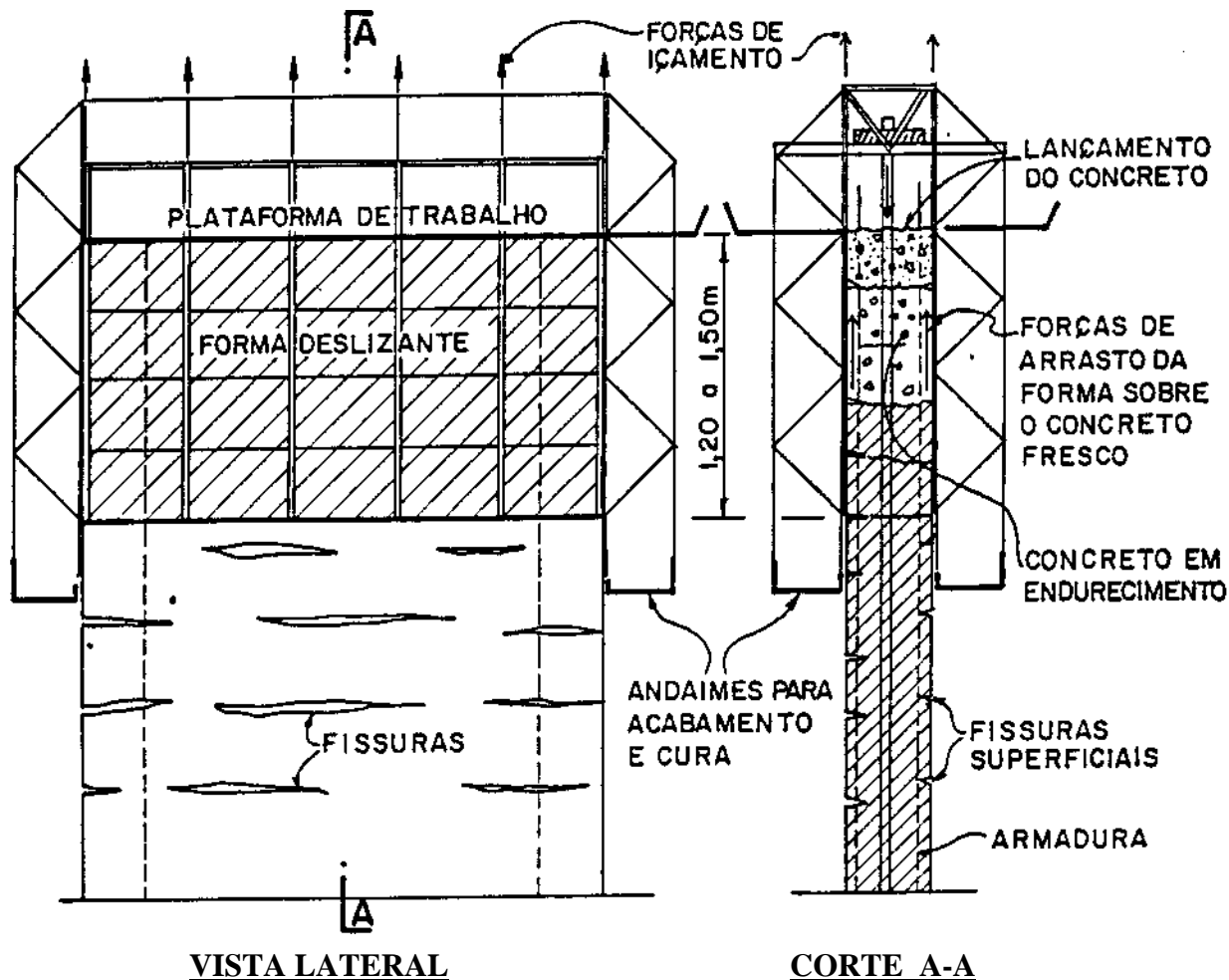
Bainha chata com 4 cordoalhas de 12,5 mm	cobrimento	2cm	1cm	0,5 cm
	pressão admissível na injeção	2,0 MPa	1,0 MPa	0,5 MPa

Exemplo nº 58 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Paredes e pilares executados com formas deslizantes.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras horizontais no concreto de cobrimento das paredes

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As forças de arrasto da forma sobre o concreto fresco, com dosagem inadequada, causam fissuras horizontais junto à superfície das paredes.

**SOLUÇÃO:** É necessária uma ajustagem perfeita de todos os fatores influentes no processo: dosagem de concreto, slump, aditivos, tempo de pega, mistura, lançamento, vibração, tipo de forma, velocidade de subida das formas e capacitação da mão de obra.

**OBSERVAÇÃO:** É de se alertar que a seção com maiores esforços solicitantes, na base da estrutura, é a primeira a ser executada e portanto a obra só pode ser iniciada se todos esses fatores já estiverem previamente testados.

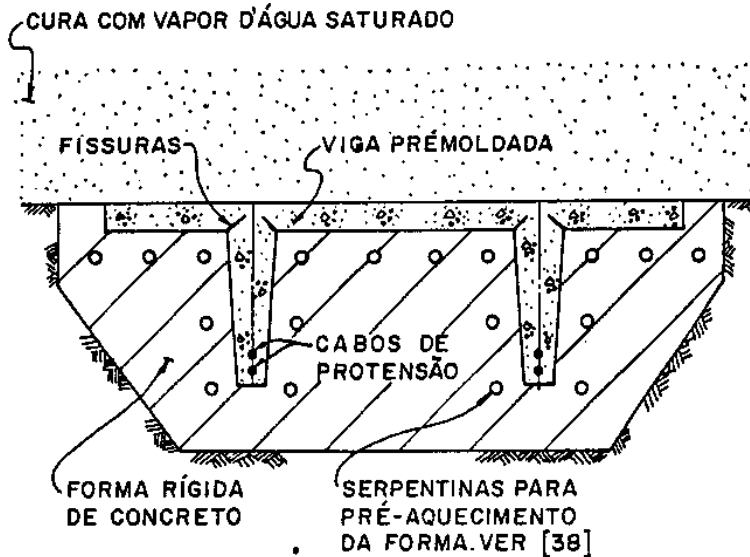
Deve-se prever para efeito de cálculo estrutural uma redução da espessura efetiva da parede em 5cm, em cada face, pois as injeções para preenchimento das fissuras não garantem a eficiência estrutural de toda a espessura da parede.

Exemplo nº 59:

**TIPO DE ESTRUTURA :** Vigas "Pi" premoldadas em concreto protendido executadas em fôrmas rígidas de concreto.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras ao longo das ligações laje x nervuras.

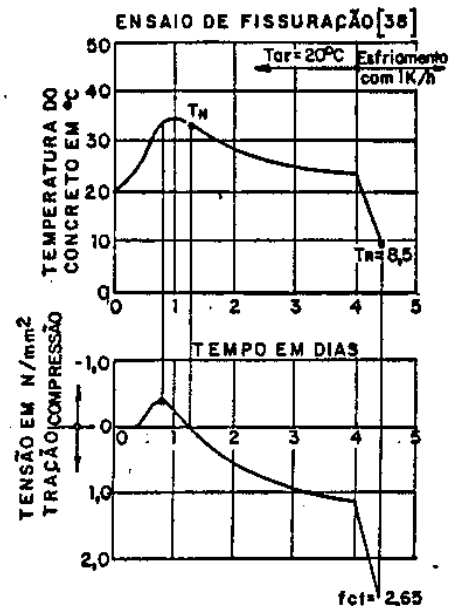
**ESQUEMA :**



NO ENSAIO DE TENDÊNCIA À FISSURAÇÃO DOS CIMENTOS [38] HÁ 4 CLASSES:

CLASSE	TEMPERATURA DE FISSURAÇÃO $T_n$ NO ENSAIO PADRÃO [°C]	TENDÊNCIA A FISSURAÇÃO
A	ATÉ 10	PEQUENA
B	11 A 16	MÉDIA
C	17 A 22	ALTA
D	ACIMA DE 22	MUITO ALTA

USAR CIMENTO DA CLASSE A e B COM PEQUENA E MÉDIA TENDÊNCIA À FISSURAÇÃO.



$T_n$  = TEMPERATURA DE TENSÃO NULA.

$T_r$  = TEMPERATURA DE FISSURAÇÃO.

$f_{ct}$  = RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO.

**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A laje, sendo em geral muito fina, perde rapidamente, para o meio ambiente, ou para a própria fôrma fria, o calor gerado pela hidratação do cimento. Esse encurtamento térmico do concreto da laje é impedido pela fôrma rígida. Nos cantos da fôrma surgem concentrações de tensões de tração na viga premoldada, e em consequência as fissuras observadas.

**SOLUÇÃO :** Usando-se uma fôrma rígida é difícil liberar os encurtamentos de origem térmica. É possível, no entanto, não deixar a peça de concreto esfriar antes de ser desformada.

Para isso deve-se manter a superfície da laje protegida contra o vento e não usar água fria para a cura.

O ideal é fazer uma cura a vapor e/ou aquecer a fôrma com serpentina embutidas, ver [38], até a desforma da viga "Pi".

**OBSERVAÇÃO :** Essas fissuras devidas à retração térmica impedida do concreto tem sempre um bom remédio:

- 1 - Executar o concreto frio.
- 2 - Usar concreto com baixa temperatura de fissuração: ver [38].
- 3 - Durante a cura mantê-lo protegido e quente usando cura a vapor ou uma fôrma aquecida [38], até a desforma.

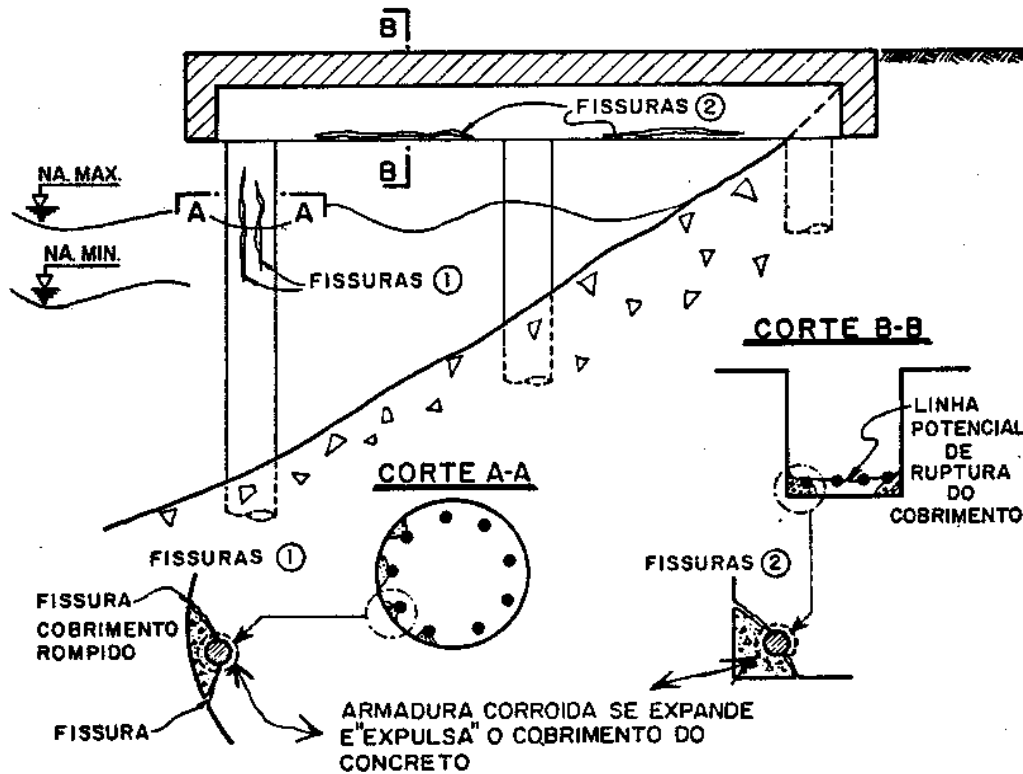


Exemplo nº 60 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estruturas em concreto armado dentro do mar ou próximas ao mar.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras ao longo das armaduras com ruptura e desprendimento do concreto do cobrimento.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Os ions cloreto da água do mar penetram no interior do concreto através dos poros (difusão) e destroem a camada passiva que protege as barras de aço. A partir desse instante a corrosão das barras tem início.

Para a corrosão do aço são indispensáveis o oxigênio (do ar) e a água. Por esse motivo a corrosão é intensa na zona de variação do nível d'água (caso dos pilares) ou na zona da estrutura com "respingo" (caso das vigas).

**SOLUÇÃO:** Executar a obra com:

- Espessura adequada do cobrimento (5 cm).
- Alto teor de cimento.
- Baixo fator água/cimento ( $A/C \leq 0,45$ ).
- Lançamento controlado do concreto (sem segregação do agregado).
- Adensamento vibratório controlado.
- Cura cuidadosa e prolongada.

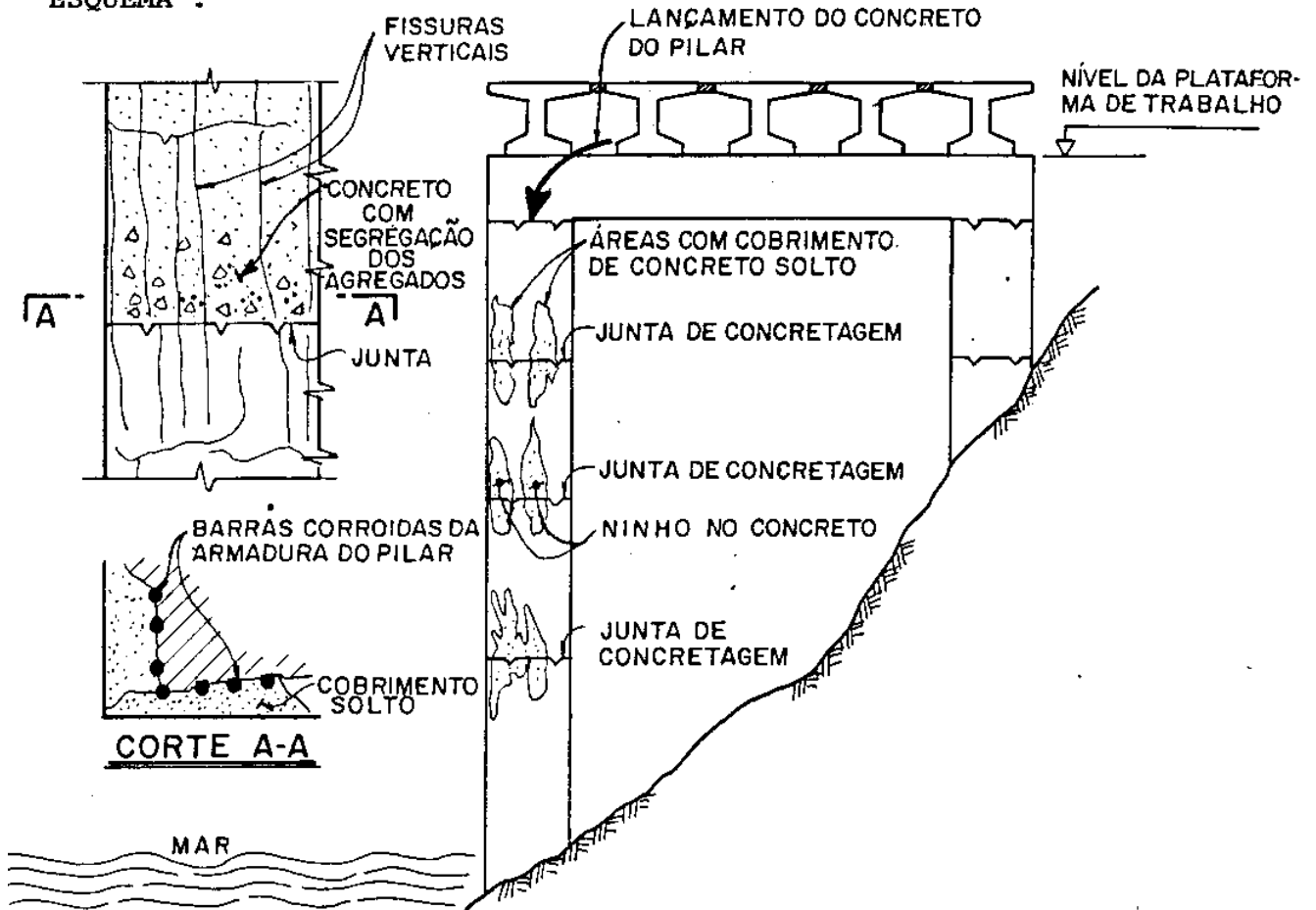
**OBSERVAÇÃO:** Todos os cuidados acima indicados se traduzem em: Cobrimento grande com um concreto "impermeável". Essas recomendações, em geral, valem para as obras situadas na orla marítima.

Exemplo nº 61 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Viaduto em concreto protendido em encosta de difícil acesso próxima ao mar.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras paralelas às arestas do pilar ,a partir das juntas de concretagem , acompanhadas do desprendimento do cobrimento de concreto.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Devido à dificuldade de acesso o concreto é lançado na forma em "queda livre" de grande altura.

Isso resulta na segregação dos agregados graudos, criando-se "ninhos" de concreto muito poroso que permitem o ataque rápido do meio ambiente salino agressivo às armaduras.

As barras corroídas se expandem e rompem o concreto do cobrimento, acelerando ainda mais a corrosão de todas as barras da armadura.

**SOLUÇÃO :** São fundamentais para a boa execução dos pilares o tratamento adequado da junta de concretagem e o respeito ao limite de altura para lançamento em "queda livre" do concreto na forma . Considerando esse limite como sendo de 2.0 metros (NBR-6118), são indispensáveis janelas nas formas ,para o lançamento e o adensamento adequados do concreto.

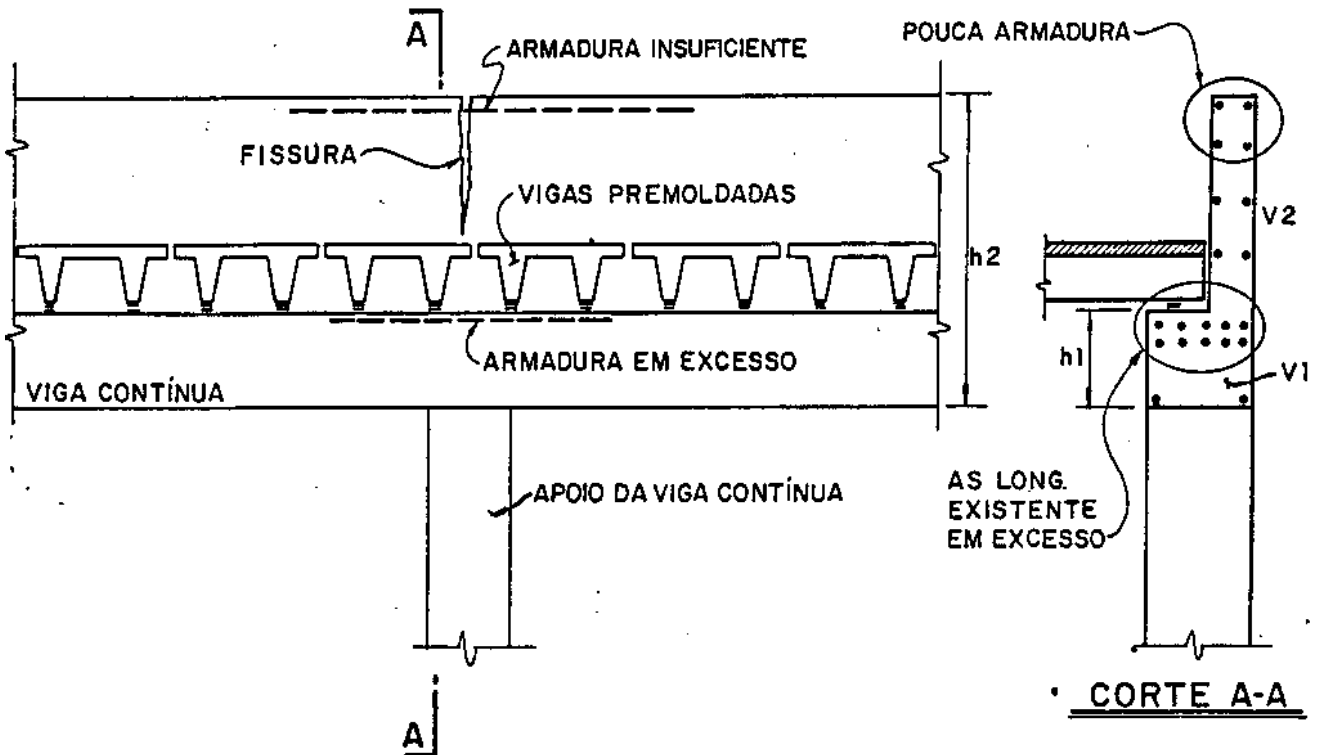
**OBSERVAÇÃO :** Viadutos próximos ao mar, com pilares mal concretados, são alvo fácil da agressão do meio ambiente salino e tem se tornado uma rotina muito cara recupera-los.

Exemplo nº 62:

**TIPO DE ESTRUTURA:** Viga contínua de concreto armado com guarda-corpo incorporado na estrutura.

**FISSURAÇÃO:** Fissura vertical no guarda-corpo na seção do apoio.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A não consideração do guarda-corpo (V2) no cálculo da estrutura conduz a uma armadura longitudinal de flexão, sobre os apoios, somente colocada na viga V1. A flexão do conjunto (V1+V2) produz, no entanto, tensões de tração no bordo superior do guarda-corpo, que, não tendo armadura suficiente apresenta fissuras de grande abertura.

**SOLUÇÃO:** Calcular a viga com a seção total (V1+V2) incluindo o guarda-corpo e colocar a armadura longitudinal de flexão também no guarda-corpo.

Caso o guarda-corpo somente seja executado após o carregamento da viga V1, faz-se uma análise em 2 fases:

1ª : Viga V1 para a fase de construção.

2ª : Conjunto (V1 + V2) para a situação definitiva da estrutura.

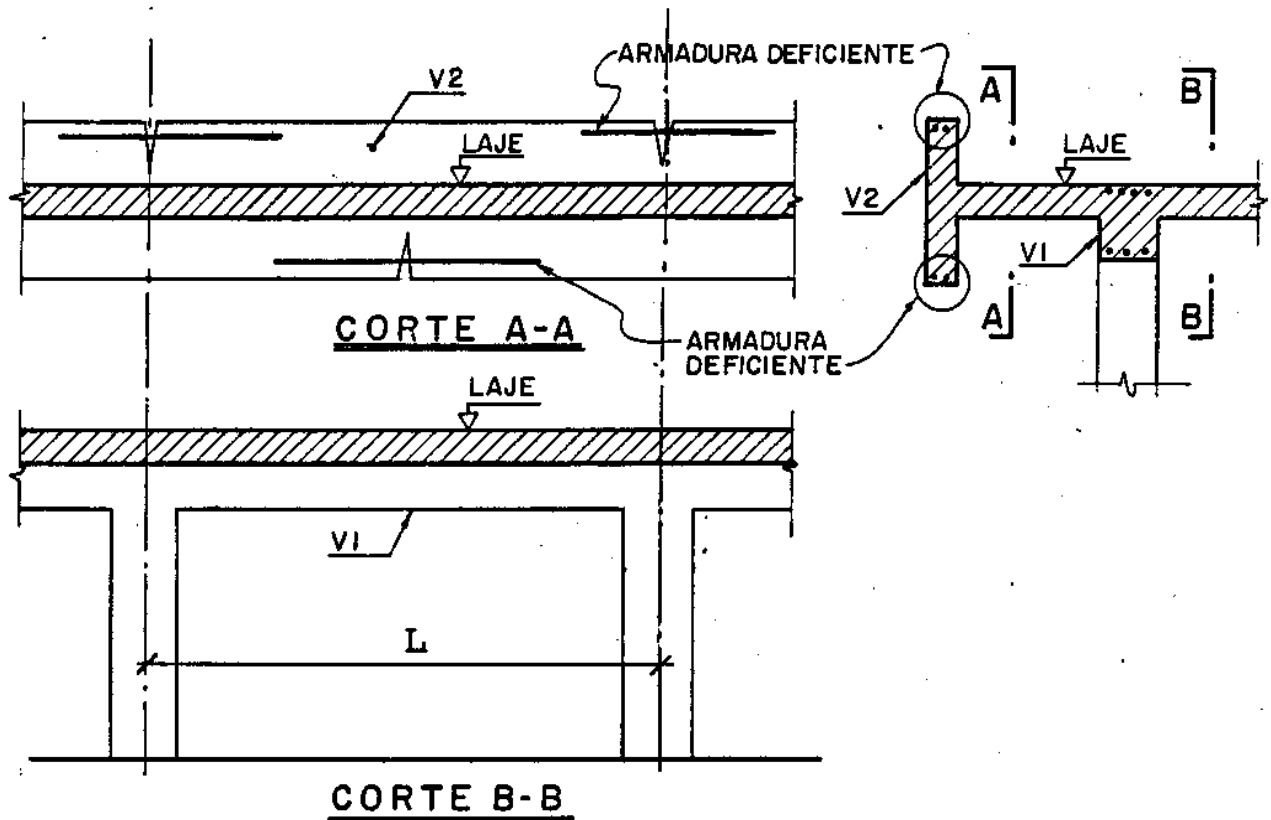
**OBSERVAÇÃO:** Uma alternativa muito usada é criar previamente juntas verticais, só no guarda-corpo, sobre os apoios da viga de modo a evitar o surgimento posterior das fissuras.

Exemplo nº 63.

**TIPO DE ESTRUTURA :** Viga contínua (V2 na fig. abaixo) na periferia de um piso em concreto armado, funcionando como "BRISE SOLEIL", sem apoio direto em pilares.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras verticais de flexão como se a viga estivesse diretamente apoiada nos pilares.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** O funcionamento da estrutura como um conjunto impõe à viga da periferia (V2) deslocamentos verticais muito semelhantes aos da viga apoiada nos pilares (V1).

Surgem em consequência, na viga V2, curvaturas, momentos fletores e tensões de tração da flexão.

Seria uma "Flexão de compatibilidade".

Como no cálculo da armadura da viga V2 não se considerou essa flexão surgem as fissuras acima indicadas.

**SOLUÇÃO :** Considerar, para efeito de análise de esforços, a viga do bordo (V2) apoiada sobre apoios elásticos dispostos na mesma linha dos pilares (vão L).

A deformabilidade desses apoios seria aproximadamente a de uma faixa de laje em balanço com vão B e com largura B.

As faixas de laje em balanço, sobre os pilares, que funcionam estruturalmente como apoios do Brise Soleil, também devem ser armadas com armadura superior adequada.

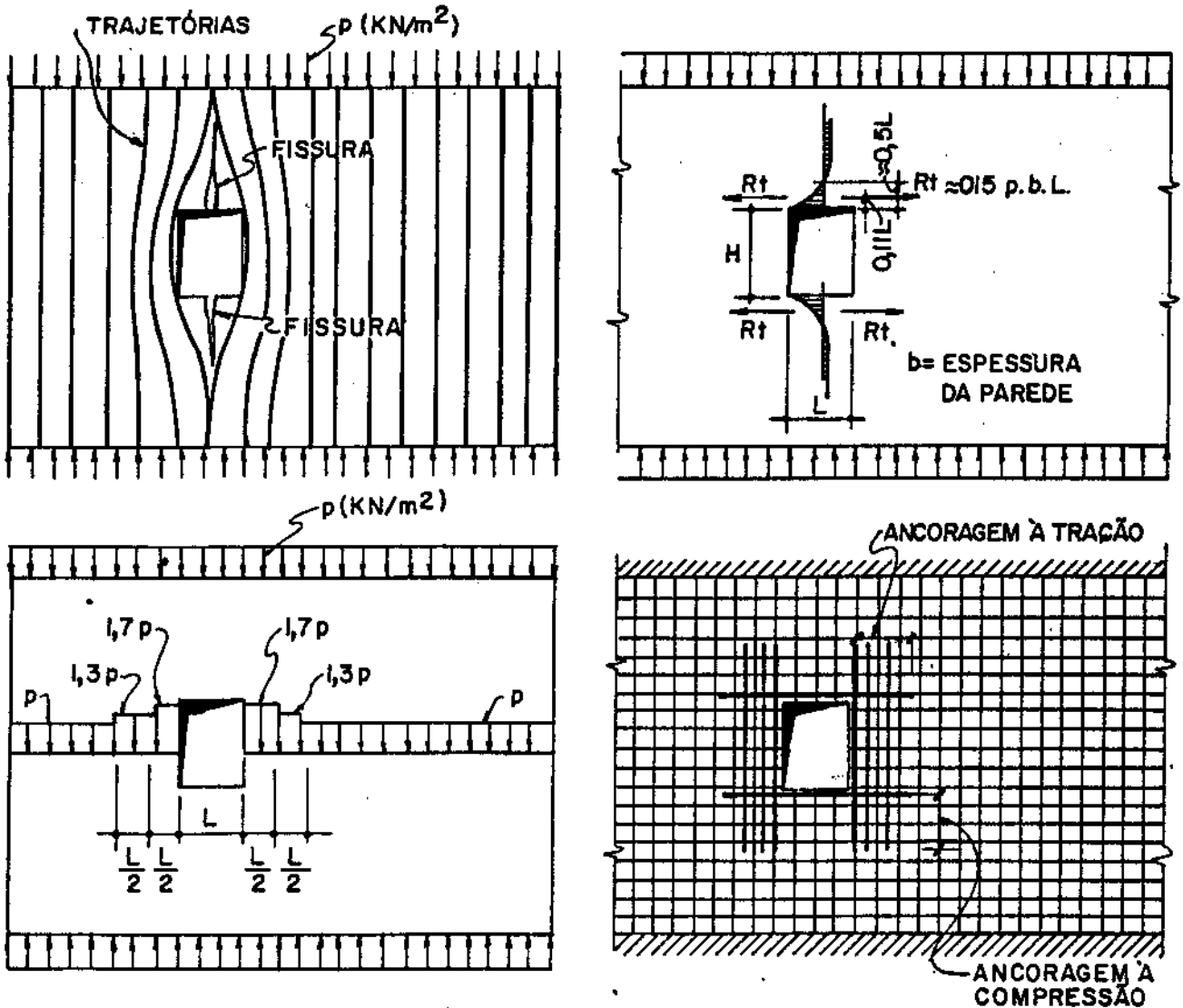
**OBSERVAÇÃO:** Este exemplo é muito semelhante ao exemplo nº 62.

Exemplo nº 64 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Parede de concreto armado com uma abertura e sujeita a elevada tensão de compressão.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras verticais acima e abaixo da abertura , aproximadamente no centro da abertura .

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O desvio das trajetórias de compressão causado pela abertura na parede gera tensões de tração nos bordos superior e inferior da abertura.

Quanto maior a tensão média de compressão na parede ( $p$ ), tanto maior será a força de tração resultante ( $R_t = 0,15 \cdot p \cdot b \cdot L$ ).

**SOLUÇÃO :** Colocar armadura horizontal nos bordos superior e inferior da abertura. Para manter pequena a abertura da fissura limitar a tensão de utilização do aço CA50 a 200 MPa .

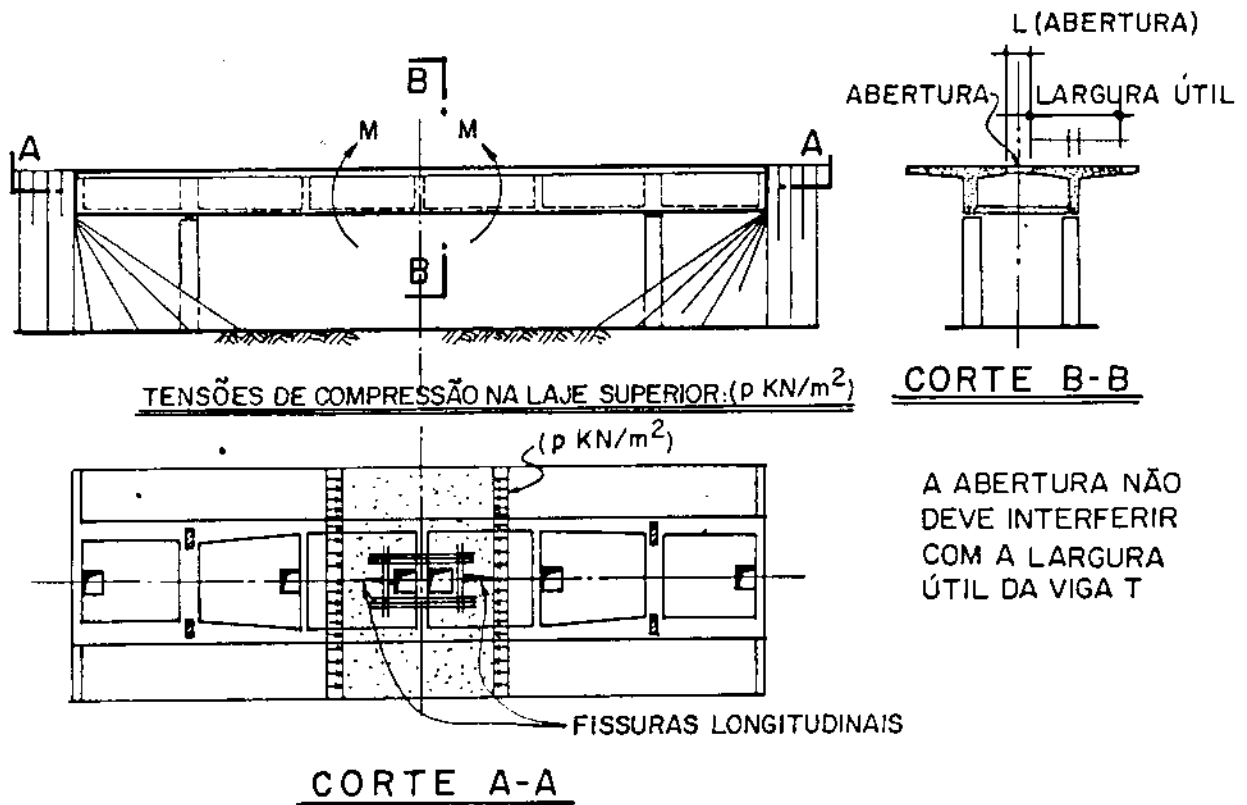
**OBSERVAÇÃO :** A tensão de compressão junto aos bordos verticais da abertura é muito maior que a tensão média (ver figura). É indispensável a verificação dessa concentração de tensão para evitar o esmagamento do concreto .

Exemplo nº 65 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Viaduto em concreto armado ou protendido com tabuleiro celular.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras longitudinais na laje comprimida pela flexão , aproximadamente no centro das aberturas usadas para retirada das formas internas de madeira.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** As aberturas na laje superior usadas para a retirada das formas internas causam o desvio das trajetórias de compressão (ver exemplo nº64 ).

Esse desvio gera tensões transversais de tração cuja resultante vale :  $R_t = 0,15 \cdot p \cdot e \cdot L$  onde:

p = Tensão de compressão longitudinal na laje (sem as aberturas).

e = Espessura da laje.

L = Largura da abertura (na direção transversal ao tabuleiro).

**SOLUÇÃO :** Devem ser colocadas armaduras transversais ao tabuleiro da ponte em cada face das aberturas para resistir à força  $R_t$ . Usar uma tensão limitada a 200 MPa nessas armaduras para evitar fissuração excessiva.

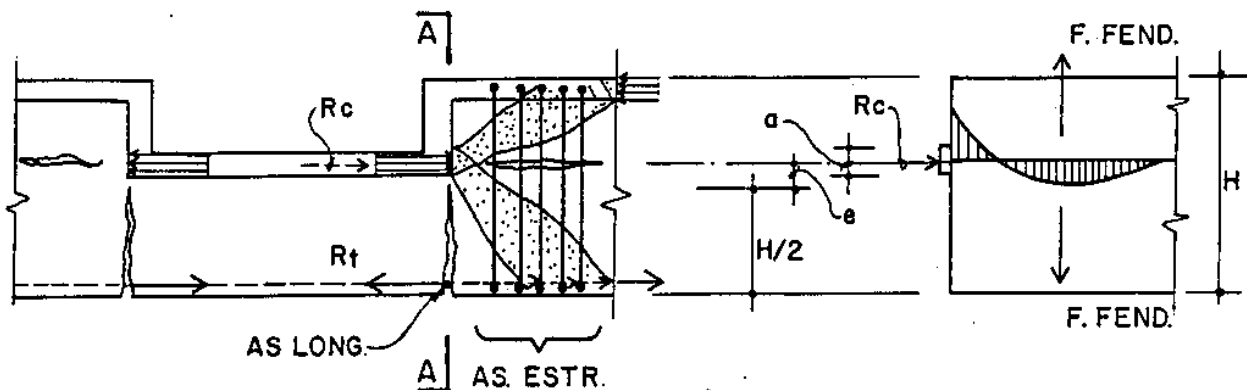
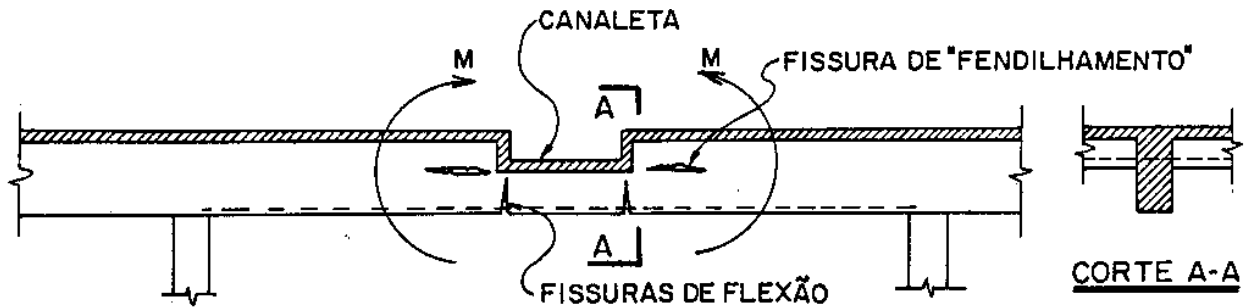
**OBSERVAÇÃO:** É necessário verificar também a concentração de tensões longitudinais de compressão nos bordos das aberturas. Aí surgem tensões de compressão iguais a  $1,7 \cdot p$  ( ver exemplo nº64 ).

Exemplo nº 66 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Vigas de concreto armado com rebaixo ( canaleta ) no trecho de momentos fletores positivos elevados e esforços cortantes pequenos.

**FISSURAÇÃO :** Fissura horizontal "em frente " ao fundo do rebaixo.

**ESQUEMA:**



**MODELO COM FISSURA: VER [34]**

(TRELIÇA)

**MODELO SEM FISSURA: VER [4].VOL.2**

(ELASTICIDADE)

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A força resultante de compressão ( $R_c$ ) devida à flexão da viga na seção "A" é introduzida a meia altura no trecho da viga com altura total (altura  $H$ ). A introdução dessa força gera tensões transversais de tração, i.e. o chamado fendilhamento.

**SOLUÇÃO:** Projetar armadura de estribos ( $As.estr.$ ) para resistir a essa força de fendilhamento ( $F.fend.$ ) que pode ser estimada como sendo :

Modelo sem a fissura (Elasticidade):  $F.fend. = 0,30 \times R_c$  ; [4 vol.2].  
 Modelo com a fissura (Treliza).... :  $F.fend. = 0,40 \times R_c$  ; [34].

Como  $R_c = R_t$  , pode-se usar  $As.estr. = 0,40 \times As.long.$  desde que ambas as armaduras sejam do mesmo aço.

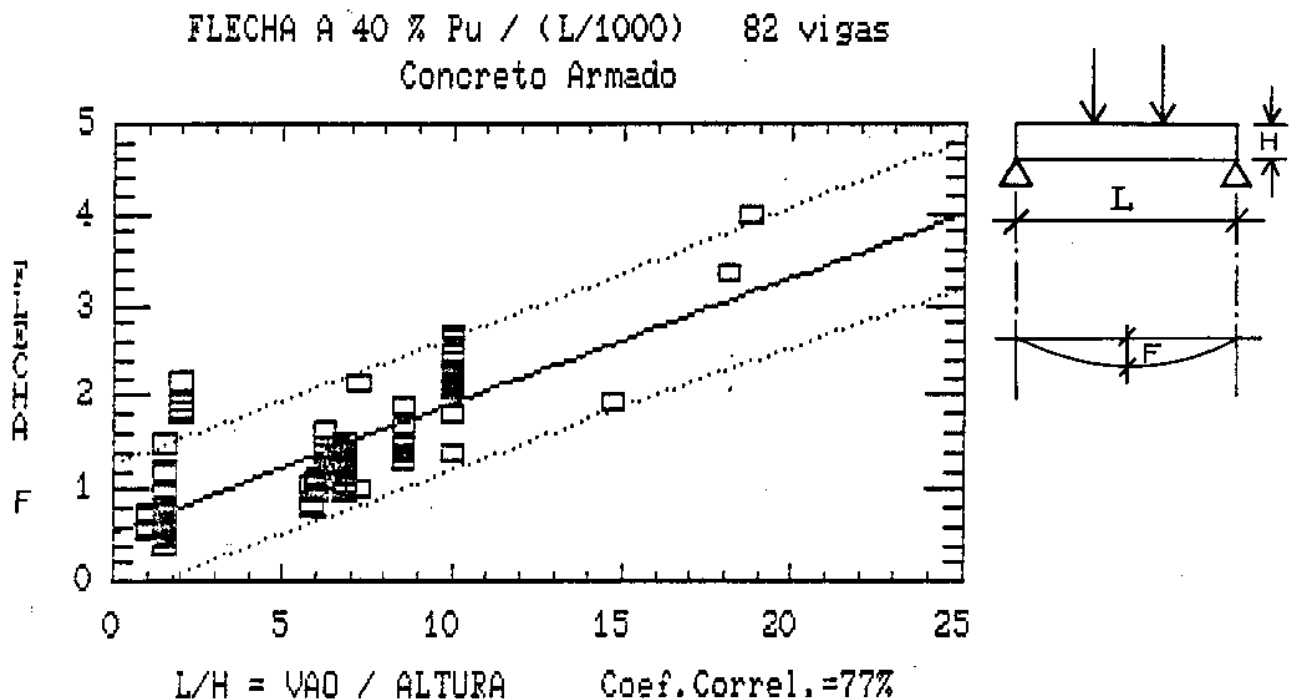
**OBSERVAÇÃO:**Exemplo: Armadura existente de flexão ;  
 $As.long. = 6$  ferros 12.5mm = 7,50cm<sup>2</sup>  
 Armadura necessaria de estribos de "fretagem";  
 $As.estr. = 0,40 \times 7.50cm^2 = 3,00cm^2$   
 Usar 5 estribos de 6,3mm = 3,11cm<sup>2</sup>

Exemplo nº 67

**TIPO DE ESTRUTURA** : Vigas de concreto armado ensaiadas em laboratorios com 1 ou 2 cargas concentradas ou ainda com carga distribuida (82 vigas).

**DEFORMAÇÃO** : Flechas para cargas atuantes iguais a 40% da carga de ruptura real (medida) da viga.  
 Além da fissuração a flecha é um bom indicador do funcionamento de uma estrutura.  
 Para obtermos uma ordem de grandeza da flecha de uma viga sob a ação da carga de "utilização" ( 40% Pu ) tabulamos as flechas medidas em 82 vigas cujos ensaios estão divulgados na literatura tecnica.

**ESQUEMA:**



**CAUSAS DA DEFORMAÇÃO:** A curvatura das vigas de concreto armado sob a ação da carga de "utilização" depende muito de estar ou não a viga fissurada .  
 Para uma carga de 40% Pu algumas vigas estão fissuradas, outras não.  
 Por isso é difícil "acertar" a flecha de uma estrutura.

**SOLUÇÃO** : Para uma dada relação L/h pode-se estimar a flecha provável para a carga de utilização (aprox. 40%Pu) usando-se a figura acima.

Em vigas contínuas é feita a soma das flechas dos trechos dos apoios (com curvatura para baixo) com as flechas dos trechos dos vãos (com curvatura para cima).

Contra-flechas para execução também podem ser estimadas com base nesses ensaios.

**OBSERVAÇÃO** : As vigas de concreto protendido em estado de utilização tem flechas menores que as vigas de concreto armado devido a ausência de fissuração, e, por isso, não foram incluídas na avaliação acima.



Exemplo nº 68

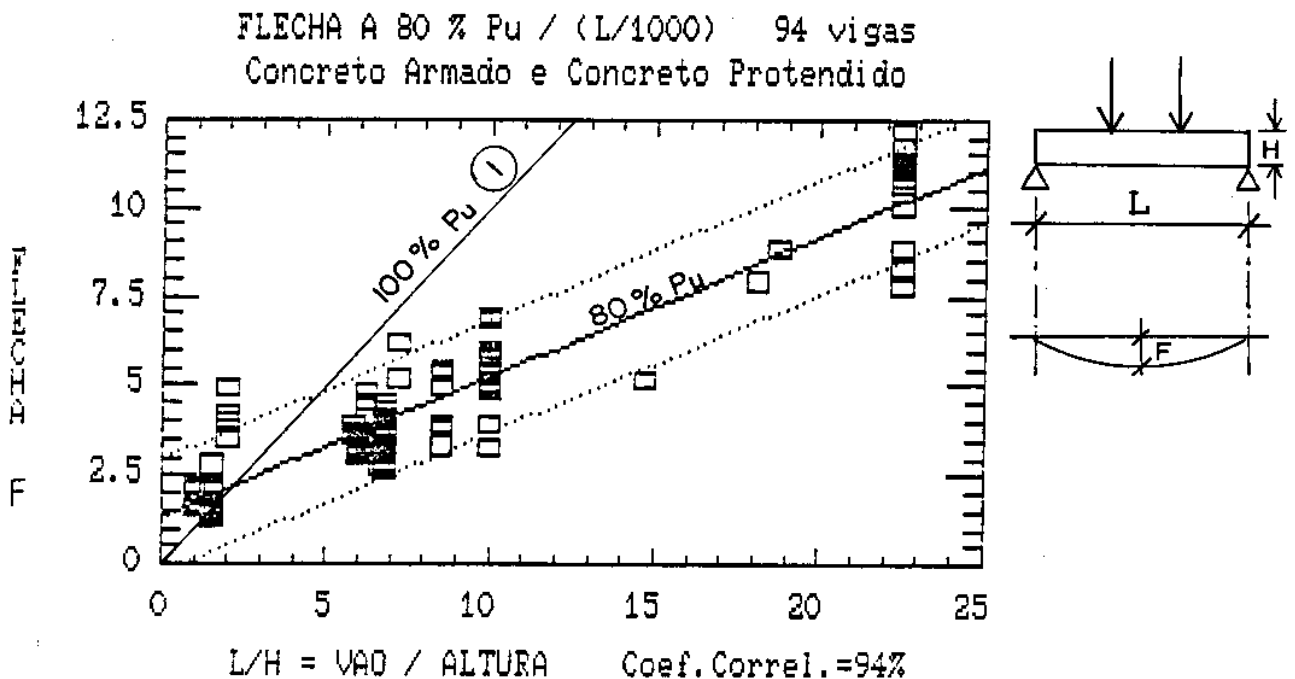
**TIPO DE ESTRUTURA :** Vigas de concreto armado e protendido ensaiadas em laboratorios com 1 ou 2 cargas concentradas ou ainda com carga distribuida (**94 vigas**).

**DEFORMAÇÃO :** Flechas para cargas atuantes iguais a **80%** da carga de ruptura real (medida) da viga .

A flecha é um indicador do estágio de carregamento a que está submetida uma estrutura.

Para obtermos uma ordem de grandeza da flecha de uma viga próxima à ruptura (**80% Pu**) tabulamos as flechas medidas em **94 vigas**, cujos ensaios estão divulgados na literatura técnica.

**ESQUEMA:**



**CAUSAS DA DEFORMAÇÃO:** A curvatura "C" numa viga de concreto armado, próxima do estado de ruptura de flexão, pode ser estimada em  $C=1/R = (e_c+e_y)/h$  onde :

$e_y$  = alongamento do aço.

$h$  = altura útil da viga.

Considerando a linha elástica de uma viga simples como sendo uma parábola chega-se à flecha ( f ) no meio do vão ( L ):

$$(f/L) = [(e_c+e_y)/8] * (L/h).$$

Com  $e_c=3,5 \times 10^{-3}$  e  $e_y=4,4 \times 10^{-3}$  (CA50), obtemos:

$$(f/L) = [ 1/1000 ] * (L/h),$$

indicada na figura como uma reta ① = "limite superior".

**SOLUÇÃO:** Dada uma relação L/h pode-se estimar a flecha indicativa de um estado iminente de ruptura (**80%Pu**). Caso a flecha observada na estrutura se aproxime do valor limite (ver figura acima) a estrutura deve ser recuperada .

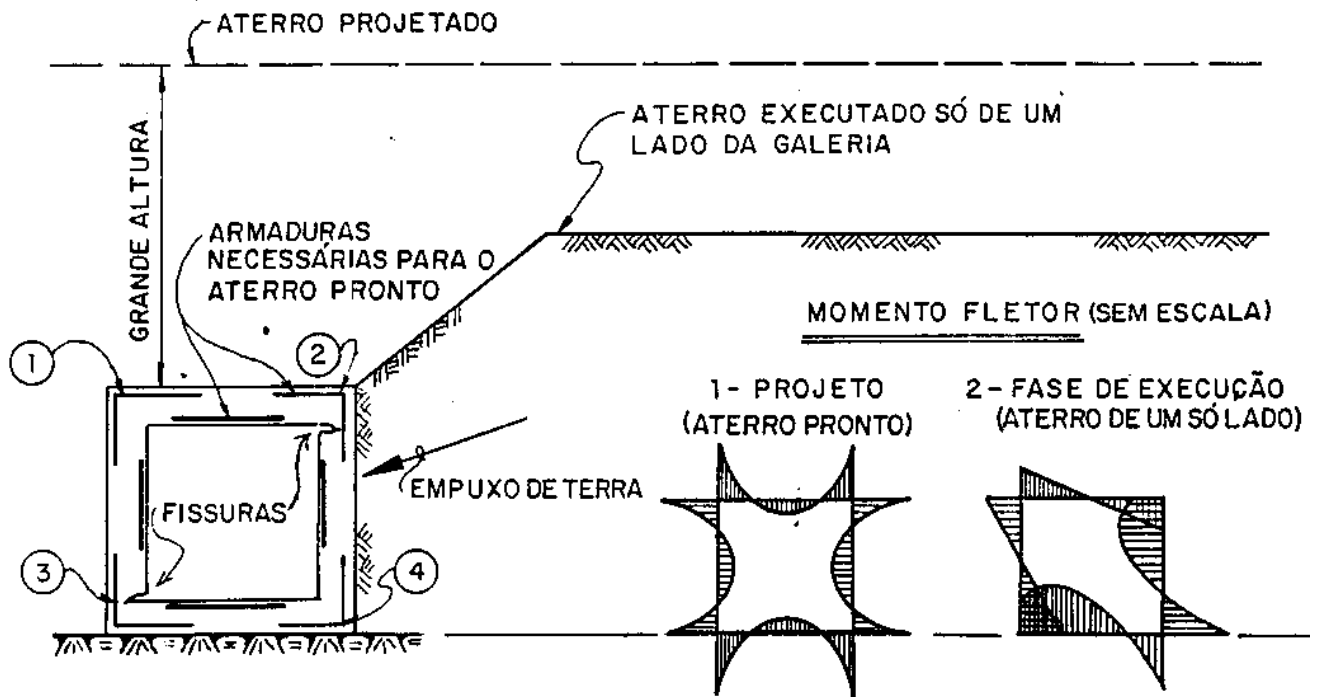
**OBSERVAÇÃO:** A dispersão dos resultados não impede que se obtenha da figura uma estimativa aceitável para as flechas de vigas próximas da ruptura.

Exemplo nº 69 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Galerias de concreto armado sob aterro de grande altura.

**FISSURAÇÃO :** Fissuração longitudinal na aresta interna do canto superior da galeria.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A galeria foi projetada para carregamentos simétricos do empuxo de terra.

Com a execução errada do aterro, sem equilibrar os empuxos de terra de cada lado da galeria, em todas as fases de execução, o momento fletor, que daí resulta (ver figura), traciona o lado interno do canto superior da galeria (canto nº2).

A armadura aí existente é em geral insuficiente pois, para as cargas de projeto, o momento fletor traciona a face externa desse canto e aí é que é colocada a armadura principal.

**SOLUÇÃO :** Executar o aterro simultaneamente dos dois lados admitindo-se apenas um pequeno desnível (cerca de 60 cm).

Em caso de erro na execução do aterro a solução é retirar todo o aterro mal executado e recuperar a estrutura antes de recomeçar a execução equilibrada dos aterros laterais.

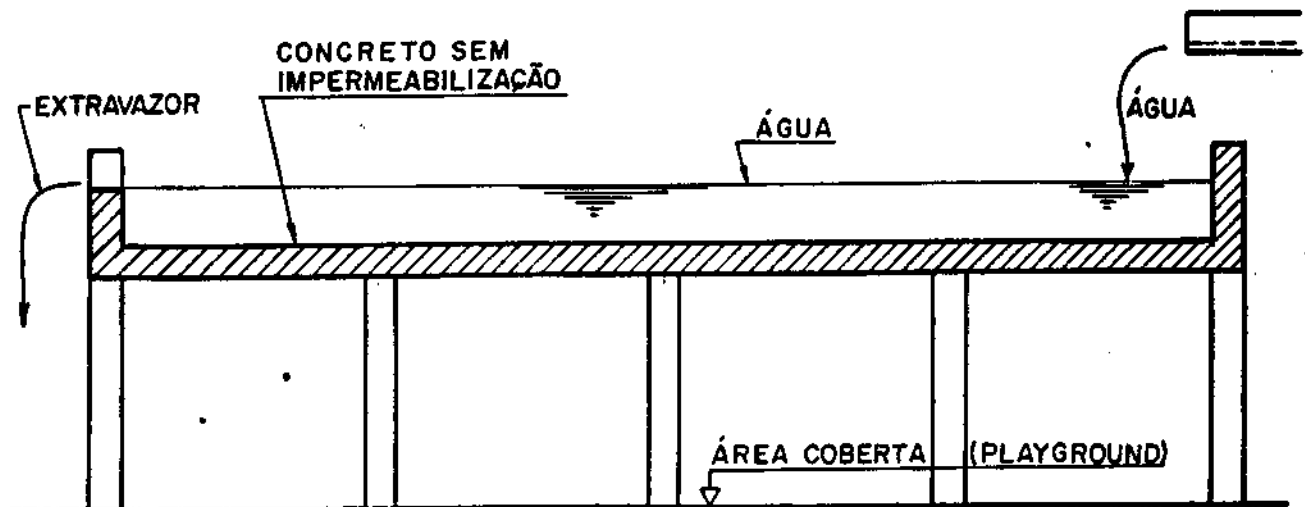
**OBSERVAÇÃO :** O canto nº 3 da galeria também pode apresentar fissuras, dependendo do detalhamento da armadura aí colocada.

Exemplo nº 70 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Laje de concreto armado sem impermeabilização projetada para ser fundo de um reservatório "ornamental" de água. Ver [32].

**NÃO FISSURAÇÃO :** Nesse exemplo estamos indicando um caso real de um concreto "impermeável" o que pressupõe um estado de "NÃO FISSURAÇÃO", que se pode explicar pelo fato de ter o concreto ficado submerso desde o seu adensamento.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA ESTANQUEIDADE :** O concreto ao ficar submerso se expande. A expansão hidráulica linear é de aproximadamente  $20 \times 10^{-5}$ , sendo portanto da mesma ordem de grandeza que a retração hidráulica linear que vale  $30 \times 10^{-5}$  a  $40 \times 10^{-5}$ ; ver ([4] vol.1).

Se o concreto é mantido submerso desde o seu adensamento na fôrma, não há secagem superficial e portanto não se formam fissuras superficiais de retração térmica ou hidráulica.

Isto torna o concreto "impermeável", se a dosagem do mesmo for adequada.

**SUGESTÃO :** As indicações da literatura técnica sugerem um concreto com as seguintes características:

- 1 - fator água/cimento  $\leq 0,45$  .
- 2 - teor elevado de cimento  $\geq 400$  kg /m<sup>3</sup> .
- 3 - lançamento sem segregação .
- 4 - adensamento vibratório .
- 5 - submersão imediata após a vibração .

**OBSERVAÇÃO:** O prof. Horst Falkner [33] cita experiência que mostra que, em uma laje com 30cm de espessura em contato com água sob pressão de 70kPa (7m de água), as fissuras com aberturas de até 0,15mm se "auto-vedam" (colmatam) em menos de um dia. Fissuras com mais de 0,20mm não se colmatam.

Exemplo nº 71 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Vigas simples com 2 apoios em concreto armado ensaiadas em laboratório ( 51 vigas ) com :

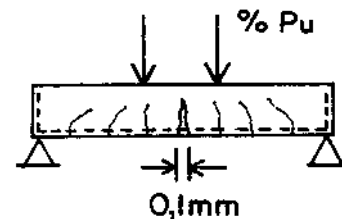
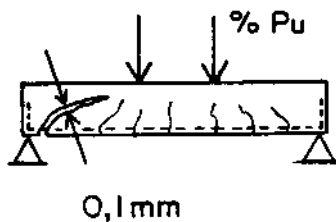
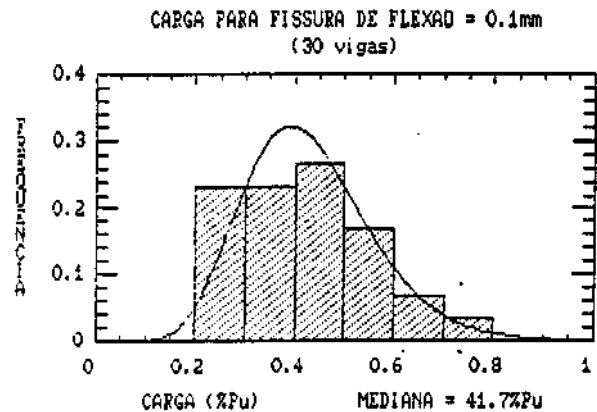
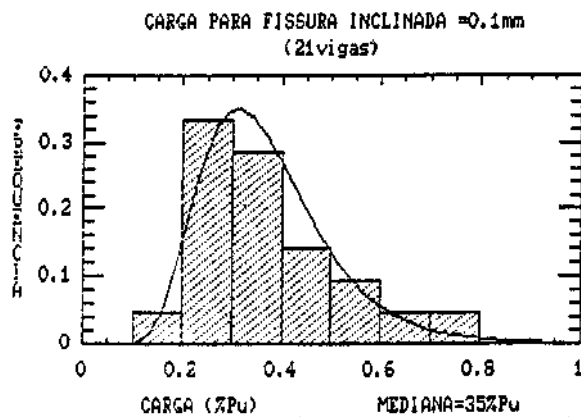
- Seção transversal... : retangular ou Tê .  
 Armadura transversal : - estribos ..... a 90 graus (maioria)  
 - estribos inclinados a 45 graus.  
 - barras dobradas... a 45 graus.  
 Carregamento..... : - 1 ou 2 cargas concentradas  
 - carga uniforme.

**FISSURAÇÃO :** Foram tabuladas as cargas (em % de P última) para as quais as fissuras , quer inclinadas ,quer de flexão , atingiram a abertura de 0,10mm.

**ESQUEMA :**

21 RUPTURAS DE "CISALHAMENTO"

30 RUPTURAS DE FLEXÃO



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** As fissuras surgem quando as tensões principais de tração atingem a resistência do concreto à tração.

As fissuras de flexão , no meio do vão ,na seção de maior momento fletor ,são as primeiras a surgir.

Como a armadura de flexão é colocada ortogonal às fissuras, ela é muito eficiente,mesmo para pequenas aberturas das fissuras. Por esse motivo as fissuras permanecem com pouca abertura .

As fissuras "de cisalhamento" tem origem nas fissuras de flexão e tornam-se mais inclinadas a medida que as cargas crescem. Como os estribos são colocados desviados da direção principal de tração,e a sua eficência não é portanto tão grande,as fissuras de "cisalhamento" abrem mais rãpidamente que as de flexão.

**OBSERVAÇÃO :** É indispensavel verificar a abertura das fissuras inclinadas de "cisalhamento ". O CEB/78 dá bons resultados .

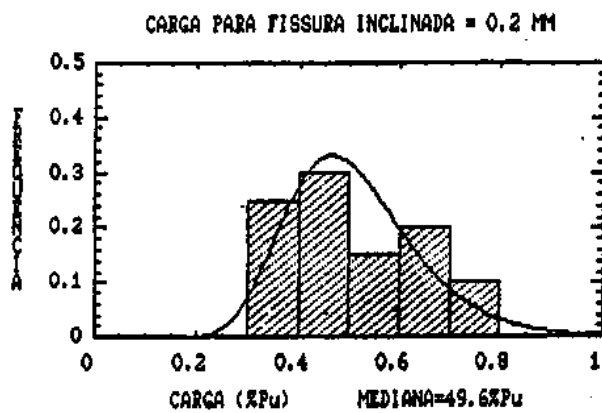
Exemplo nº 72 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Vigas simples com 2 apoios em concreto armado ensaiadas em laboratório ( 49 Vigas ) com :  
 Seção transversal... : retangular ou TÊ.  
 Armadura transversal :- estribos..... a 90 graus (maioria)  
 - estribos inclinados a 45 graus  
 - barras dobradas.... a 45 graus.  
 Carregamento..... :- 1 ou 2 cargas concentradas  
 - carga uniforme.

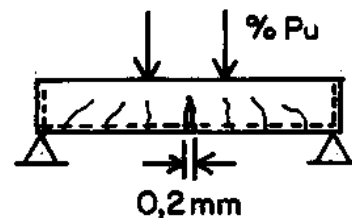
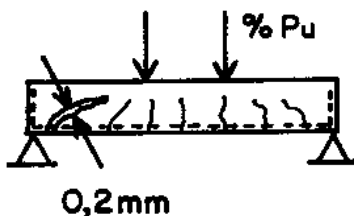
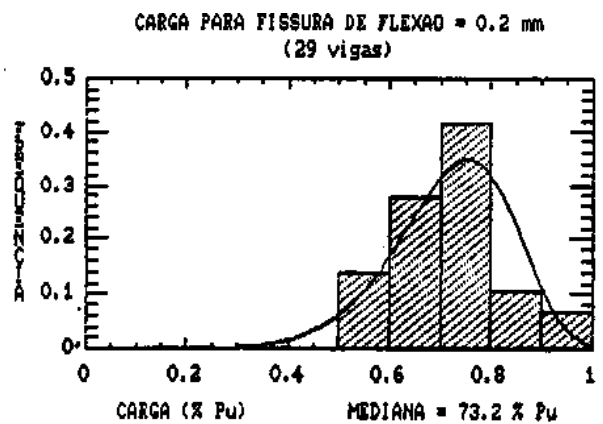
**FISSURAÇÃO :** Foram tabuladas as cargas (em % de P última ) para as quais as fissuras ,quer inclinadas , quer de flexão, atingiram a abertura de 0,20mm.

**ESQUEMA :**

20 RUPTURAS DE "CISALHAMENTO"



29 RUPTURAS DE FLEXÃO



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** As fissuras cujas aberturas foram avaliadas são ,em geral ,aquelas onde surgiram os mecanismos de ruptura :

- 1- fissuras de flexão no centro do vão,
- 2- fissuras inclinadas próximas dos apoios.

Nesses dois tipos de fissuras as tensões no aço são as mais elevadas e os alongamentos e as aberturas de fissura são os maiores da viga.

**OBSERVAÇÃO :** As vigas ensaiadas , com ruptura de "cisalhamento" (estribo) ou de flexo-cisalhamento (estribo+concreto), "dão aviso" mais cedo , i.e. apresentam fissuras com abertura de 0,20mm para cargas menores ( % P última ).

As vigas ensaiadas , com ruptura por flexão ( armadura ou concreto ) "dão aviso" mais tarde ,i.e. apresentam fissuras com abertura de 0,20mm para cargas maiores (% P última).

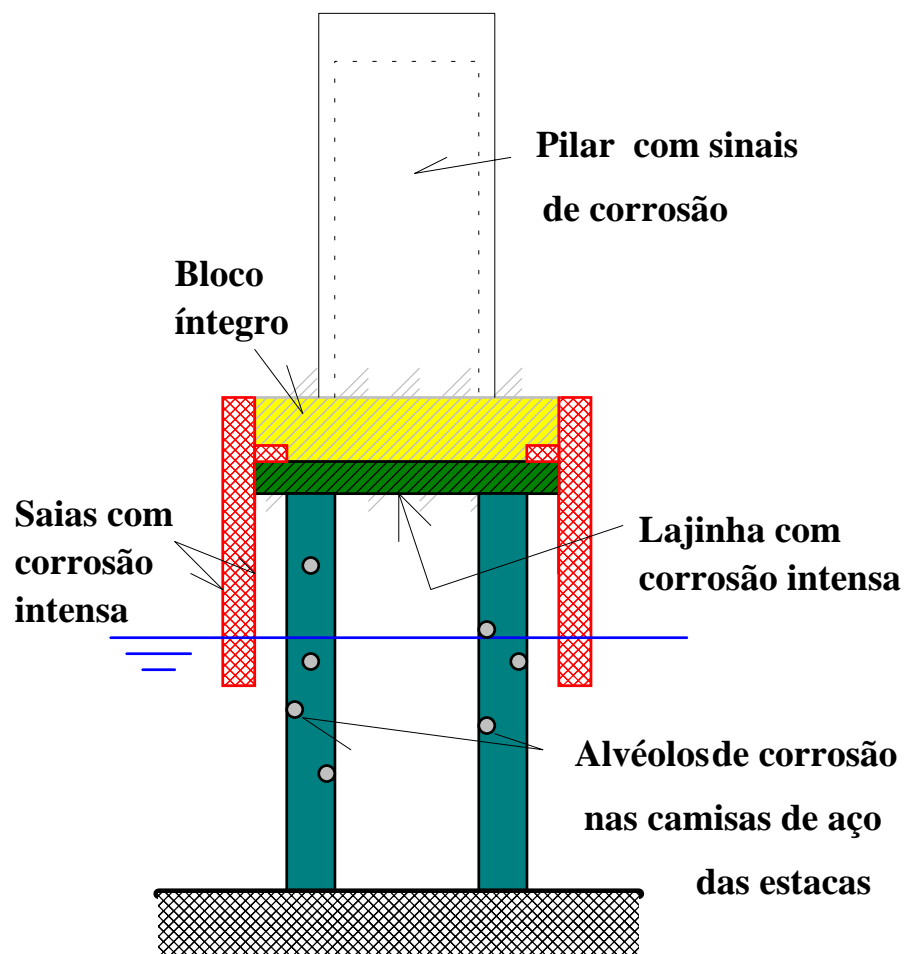
É evidente que essa observação resulta dos tipos de ensaios realizados , porém é útil para mostrar que também existe uma boa utilidade nas rupturas de "cisalhamento" e nas rupturas de "flexo-cisalhamento".

**EXEMPLO Nº 73 :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Estacas de concreto armado (executado como concreto submerso) com camisas de aço de 10mm de espessura dentro da água do mar.

**TIPO DE CORROSÃO OBSERVADA :** Alvéolos de corrosão ( com forma de moedas) nas camisas de aço. Alguns desses alvéolos perfuram toda a chapa de aço (10mm) deixando a vista o concreto das estacas. O tipo de corrosão dominante é o de "alvéolos ". Não foram observados "pits" (furos profundos) de corrosão. A agressão do mar à estrutura se dá em diversos locais , conforme resumido na figura .

**ESQUEMA DA CORROSÃO :**



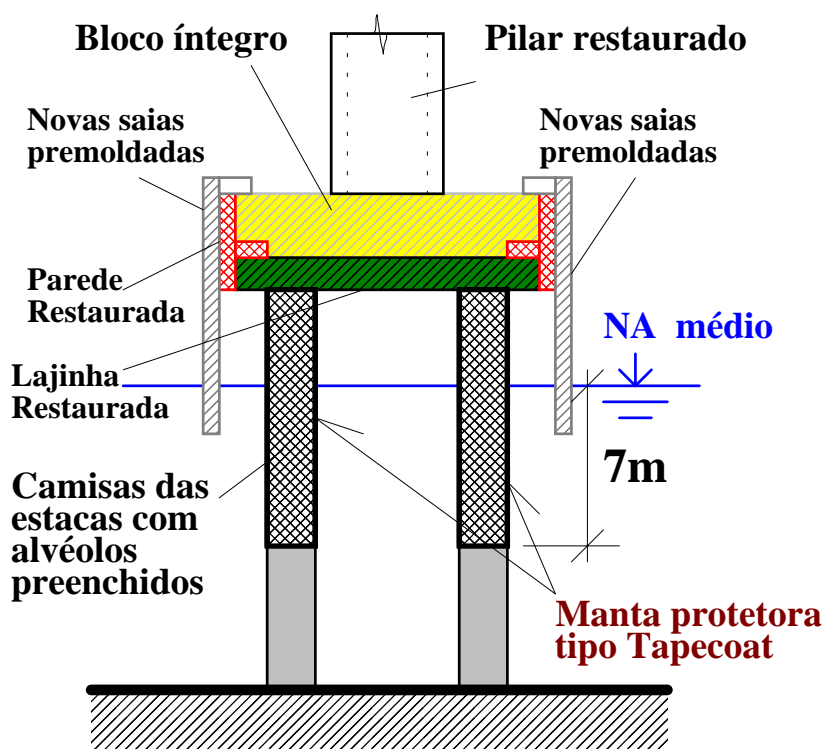
**CAUSA DA CORROSÃO:** A corrosão é um fenômeno frequente em obras marítimas , devido à presença dos cloretos e sulfatos na água do mar. A ação dessas substâncias e do oxigênio do ar ou do oxigênio contido na água do mar resulta na oxidação da chapa de aço das estacas. É de observar que essas chapas , na obra aqui mostrada, não são estruturais tendo sido projetadas apenas para proteção do concreto das estacas. Essas estacas foram executadas há cerca de 25 anos e apresentam número elevado de alvéolos devidos à corrosão.

**SOLUÇÃO :** Uma das alternativas de recuperação é a colocação de uma manta tipo «Tapecoat » envolvendo as estacas de modo que a ação das substâncias químicas agressoras seja bastante retardada. Esse reparo é feito após recuperar as camisas de aço nos pontos onde haja alvéolos de corrosão. Outros reparos são necessários nas saias premoldadas que

**EXEMPLO Nº 73** (Continuação) :

serviram de forma lateral para o bloco e também na laje de fundo que serviu de forma de fundo para o bloco de estacas, com a retirada de todas as armaduras corroídas e recomposição do concreto com concreto projetado. As saias devem ser cortadas e substituídas por saias premoldadas com cobertura grande ( 5cm).

- O aspecto final da recuperação seria o abaixo indicado.



**OBSERVAÇÃO:**

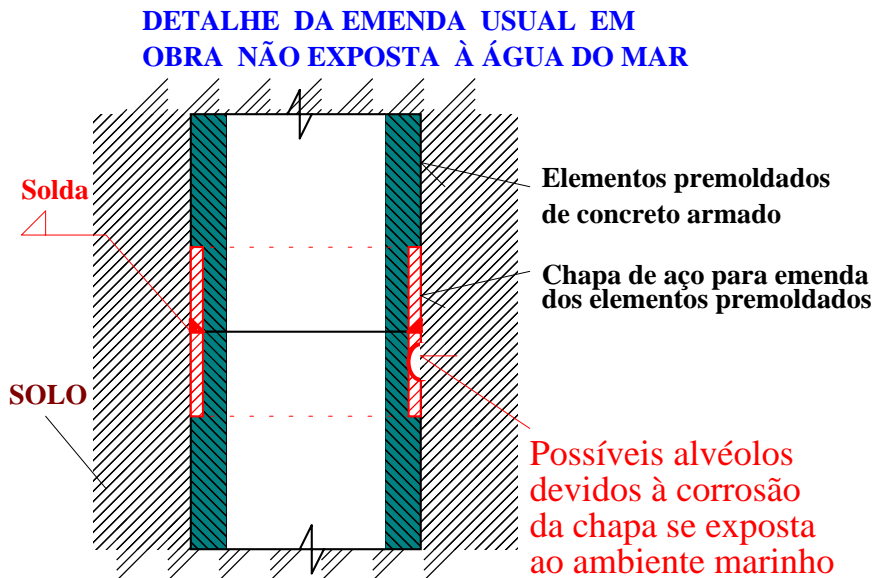
- A profundidade onde foi observado o maior número de alvéolos perfurando as camisas de aço é de 4.00m a 5.00m abaixo do nível d'água do mar.
- Não existiam, no momento da inspeção, alvéolos perfurando as camisas de aço abaixo da profundidade de 6.80m. Por esse motivo as estacas só precisariam ser protegidas até cerca de 7m abaixo do nível d'água.
- Não foi observada nenhuma correlação entre a profundidade e o diâmetro dos alvéolos que perfuraram a camisa do tubo. O diâmetro desses alvéolos varia de 2cm a 6cm.
- Nessa obra, a corrosão é mais intensa nos pilares que ficam mais próximos ao canal navegável, onde a movimentação das águas é maior. Junto às margens da baía a corrosão nas estruturas é menor. Isto faz supor (apenas supor) que o teor de cloretos, sulfatos e oxigênio na água seja menor próximo às margens.

EXEMPLO nº 73 ( Continuação e Comentário )

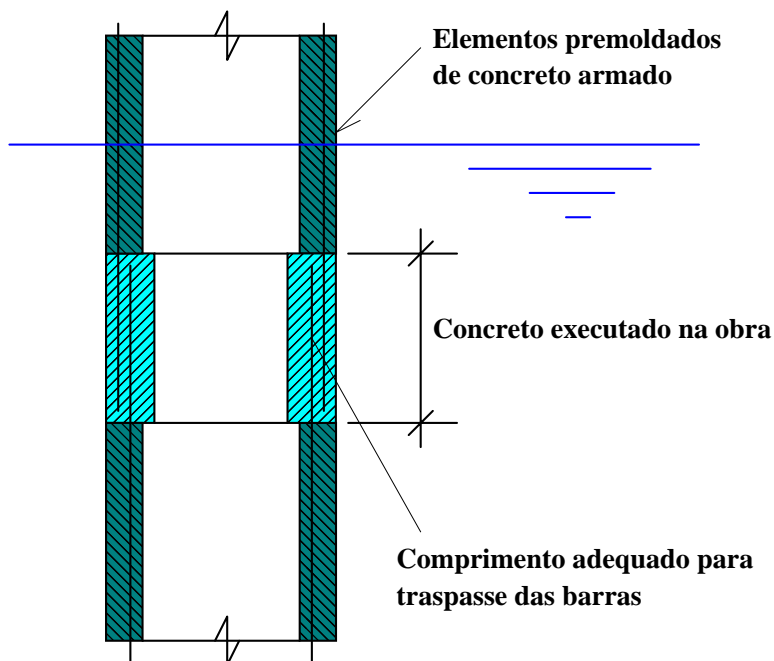
**TIPO DE ESTRUTURA** : Estacas premoldadas de concreto com emendas de chapas soldadas que sejam estruturais, isto é , chapas que transmitam carga .

**TIPO DA CORROSÃO A EVITAR:** Podem surgir alvéolos devidos à corrosão das chapas de aço usadas para emenda das estacas . Alguns desses alvéolos podem ser profundos o suficiente para perfurar as chapas de aço reduzindo a área resistente dessas camisas e em consequência a segurança da obra .

**ESQUEMA DOS POSSÍVEIS ALVÉOLOS DE CORROSÃO :**



**DETALHE ADEQUADO DA EMENDA EM OBRAS NO MAR**



**SOLUÇÃO** : A emenda dos elementos premoldados deve ser feita executando na obra um trecho da estaca em concreto armado, obedecendo o comprimento de traspasse das armaduras.



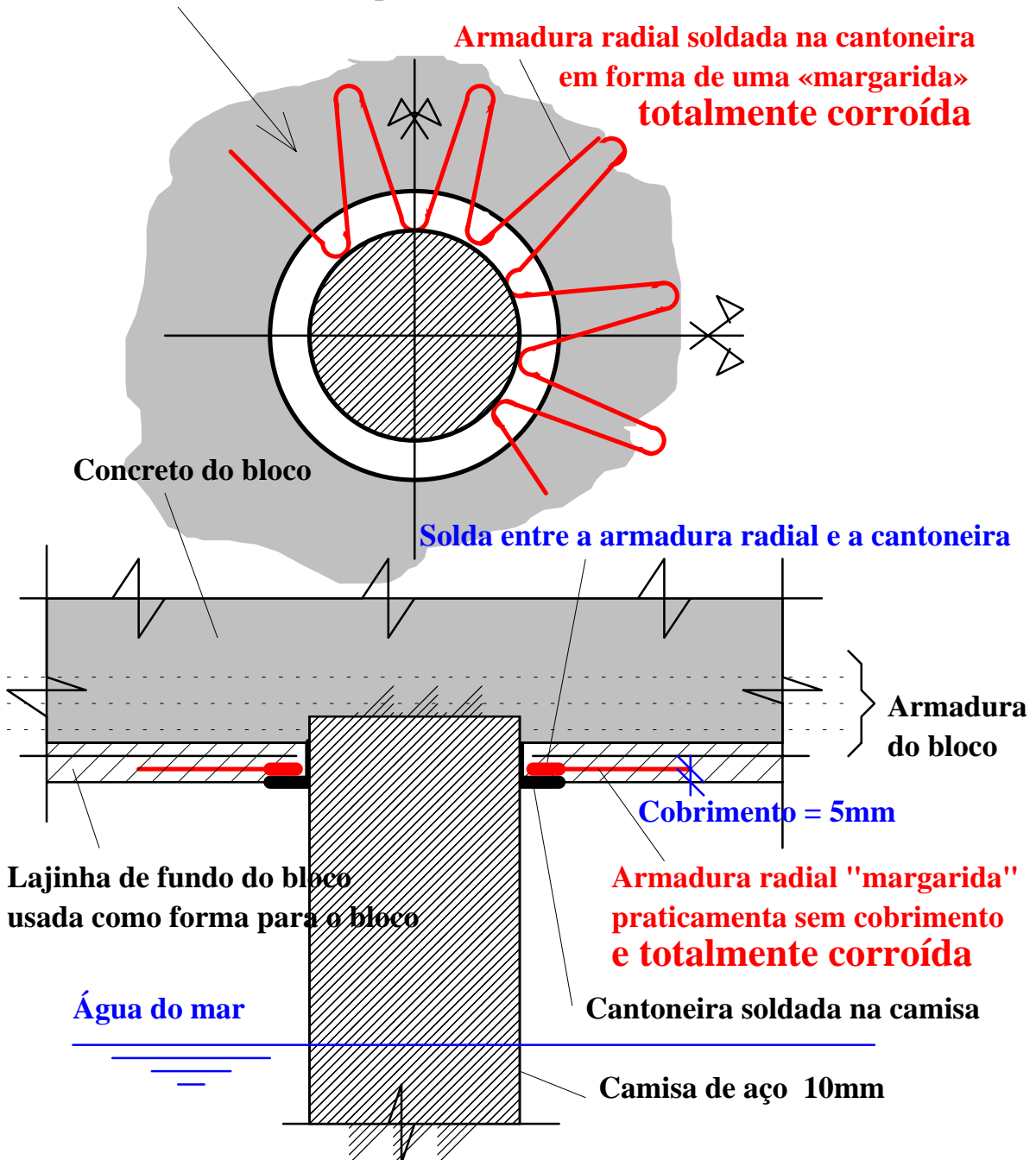
EXEMPLO Nº 74:

**TIPO DE ESTRUTURA** : Lajes de fundo de blocos, concretadas no local servindo de forma para o concreto do bloco.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA** : Existe desprendimento de todo o concreto de cobrimento das armaduras radiais da laje de fundo principalmente junto às cantoneiras de aço.

**ESQUEMA DAS FISSURAS** :

**Cobrimento de concreto desprendido**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO**: O pequeno cobrimento da armadura radial permitiu a ação rápida dos cloretos da água do mar e toda essa armadura foi oxidada e essa corrosão provocou o desprendimento de todo o cobrimento nessas regiões do bloco.

**SOLUÇÃO** : Como a laje de fundo somente tinha função estrutural durante a fase de construção do bloco toda a armadura corroída pode ser removida e o fundo da laje restaurado com concreto projetado.

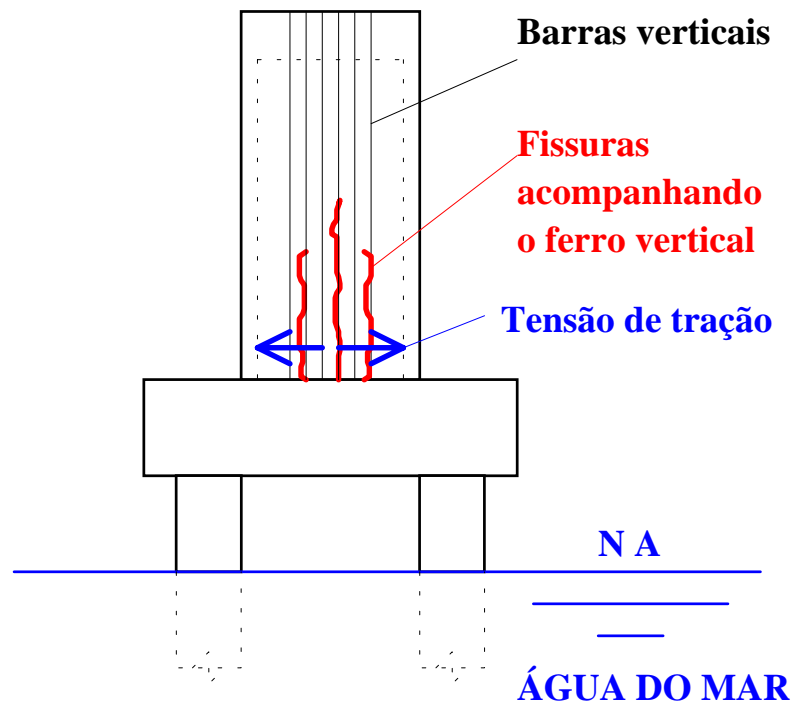
**OBSERVAÇÃO**: Nenhuma armadura pode ter cobrimento insuficiente, ainda que só funcione para a fase construtiva pois será a porta por onde entrará a agressão do meio ambiente.

**EXEMPLO Nº 75 :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Pilares Caixaão, com paredes e com blocos no topo para apoio da superestrutura.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Existem fissuras verticais nas paredes dos pilares . Essas fissuras surgem na base do pilar, junto ao bloco, e se propagam para cima acompanhando as barras verticais da armadura.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Próximos à base do pilar , até a uma altura aproximadamente igual à largura do pilar , existem tensões de tração na direção horizontal do pilar devidas a :

- 1- Efeito da retração térmica impedida , retração essa devida à dissipação rápida do calor de hidratação do cimento do concreto das paredes do pilar, ( as possíveis fissuras surgem após curto prazo , isto é semanas ou mesmo dias) .
- 2- Efeito da retração hidráulica impedida , devida à perda de água para o meio ambiente com maior velocidade que essa mesma perda de água no bloco de fundação (as tensões e possíveis fissuras surgem após longo prazo, isto é, meses ou mesmo anos) .
- 3- As fissuras verticais se formam então preferencialmente "sobre" as barras verticais, onde existe uma concentração dessas tensões de tração.  
A corrosão já incipiente dessas barras de aço, expostas ao meio ambiente agressivo, se acelera e as barras oxidadas aumentam de diâmetro, incham, e finalmente "explodem" o concreto, que fica entre a barra de aço e a superfície da estrutura.
- 4- As grandes fissuras observadas nos pilares já são portanto consequência da oxidação das barras de aço.

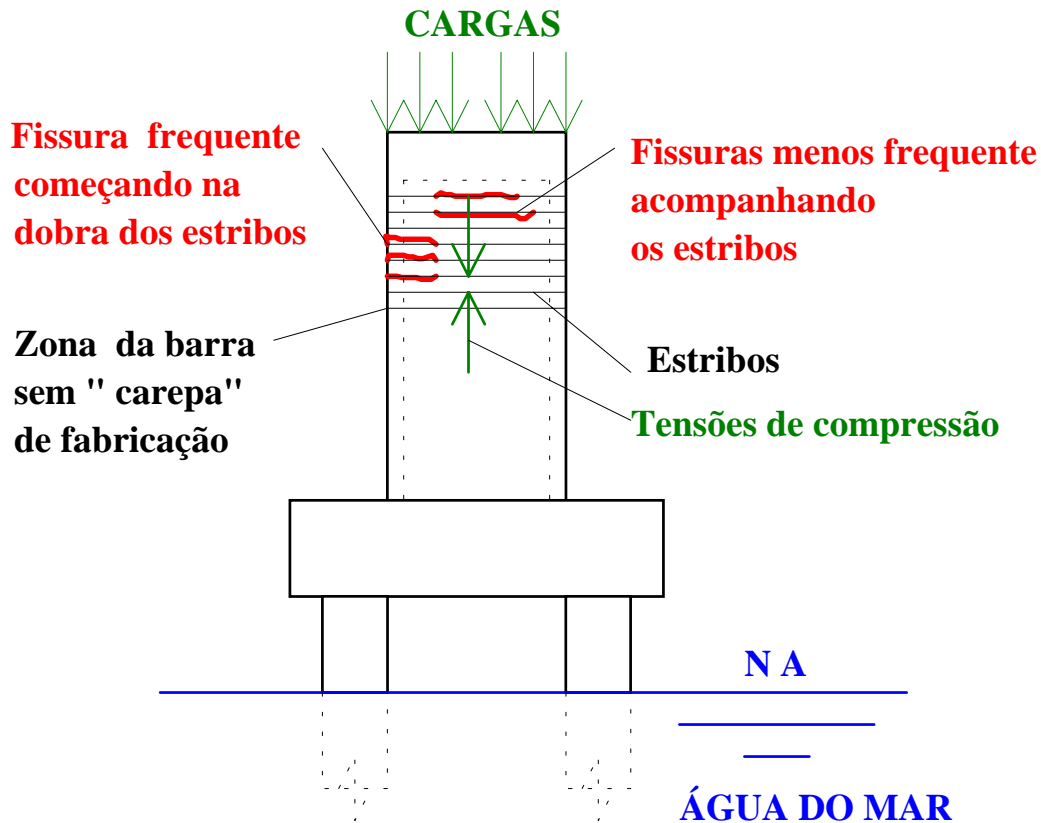
**SOLUÇÃO :** Para evitar esse surgimento de fissuras deve-se, na execução da obra realizar uma concretagem com concreto frio e protegê-lo de resfriamento rápido e também de uma secagem rápida . No projeto, prever armadura horizontal maior que a usual até a uma altura igual à largura total do pilar. No caso de fissuras já existentes só há uma solução: Injeção das trincas ou fissuras considerando o fato de que elas não tem mais movimento /41/.

## EXEMPLO N° 76

**TIPO DE ESTRUTURA :** Pilares caixão , com paredes e com bloco no topo para apoio da superestrutura.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Existem fissuras horizontais nas paredes dos pilares . As fissuras geralmente surgem junto aos bordos do pilar e se propagam para os lados acompanhando as barras horizontais dos estribos.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Os ferros horizontais, os chamados estribos, que são externos aos ferros verticais dos pilares, deveriam ser os primeiros a sofrer corrosão e em consequência os primeiros a se expandir e "explodir" o cobrimento. Acontece que no concreto do pilar atuam tensões de compressão na direção vertical, isto é, perpendicularmente à direção da provável fissura. Essas tensões verticais devidas à carga da super-estrutura da ponte retardam ou reduzem a ocorrência dessas fissuras horizontais.

Um tipo de fissuração, no entanto, tem sido muito observado e se apresenta de forma sistemática e com uma causa bastante compreensível: a fissuração e expulsão do cobrimento de concreto junto da **região dobrada** dos ferros dos estribos. Essa fissuração se deve ao fato de que as barras dobradas perdem a sua "**carepa**" de fabricação tornando-se mais sensíveis à corrosão. Essa perda de proteção contra a corrosão nas dobras das barras pode ser observada em qualquer canteiro de obra, observando-se os ferros tipo "estribos" que sempre apresentam oxidação na superfície junto às dobras.

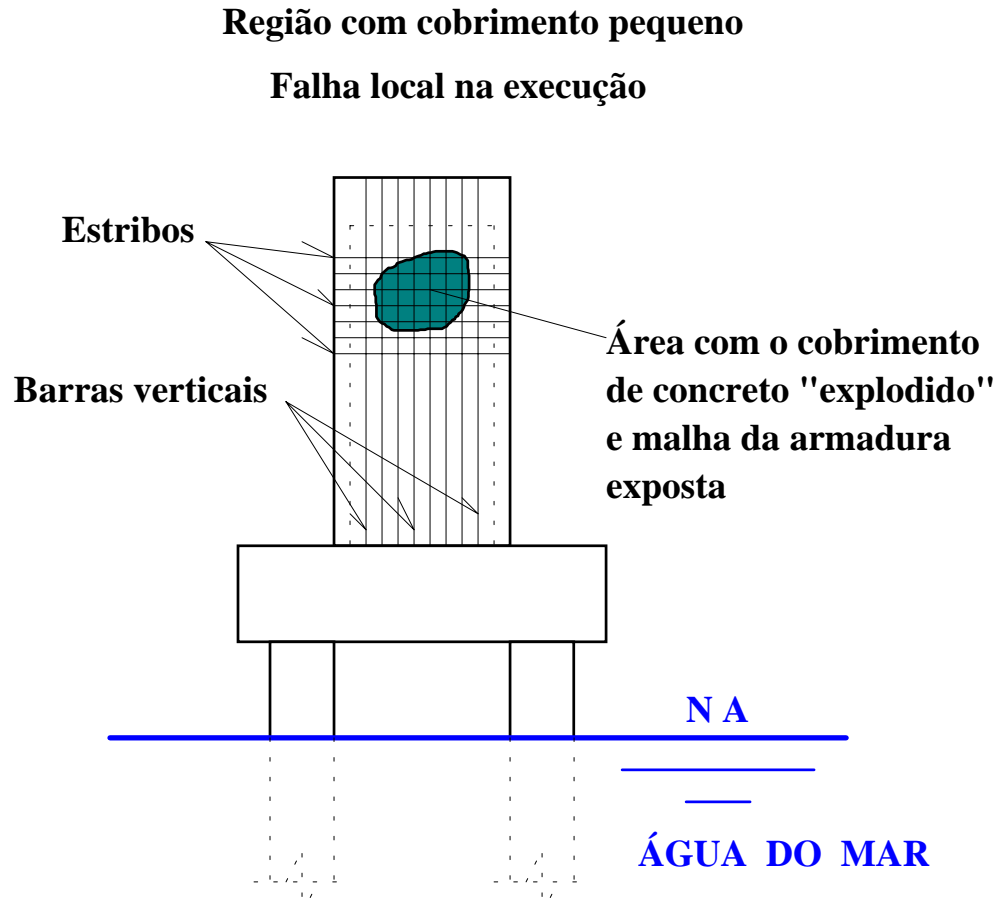
**SOLUÇÃO :** Como os estribos sempre tem dobras, a melhor solução é o cobrimento adequado com concreto bem adensado e com espessura suficiente para impedir ou retardar bastante a penetração dos agentes agressivos (cloretos, sulfatos...). Uma solução cara, para obras especiais, é o revestimento com epoxi de todas as barras, após o seu dobramento. A aplicação de epoxi é feita em leito fluidizado, com as barras pré-aquecidas a 225 °C, em obras com exigência de vida útil de 100 anos, como no tunel Great Belt na Dinamarca.

## EXEMPLO N° 77

**TIPO DE ESTRUTURA :** Pilares caixão , com paredes e com bloco no topo para apoio da superestrutura

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Existem regiões das paredes onde o cobrimento de concreto se desprendeu totalmente deixando à mostra toda a malha da armadura .

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Devido a uma falha construtiva local os ferros da armadura ficaram próximos à superfície do concreto , isto é , ficaram com o cobrimento pequeno. A ação dos cloretos e da carbonatação foi então mais rápida acelerando a corrosão das barras.

**SOLUÇÃO:** Para obras já existentes é necessário: Delimitar a área danificada. Escarificar manualmente, retirando materiais soltos ou segregados, até atingir o concreto sã . Remover a corrosão das armaduras existentes. Limpar as superfícies através de jateamento com água com pressão. Aplicar "ponte de aderência" sobre o concreto velho, constituída de adesivo a base mineral ou de acrílico. Aplicar argamassa polimérica base cimento. Executar o acabamento final com desempenadeira de madeira. Curar as superfícies por via úmida, por 7 dias. Não expor as superfícies diretamente ao sol nas primeiras 36 horas ( ver /39/ e /41/ ).

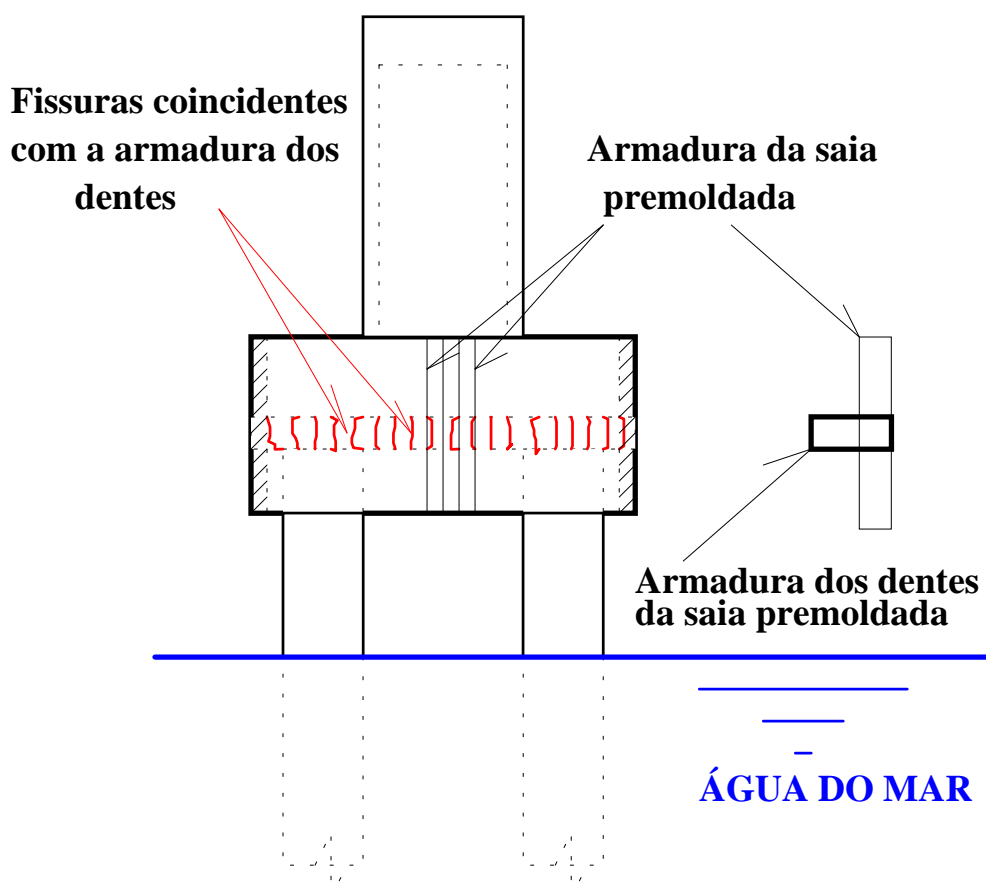
A melhor solução em obras a executar é garantir o cobrimento adequado com concreto bem adensado e com espessura suficiente para impedir ou retardar bastante a penetração dos agentes agressivos (cloretos, sulfatos...).

## EXEMPLO N° 78

**TIPO DE ESTRUTURA :** Blocos de estacas de concreto armado executados com formas premoldadas de concreto armado.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissuras verticais , uma ao lado da outra , pouco espaçadas horizontalmente, na ligação da laje de fundo da forma com a parede lateral da forma de concreto armado.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A fissuração ocorre junto aos ferros dobrados dos dentes das saias premoldadas dos blocos. A causa é a corrosão dos ferros dobrados que são a armadura dos dentes da forma ("saia") premoldada. A corrosão desses ferros dobrados é acelerada pelo fato de que, ao serem dobrados, os ferros perdem a «carepa» de fabricação, que lhes dá maior proteção contra a corrosão. Essa perda de proteção contra a corrosão nas dobras das barras pode ser observada em qualquer canteiro de obra, observando-se os ferros tipo "estribos" que sempre apresentam oxidação na superfície junto às dobras.

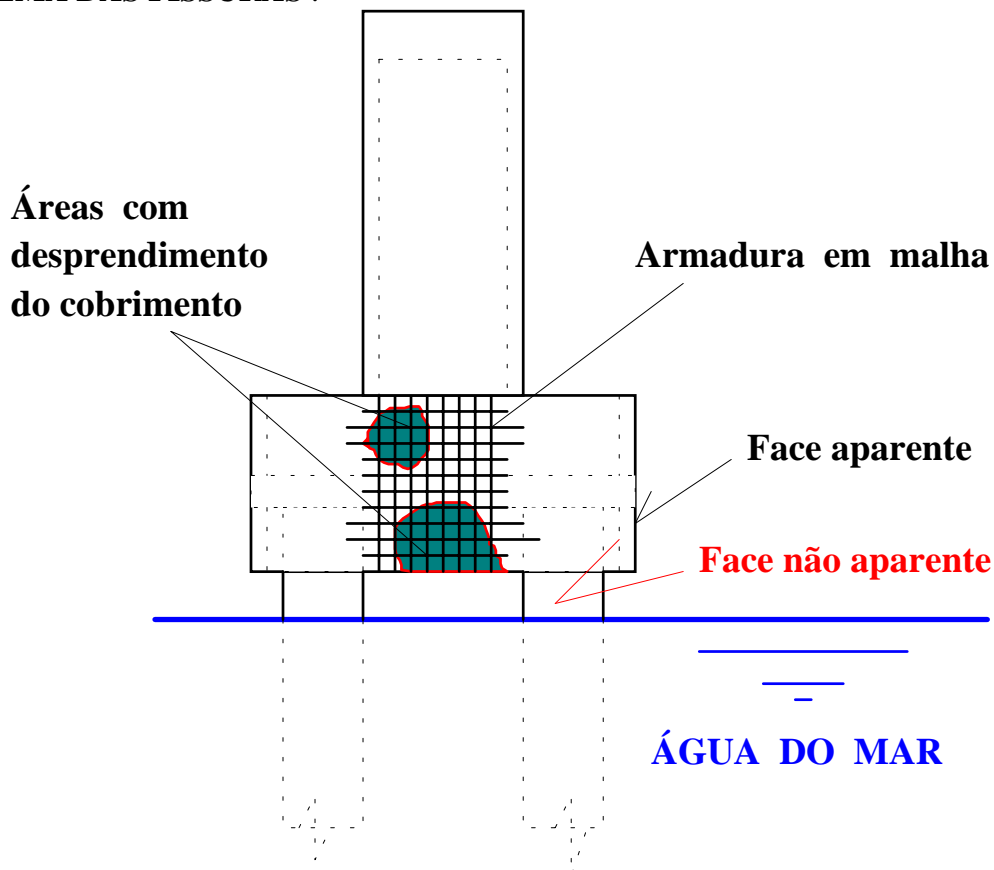
**SOLUÇÃO :** A de sempre, isto é, em obras a executar, garantir o cobrimento adequado com concreto bem adensado e com espessura suficiente para impedir ou retardar bastante a penetração dos agentes agressivos (cloretos, sulfatos...).

## EXEMPLO N° 79

**TIPO DE ESTRUTURA :** Blocos de estacas de concreto armado executados com formas premoldadas de concreto armado.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Existem regiões das paredes premoldadas do bloco onde o cobrimento de concreto se desprendeu totalmente deixando à mostra toda a malha da armadura.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**Cobrimento deficiente : 3cm na face visível da saia premoldada  
1cm na face invisível da saia premoldada**

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Os ferros da armadura ficaram próximos à superfície do concreto, isto é, ficaram com o cobrimento pequeno. A ação dos cloretos e da carbonatação é então mais rápida acelerando a corrosão das barras. Ao se oxidarem as barras aumentam de diâmetro fazendo "explodir" toda a área com pouco cobrimento, deixando expostas todas as barras e acelerando ainda mais a corrosão das mesmas.

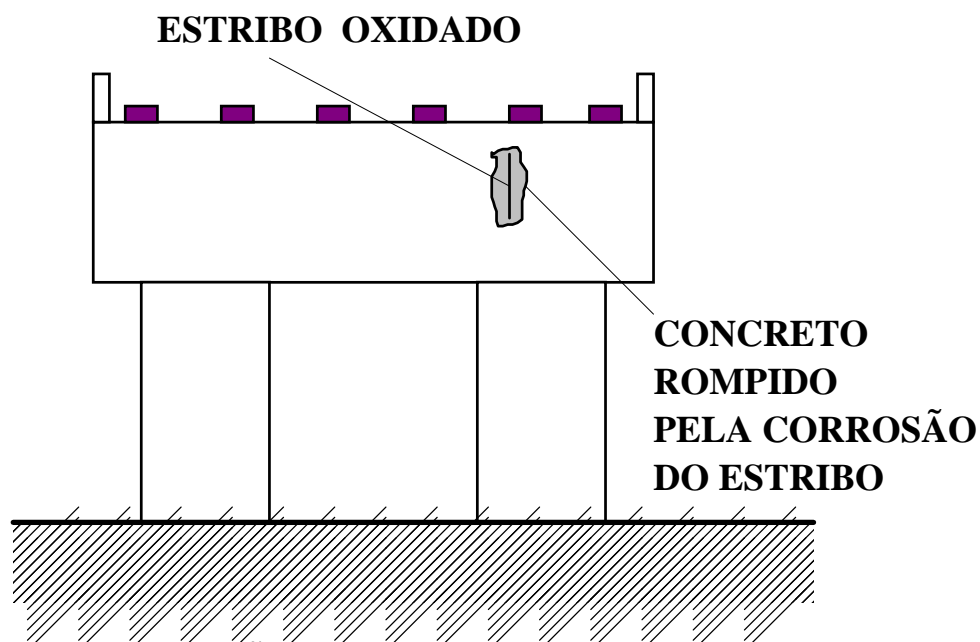
**SOLUÇÃO :** A de sempre, isto é, em obras a executar, garantir o cobrimento adequado com concreto bem adensado e com espessura suficiente para impedir ou retardar bastante a penetração dos agentes agressivos (cloretos, sulfatos...). Nessa obra mostrada acima a única solução possível é retirar toda a armadura corroída e refazer a superfície do concreto com argamassa epóxica, pois a armadura corroída não é mais necessária estruturalmente. É uma armadura usada apenas para a fase construtiva. A saia inferior da forma premoldada pode inclusive ser totalmente demolida por apresentar grau elevado de corrosão nas duas faces da parede (interna : cobrimento 1cm, externa :cobrimento 3cm).

## EXEMPLO N° 80

**TIPO DE ESTRUTURA :** Travessas de apoio de longarinas premoldadas

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Desprendimento do cobrimento de ferro de estribo.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O estribo com pouco cobrimento já está sendo corroído . A ferrugem se expandiu e rompeu o cobrimento. É o primeiro sinal visível que uma estrutura dá de que já se iniciou a corrosão das barras da armadura. Embora seja um sinal muito claro, indicando que providências precisam ser tomadas para controlar a corrosão das armaduras, nem sempre esse aviso é compreendido pelo engenheiro.

### **SOLUÇÃO:**

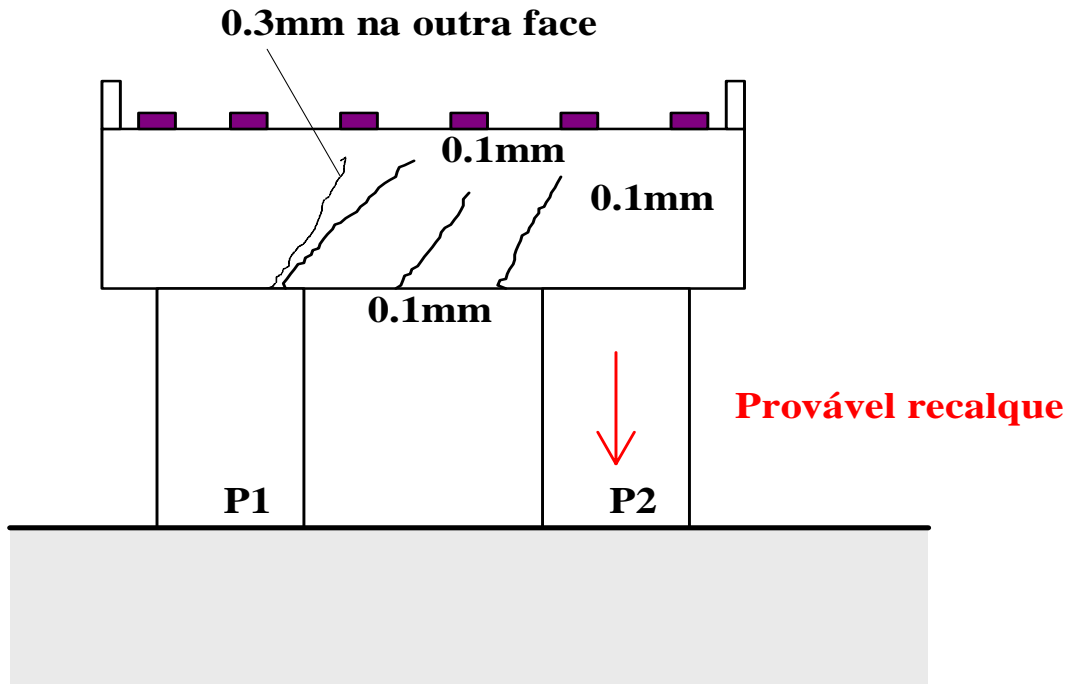
Escarificar manualmente, retirando materiais soltos ou segregados, até atingir o concreto sã . Remover a corrosão das armaduras existentes. Limpar as superfícies através de jateamento com água com pressão. Aplicar argamassa polimérica base cimento. (ver /39/ e /41/)

## EXEMPLO Nº 81

**TIPO DE ESTRUTURA :** Travessa de apoio de longarinas premoldadas.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissuras inclinadas, em ambas as faces da travessa .

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A causa provável dessas fissuras parece ser um pequeno recalque da fundação do pilar P2. A posição inclinada dessas fissuras caracteriza o movimento vertical para baixo do pilar P2 na figura. Como as fundações são antigas é pouco provável que esse recalque esteja acontecendo agora. É provável que estando a estrutura já fissurada, a abertura dessas fissuras vá aumentando porém, com o aumento das cargas móveis que atuam na estrutura.

### **SOLUÇÃO:**

Como as fissuras são indicativas de um recalque de apoio, e como esse recalque já deve ter ocorrido na sua totalidade deve-se seguir o procedimento usual para injeção de fissuras sem movimento.

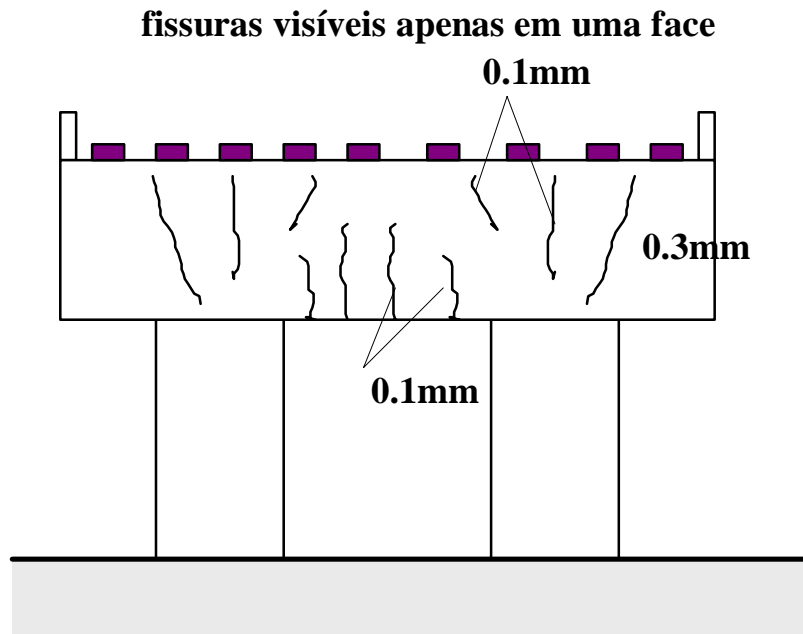


## EXEMPLO N° 82

**TIPO DE ESTRUTURA :** Travessa de apoio de longarinas premoldadas.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Em apenas uma face da travessa existem fissuras (quasi verticais) a meia altura sobre os apoios e fissuras verticais no vão .

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Existem varias fissuras já injetadas em apenas uma das faces da travessa e principalmente na face inferior da travessa, causadas possivelmente por problemas de execução da peça. O estribo da travessa em uma das faces da travessa parece ter sido colocado com pouco cobrimento , e em consequência na outra face o cobrimento ficou grande e não há fissuras, pois não houve corrosão nem dos estribos nem dos ferros costela (ferros horizontais). Também na face inferior a fissuração sugere que os estribos foram colocados sem cobrimento adequado, daí resultando corrosão das barras e fissuração do concreto.

### **SOLUÇÃO:**

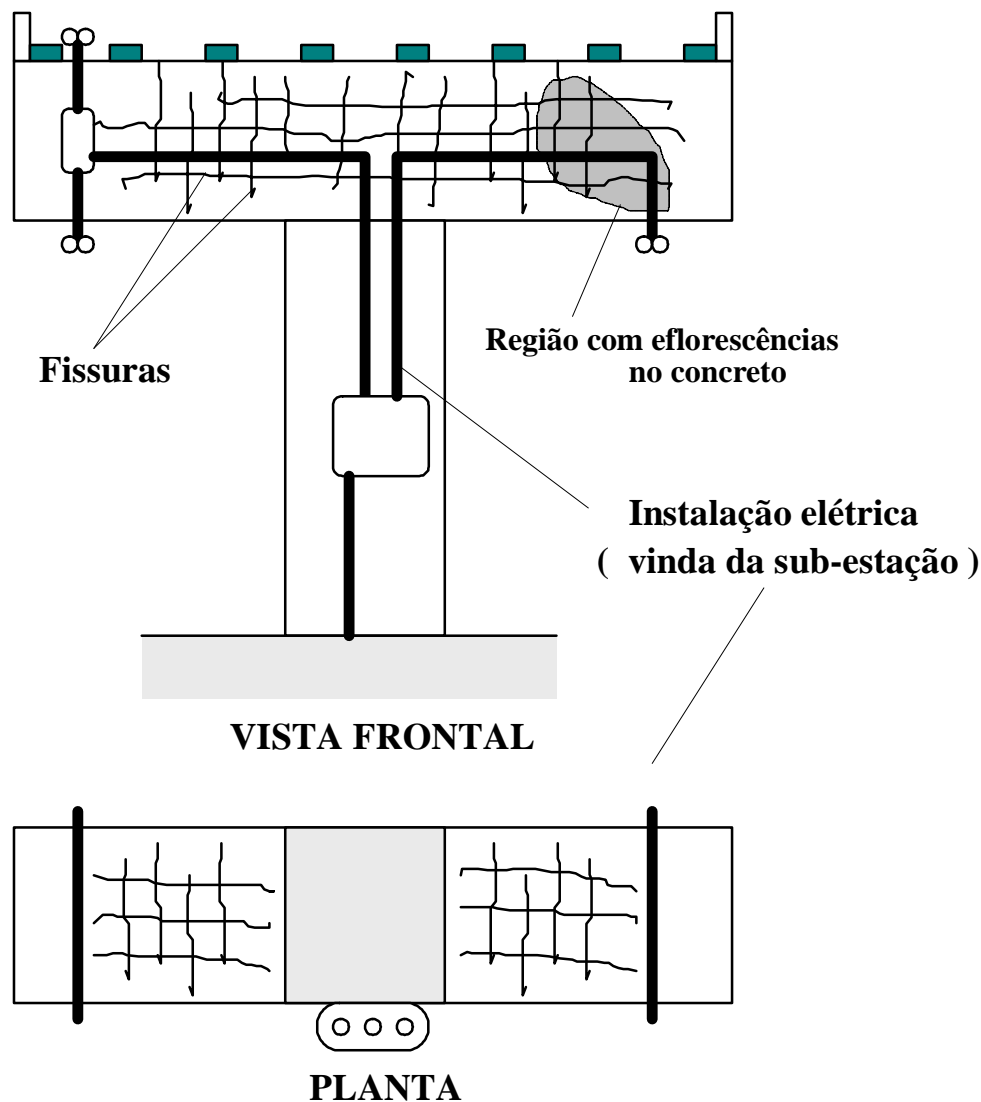
Nas fissuras ainda não tratadas seguir o procedimento usual para injeção de fissuras sem movimento. A solução ideal nesses casos seria sempre uma obra com execução cuidadosa em todos os detalhes (cobrimento, cura etc...) o que sempre evita reparos a posteriori !

**EXEMPLO Nº 83** ( ver também Exemplos Nº 84 e 124 )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Travessas em concreto armado servindo de apoio a longarinas

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissuras verticais e horizontais , formando uma malha

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA PROVÁVEL DA FISSURAÇÃO:** Existem várias fissuras já injetadas nas 2 faces laterais da travessa e principalmente na face inferior da travessa, fissuras essas provavelmente causadas pela corrosão das armaduras de pele ( estribos e costelas) . A corrosão dessas armaduras, em 2 travessas que suportam cabos elétricos para sinais de trânsito (sinalização) e para iluminação da obra, é mais acentuada que nas demais, levantando a hipótese de que correntes elétricas possam estar sendo induzidas nas armaduras acelerando o processo de corrosão eletrolítica. Essas duas travessas vizinhas estão próximas a uma sub-estação elétrica e seria necessário identificar se essa é realmente a causa.

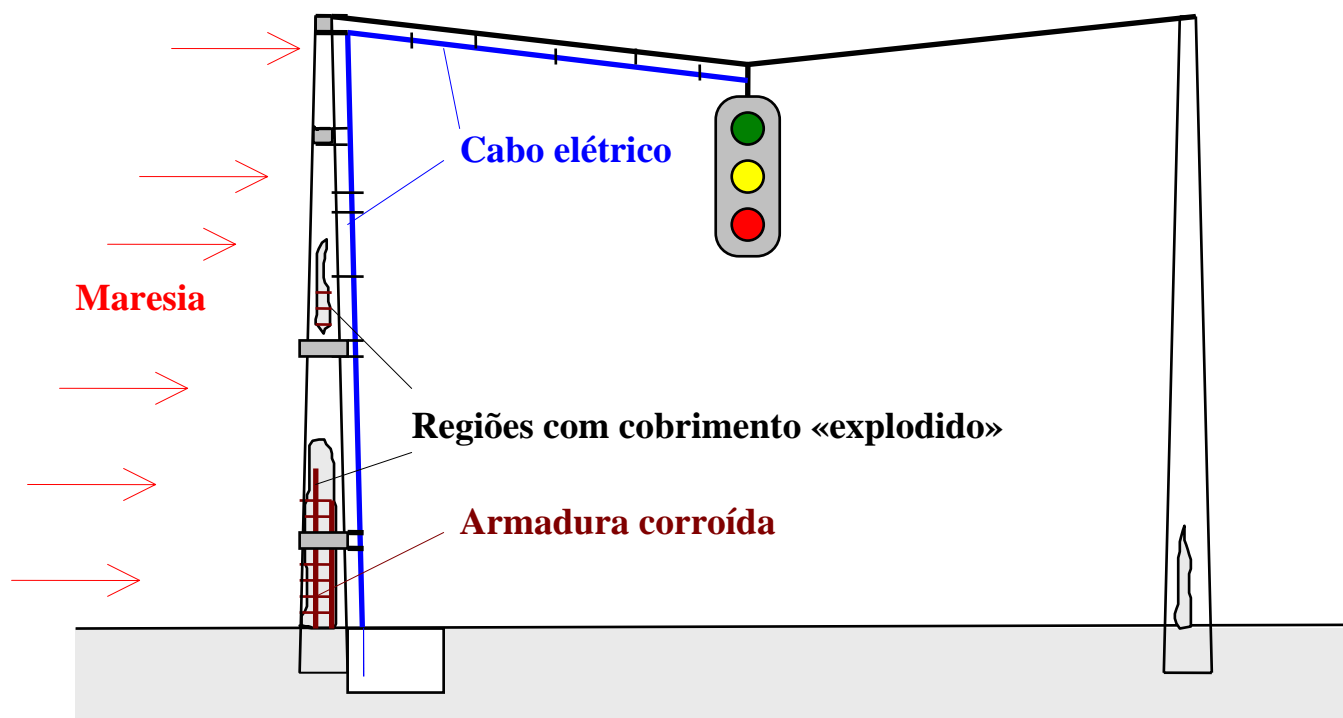
**SOLUÇÃO:** Nas fissuras ainda não tratadas fazer a injeção das trincas e fissuras considerando que elas não tem movimento . Seria justificável instrumentar as armaduras para detectar possíveis correntes elétricas. Esse parece ser um tema para maiores pesquisas e estudos.

**EXEMPLO Nº 84** ( ver também Exemplos Nº 83 e 124 )

**TIPO DE ESTRUTURA** : Postes de concreto armado, na orla marítima, suportando cabos elétricos para sinais de trânsito (semáforos) e para iluminação pública .

**FISSURAÇÃO** : Corrosão das armaduras de estribos e dos ferros longitudinais , com o descolamento do cobrimento.

**ESQUEMA** :



**CAUSA PROVÁVEL DA FISSURAÇÃO**: A maioria dos postes de concreto armado na orla marítima tem corrosão de suas armaduras longitudinais e dos estribos. Isto se deve à ação dos cloretos contidos na maresia.

A corrosão dos postes que suportam cabos elétricos para sinais de trânsito (semáforos) é porém mais acentuada, levantando a hipótese de que correntes elétricas possam estar sendo induzidas nas armaduras acelerando o processo de corrosão eletrolítica. É necessário identificar se essa é realmente a causa. Estatisticamente porém, temos comprovado que a corrosão nesses poste é mais intensa que nos demais.

Fora da orla marítima esse tipo de corrosão também ocorre nos postes de concreto com semáforos, a degradação porém é mais lenta.

**SOLUÇÃO** : Alguma proteção elétrica deve ser feita para esses postes. Resta avaliar no entanto o fator custo/benefício de uma solução desse tipo.

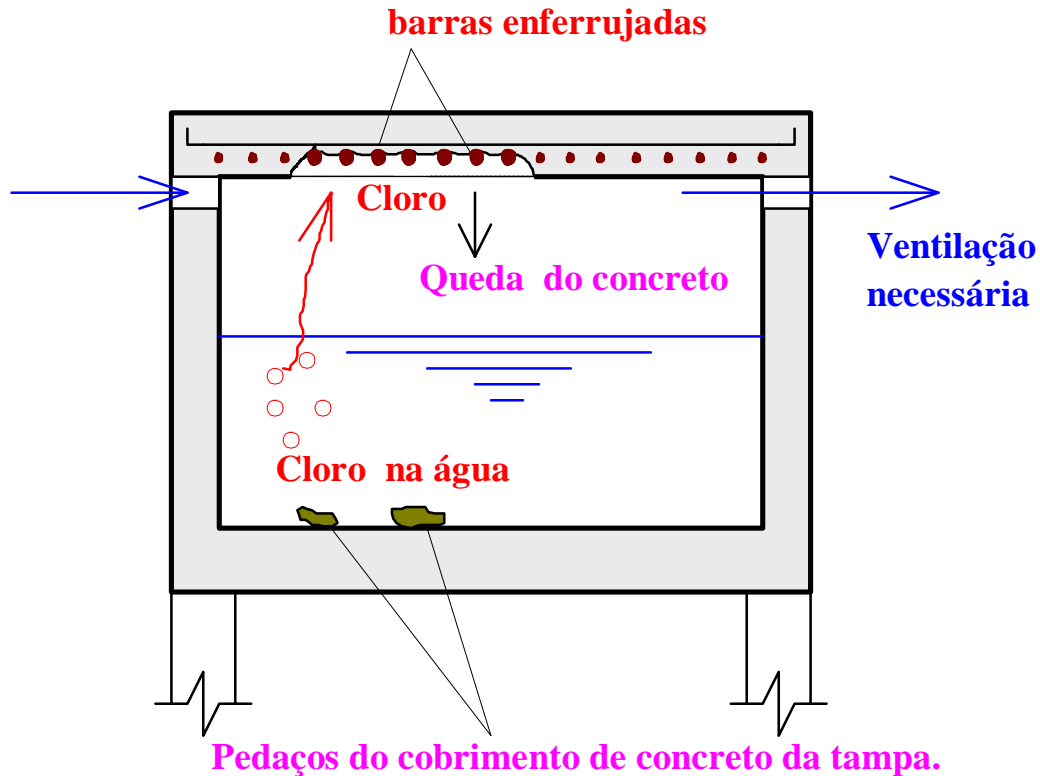
**OBSERVAÇÃO** : A queda do cobrimento de concreto das partes mais altas dos postes pode representar um risco para os pedestres. Em 1 dos postes que observamos pudemos constatar, de um dia para o dia seguinte, a queda de um volume de concreto de cerca de 1 litro, isto é cerca de 2 kilogramas .

## EXEMPLO Nº 85:

**TIPO DE ESTRUTURA :** Laje da tampa de caixas d'água

**FISSURAÇÃO :** Corrosão das armaduras inferiores da laje e descolamento do cobrimento de concreto.

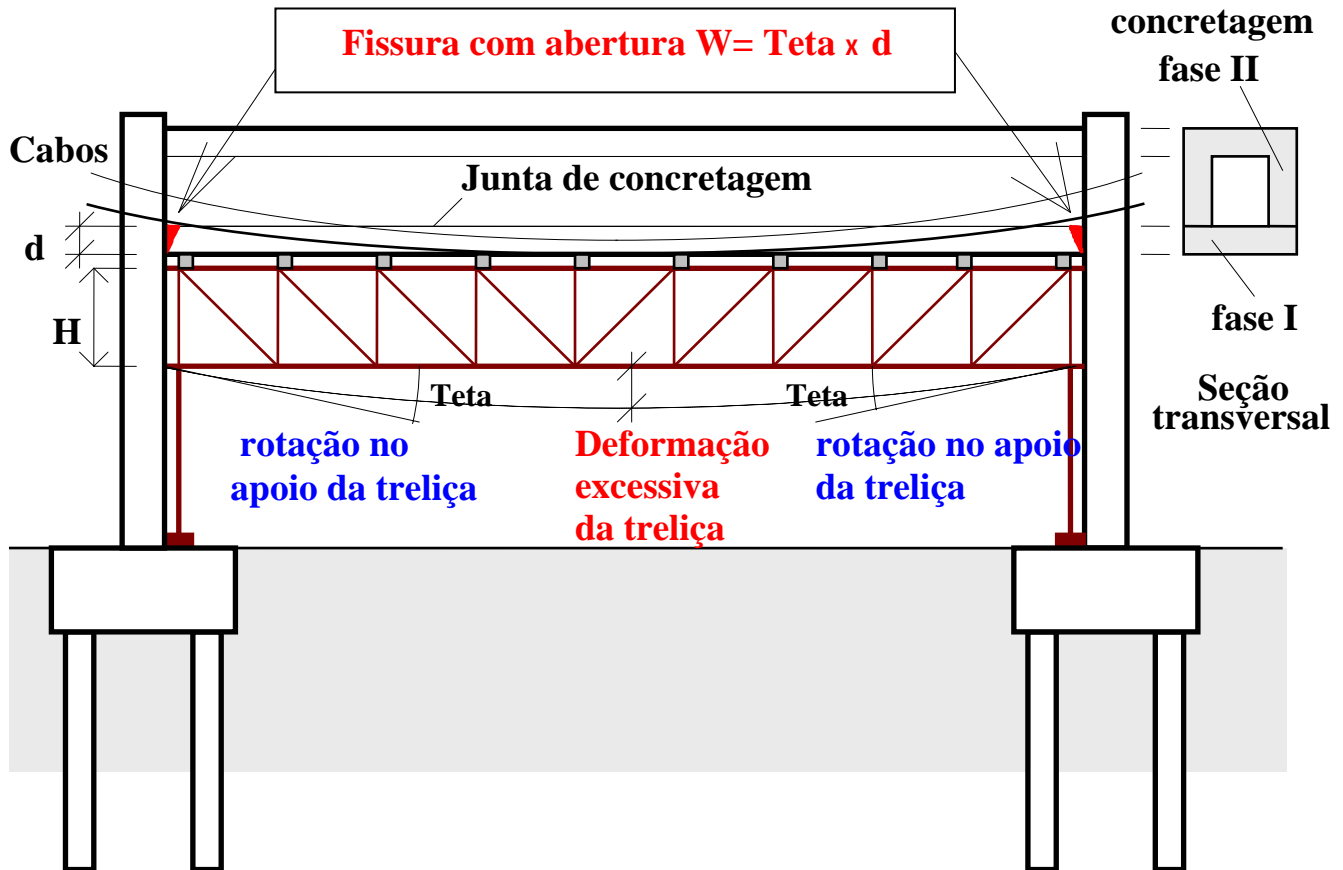
**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O cloro usado no tratamento da água potável das cidades se desprende quando essa água cai nas caixas d'água, e se acumula junto ao fundo da laje da tampa. Aí penetra no concreto da laje e destrói a camada protetora das armaduras dessa laje. A corrosão então se inicia e as armaduras oxidadas se expandem rompendo o concreto do cobrimento, que se desprende em grandes áreas e cai no fundo da caixa d'água. A corrosão prossegue então mais rapidamente do que antes podendo acontecer a ruptura da laje por insuficiência de armadura.

**SOLUÇÃO :** Nas obras existentes remover todo o concreto danificado, substituir as armaduras corroídas, restaurar o concreto do fundo da laje com concreto projetado ou com argamassa colocada adequadamente. Colocar impermeabilização protetora no fundo da laje de modo a evitar que o fenômeno recomece. Criar um sistema de ventilação adequado, com aberturas laterais, para evitar que o gás cloro fique aprisionado junto ao fundo da laje da tampa da caixa. Nas obras novas estudar o sistema de ventilação mais adequado.

**OBSERVAÇÃO :** É difícil manter ventilado e limpo o espaço superior da caixa d'água e ao mesmo tempo evitar a penetração de insetos ou outros animais que possam comprometer a potabilidade da água do reservatório.

**EXEMPLO Nº 86:****TIPO DE ESTRUTURA :** Pórtico de concreto protendido, com seção em forma de caixão.**FISSURAÇÃO :** Fissuras verticais na laje inferior, próximas aos pilares, a partir da junta de concretagem.**ESQUEMA :**

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A deformação excessiva da treliça de escoramento causa uma grande rotação junto aos apoios da treliça. Quando da concretagem das vigas (fase II), a laje inferior, já concretada (fase I) e endurecida, não resiste à rotação imposta e fissa. Após o endurecimento do concreto da fase II, a fissura aberta na laje não fecha mais, mesmo ao se protender os cabos da viga.

**SOLUÇÃO :** Usar escoramento suficientemente rígido que não permita rotação exagerada nos apoios. Com uma tensão de flexão ( $\sigma$ ), no aço da treliça, a rotação  $\theta$  (teta) nos apoios da treliça

será  $\theta = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{L}{H}$ . Com a tensão  $\sigma = 80\text{MPa}$  e  $E = 210\text{ GPa}$  temos  $\theta$  (teta) =  $(0.25/1000) \cdot (L/H)$

**radianos** onde : L= vão da treliça ; H= altura da treliça.

A abertura da fissura na laje da 1ª fase de concretagem será :  $w = \theta$  (Teta).  $d$ , com  $d$  = espessura da laje.

Exemplo : L = 20m ; H = 3m ; d = 0.3m ; tensão no aço = 80MPa ; Teta = 0.0017radianos

$w = 0,0017 \cdot 0,30\text{m} = 0,0005\text{m} = 0.50\text{mm}$  (**inaceitável !**)

Se essas condições de execução forem incontornáveis, deve-se prever armadura na face superior da laje inferior para reduzir a abertura dessas fissuras.

Na obra por nós observada a solução foi a demolição da viga e o seu refazimento.

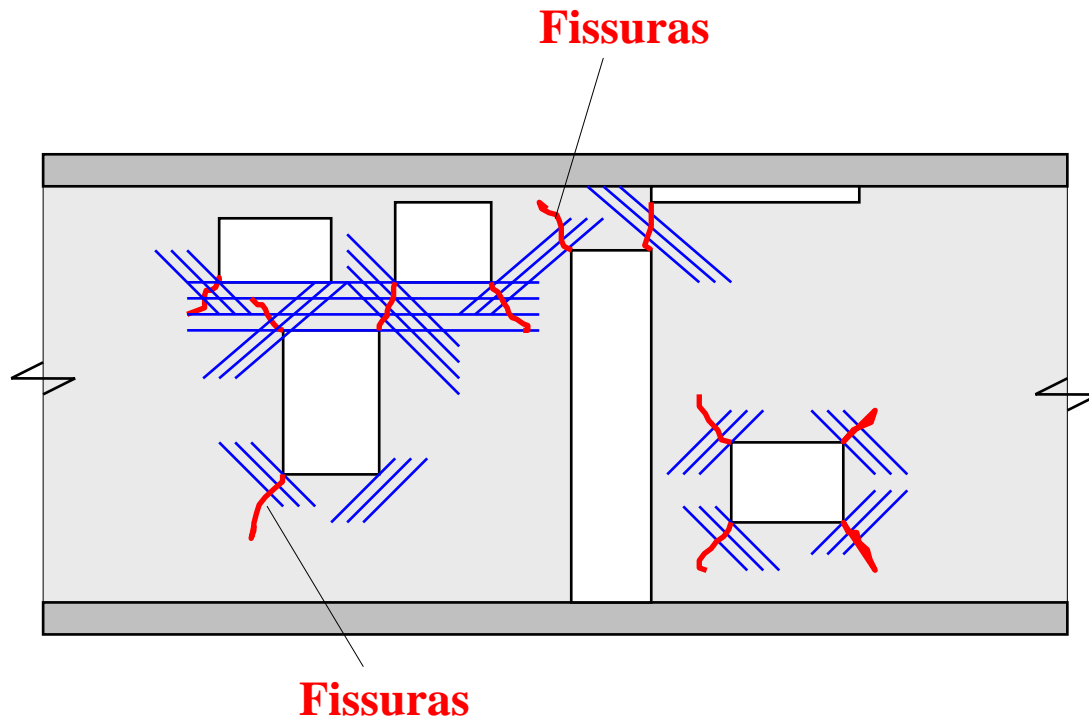
**OBSERVAÇÃO :** Esse tipo de fissura impede a formação da 1ª biela inclinada que transmite carga ao pilar. A viga vai funcionar com uma altura reduzida e a verificação "como construído" da segurança à ruptura da estrutura deve ser feita levando isso em conta.

**EXEMPLO N° 87:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Paredes de concreto armado com muitas aberturas.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras geralmente inclinadas ligando os cantos das aberturas.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A retração térmica devida ao resfriamento do concreto, aquecido durante a hidratação do cimento, e a retração hidráulica associadas à variação de temperatura do meio ambiente geram concentração de tensões de tração junto aos cantos das aberturas, e em consequência geram as fissuras.

Esse tipo de fissuração também ocorre nas lajes (ver exemplo n° 7).

**SOLUÇÃO :**

São necessárias armaduras inclinadas junto a esses cantos de aberturas .

Para evitar dificuldades de concretagem essas armaduras não devem ser colocadas distribuídas ao longo da espessura da parede. A armadura mais eficiente é a colocada distribuída na face lateral da parede, como indicado na figura.

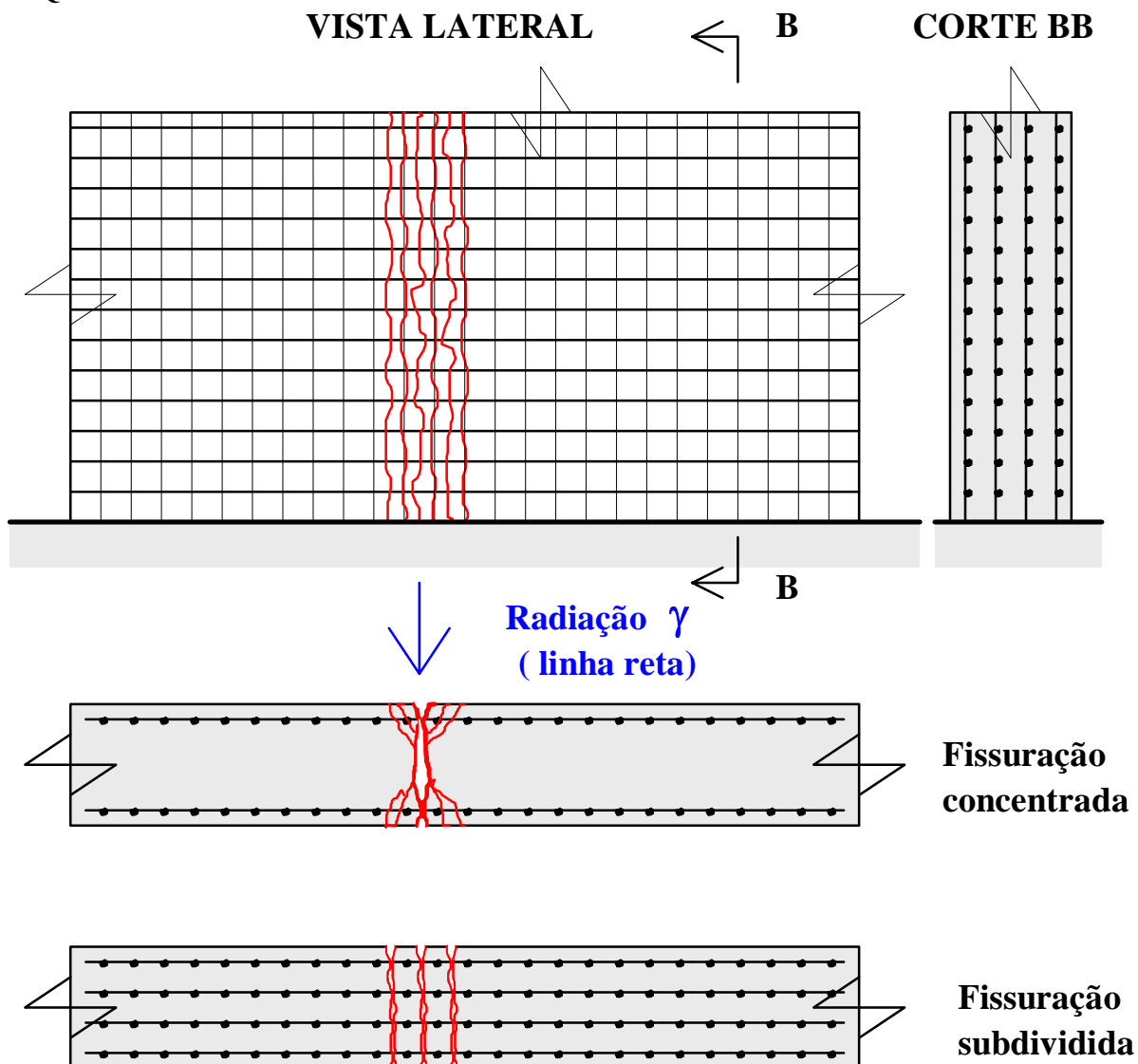
**OBSERVAÇÃO :** Como é quase imprevisível a posição exata dos locais onde surgirão as fissuras é recomendável colocar as armaduras inclinadas em todos os cantos das aberturas.

**EXEMPLO Nº 88:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Parede de reservatório d'água ou parede para proteção radiológica, raios Gama, por exemplo.

**FISSURAÇÃO :** Fissura de "reunião" no interior da parede com conseqüente vazamento de líquido ou redução da proteção radiológica.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Como as armaduras para controle da abertura de fissura são , em geral, colocadas apenas próximo às superfícies das estruturas, a abertura das fissuras no interior das peças é maior que a das fissuras na superfície. A fissura no centro da peça é a **reunião** de diversas fissuras de superfície.

**SOLUÇÃO :** Se a estrutura é uma estrutura de vedação , por exemplo uma parede de reservatório de água , pode ser necessário colocar várias malhas de armadura ao longo de toda a espessura da parede, para reduzir a abertura da fissura e em conseqüência reduzir a perda do líquido através das fissuras. As malhas internas devem ser colocadas defasadas das malhas da superfície para redistribuir as aberturas das fissuras.

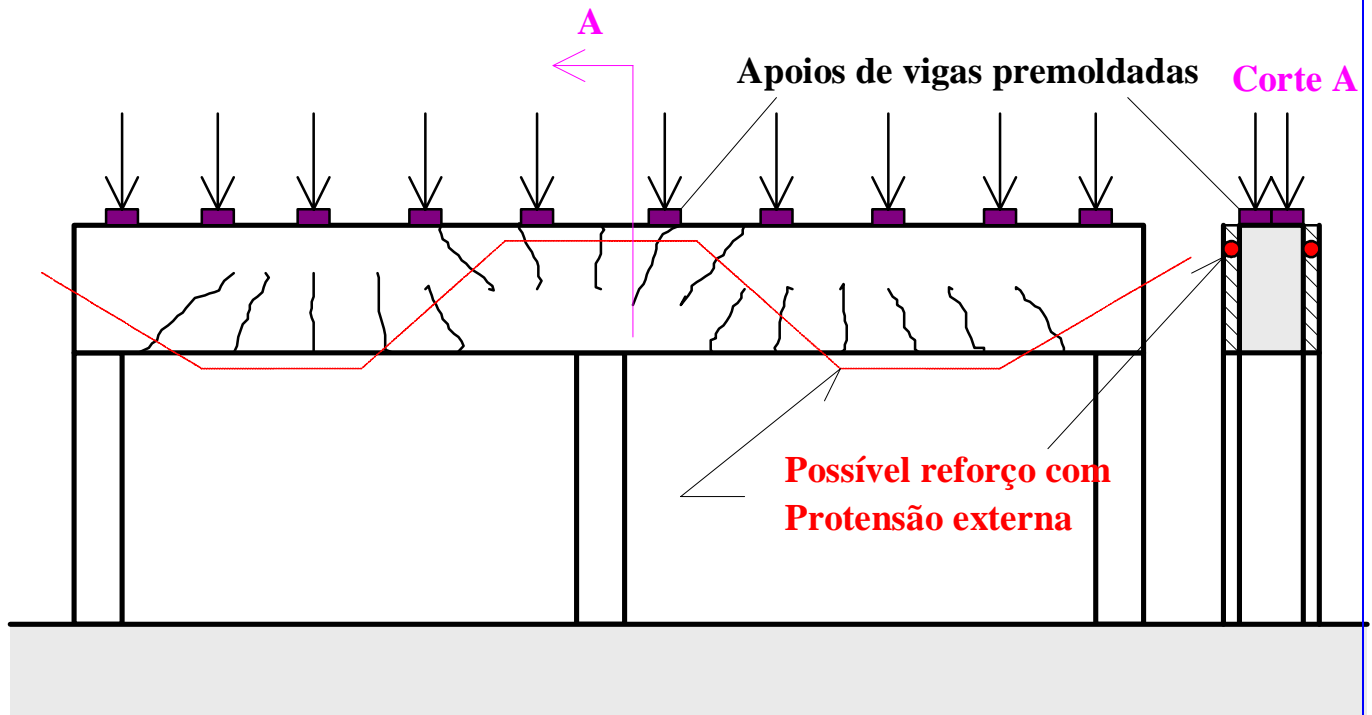
**OBSERVAÇÃO :** Em casos de paredes de proteção radiológica, a raios gama, por exemplo, deve-se também utilizar essas armaduras no interior das paredes, para reduzir a abertura de fissura. Como os raios gama só se propagam em linha reta, quanto mais camadas de armadura houver, menor será a fissura e menor a probabilidade da parede ser atravessada em linha reta por um raio gama.

## EXEMPLO Nº 89:

**TIPO DE ESTRUTURA :** Travessa de apoio de longarinas premoldadas .

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissuração generalizada de flexão e de cisalhamento em todos os vãos e apoios .

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Existem varias fissuras verticais e inclinadas , já tratadas, na face inferior , nas faces laterais , tanto nos vãos como sobre o apoio intermediário ( bordo superior). Essas fissuras devem ser originárias de possível excesso de carga do tráfego atual sobre as travessas e/ou de provável deficiência na análise estrutural inicial.

**SOLUÇÃO :** O aspecto visual da fissuração foi agravado pela recuperação feita com a colocação de massa epoxi com largura de 2 a 4 cm em fissuras que tinham apenas aberturas de cerca de 0,30mm . Certamente a estrutura está próxima do estado de "fissuração consolidada", isto é, já se formaram todas as fissuras e a partir de agora, com um aumento de carga, as fissuras já existentes vão aumentar de abertura. Isto sugere que o comportamento global da estrutura deve ser verificado, avaliando-se a segurança estrutural para cargas mais compatíveis com os veículos atuais.

Certamente é necessária uma protensão externa reforçando a estrutura como indicado na figura.

**OBSERVAÇÃO :** Mesmo antes de serem implementadas as medidas de reforço necessárias deve-se manter a observação permanente da estrutura para detectar eventuais surgimentos de novas fissuras ou o aumento da abertura das já existentes.

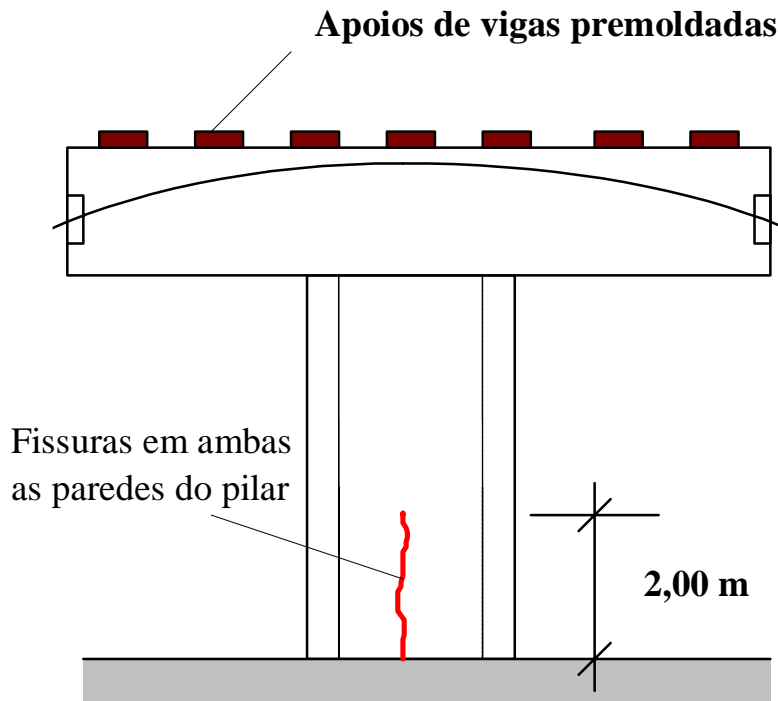


## EXEMPLO Nº 90:

**TIPO DE ESTRUTURA :** Pilar com seção celular com travessa em concreto protendido.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissura vertical da base do pilar até uma altura de cerca de 2.0m, no centro das 2 paredes do pilar.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** As causas são as mesmas que as de outros exemplos aqui citados. Próximo à base do pilar, até a uma altura aproximadamente igual à largura do pilar, existem tensões de tração na direção horizontal do pilar devidas a :

- 1- Efeito da retração térmica impedida, retração essa devida à dissipação rápida do calor de hidratação do cimento do concreto das paredes do pilar, ( as possíveis fissuras surgem após curto prazo, isto é semanas ou mesmo dias) .
- 2- Efeito da retração hidráulica impedida, devida à perda de água para o meio ambiente com maior velocidade que essa mesma perda de água no bloco de fundação (as tensões e possíveis fissuras surgem após longo prazo, isto é, meses ou mesmo anos) .
- 3- As fissuras verticais se formam então preferencialmente "sobre" as barras verticais, onde existe uma concentração dessas tensões de tração.
- 4- Numa fase seguinte a corrosão já incipiente dessas barras de aço, agora expostas ao meio ambiente agressivo, se acelera e as barras oxidadas aumentam de diâmetro, incham, e finalmente "explodem" o concreto, que fica entre a barra de aço e a superfície da estrutura.

**SOLUÇÃO :** Para evitar esse surgimento de fissuras deve-se no projeto prever armadura horizontal até a uma altura igual à largura total do pilar, e na execução da obra realizar uma concretagem com concreto frio e protegê-lo de resfriamento rápido como também de uma secagem rápida. No caso de fissuras já existentes só há uma solução: Injeção das trincas ou fissuras considerando o fato de que elas não têm mais movimento.

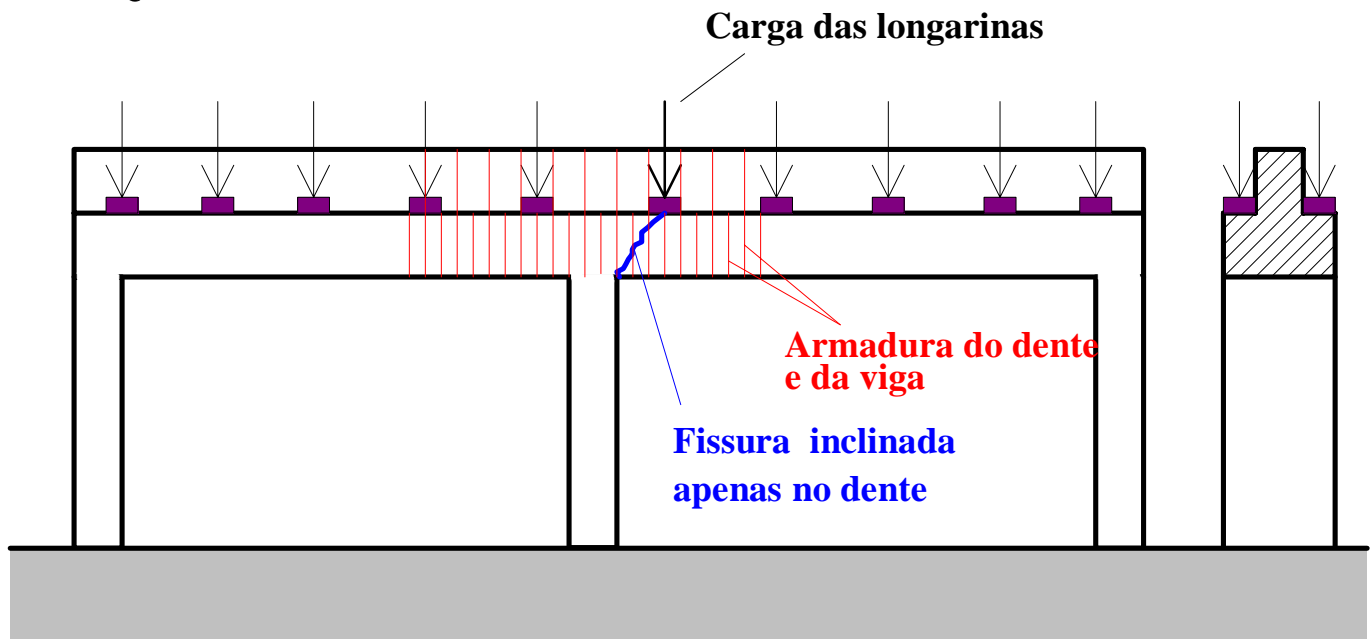
**OBSERVAÇÃO:** Esse tipo de fissuração é tão frequente que se torna até monótono repeti-lo aqui nesses casos reais observados, mas cremos necessário fazê-lo até que não mais ocorram fissuras como essas nas obras.

**EXEMPLO Nº 91:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Travessa de apoio de longarinas premoldadas .

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissura inclinada na travessa próximo ao apoio central, imediatamente a direita do pilar .

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A fissura inclinada no dente da travessa, a direita do pilar é oriunda do fendilhamento da biela que leva a carga da longarina mais próxima do pilar diretamente para esse pilar. O fato deveria ocorrer também com a longarina da esquerda, porém a resistência a tração do concreto pode ser maior aí e nada ocorreu . O calculista «suspendeu» a carga da longarina atuante no dente da travessa para a parte central alta da travessa e daí em diante a viga foi armada de modo usual . No entanto a estrutura não seguiu a hipótese do cálculo e a carga da longarina se dirigiu diretamente para o pilar formando uma biela comprimida e essa biela fendilhou.



Dois pórticos apresentaram o mesmo tipo de fissura

**SOLUÇÃO:** Em projetos com situações semelhantes é necessário verificar o possível fendilhamento da biela criada pela transmissão direta de carga ao apoio e se preciso for colocar armadura de fretagem para reduzir a abertura dessa eventual fissura de fendilhamento. Num caso em que essa fissura já existe deve-se verificar também se essa biela já fissurada tem suficiente segurança à ruptura. Se não tiver, torna-se indispensável alargar o pilar de modo a garantir a transmissão da carga diretamente a esse pilar.

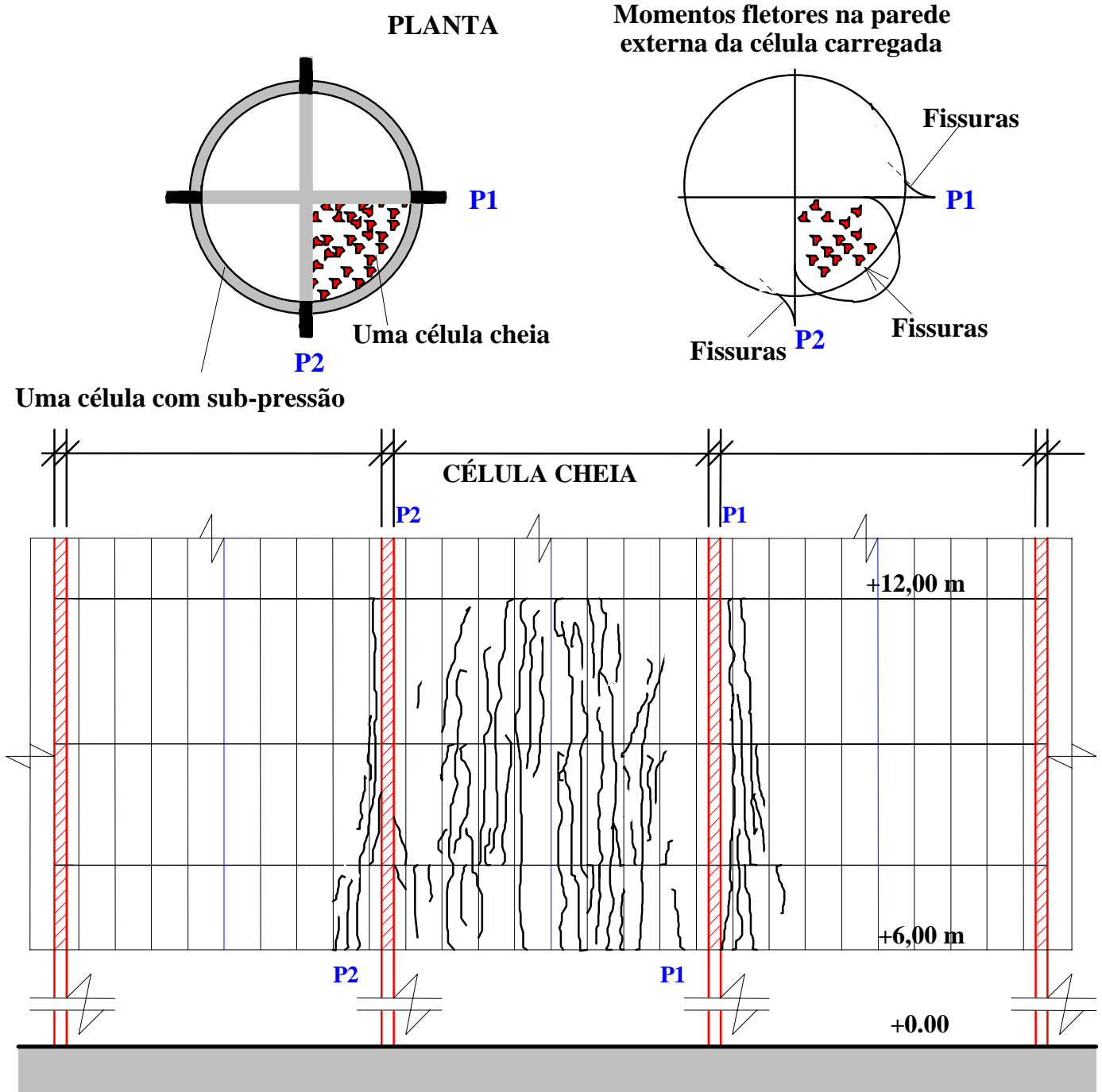
**OBSERVAÇÃO:** Nem sempre o modelo estrutural adotado no projeto é o modelo que ocorre na realidade. Em caso de dúvida a regra prática do Prof. Schlaich se aplica : "o modelo mais próximo da realidade é o que requer menos armadura ".

**EXEMPLO Nº 92:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Silos circulares de concreto armado com septos transversais

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissuras verticais nas faces externas das paredes externas do silo.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :** Fissuras verticais exatamente nas regiões onde os momentos fletores tracionam a face externa do cilindro do silo.



**VISTA LATERAL = FACE EXTERNA DO SILO ( desenvolvida)**

**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Material de enchimento do silo com peso específico maior que o previsto no projeto. Além disso no caso de carregamento com uma só célula carregada o modelo estrutural não considerou a deslocabilidade horizontal dos pilares.

**SOLUÇÃO :** Protender o cilindro externo do silo com cabos circulares envolvendo o cilindro.

**OBSERVAÇÃO :** Os modelos tridimensionais de elementos finitos permitem hoje em dia uma análise correta de estruturas desse tipo com carregamentos não axi-simétricos.

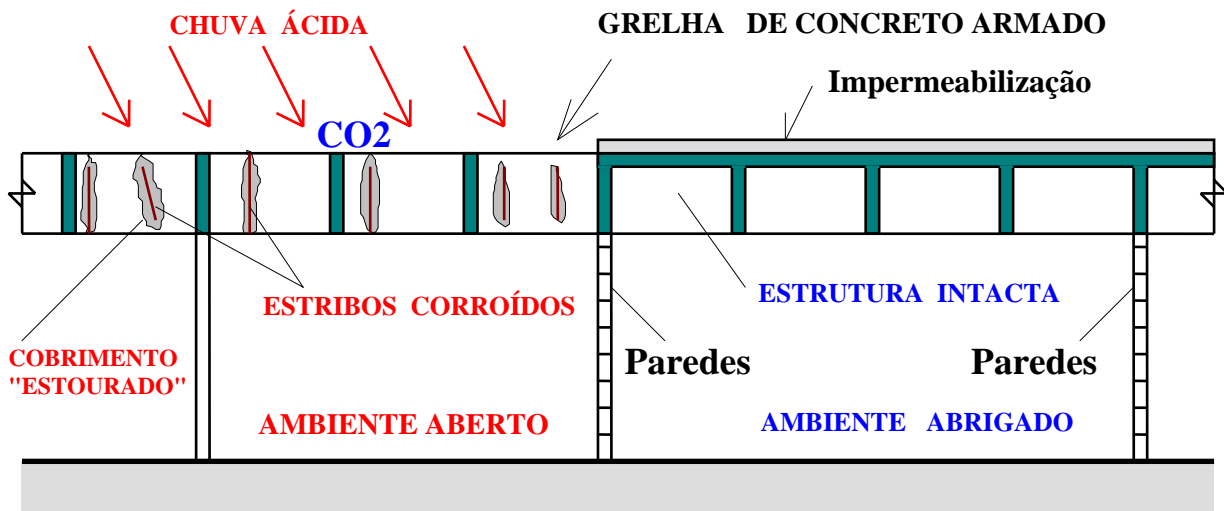
## EXEMPLO Nº 93

**TIPO DE ESTRUTURA :** Grelha de laje de cobertura em concreto armado.

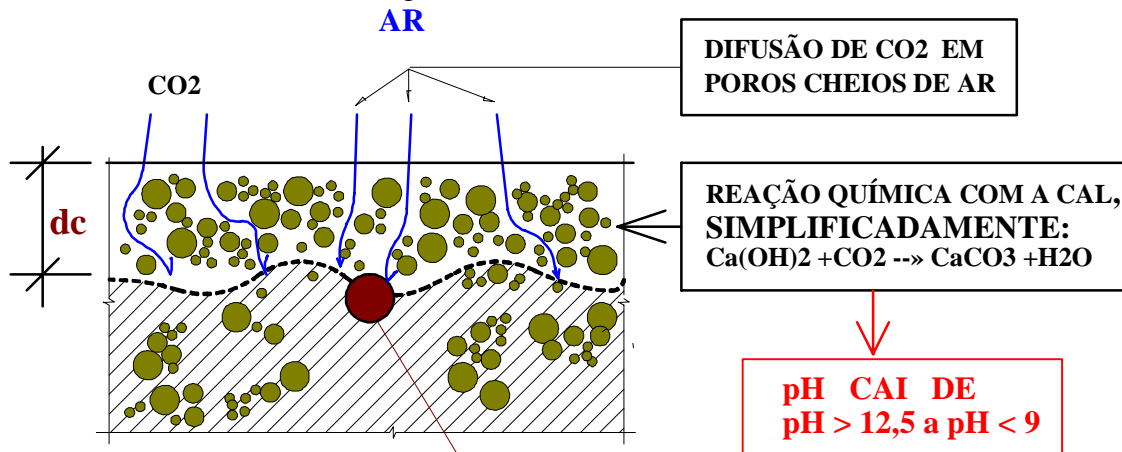
Idade da estrutura cerca de 25 anos.

**TIPO DE FISSURA OBSERVADA :** Fissuras verticais sobre vários estribos na região sem laje.

### ESQUEMA DAS FISSURAS :



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** O valor do pH da água nos poros do concreto atinge até  $\text{pH} \geq 12,5$ . No caso de valores altos do pH, forma-se na superfície das barras de aço uma camada microscópica de óxido, a chamada camada passiva. A camada passiva impede a dissolução do ferro. A atuação do  $\text{CO}_2$  da atmosfera sobre a estrutura, penetrando pelos poros do concreto, resulta na redução do pH do concreto do cobrimento e em consequência na destruição da camada passiva que protege a superfície das barras de aço. Esse efeito da atuação do  $\text{CO}_2$  é a chamada carbonatação do concreto, conforme mostra a figura abaixo.



### Barra de aço na área "dc" já carbonatada

Devido à carbonatação, o valor do pH pode ser reduzido localmente ou em grandes áreas na superfície. Se o valor do pH do concreto cair abaixo de 9 junto à armadura, a camada passiva será perdida e em consequência a proteção contra a corrosão. A corrosão da armadura, é então possível se existirem umidade e oxigênio em quantidades suficientes. Esta condição é satisfeita normalmente em estruturas ao ar livre.

**SOLUÇÃO:** Cobrimento de 3 a 4 cm garantido por uma execução cuidadosa.

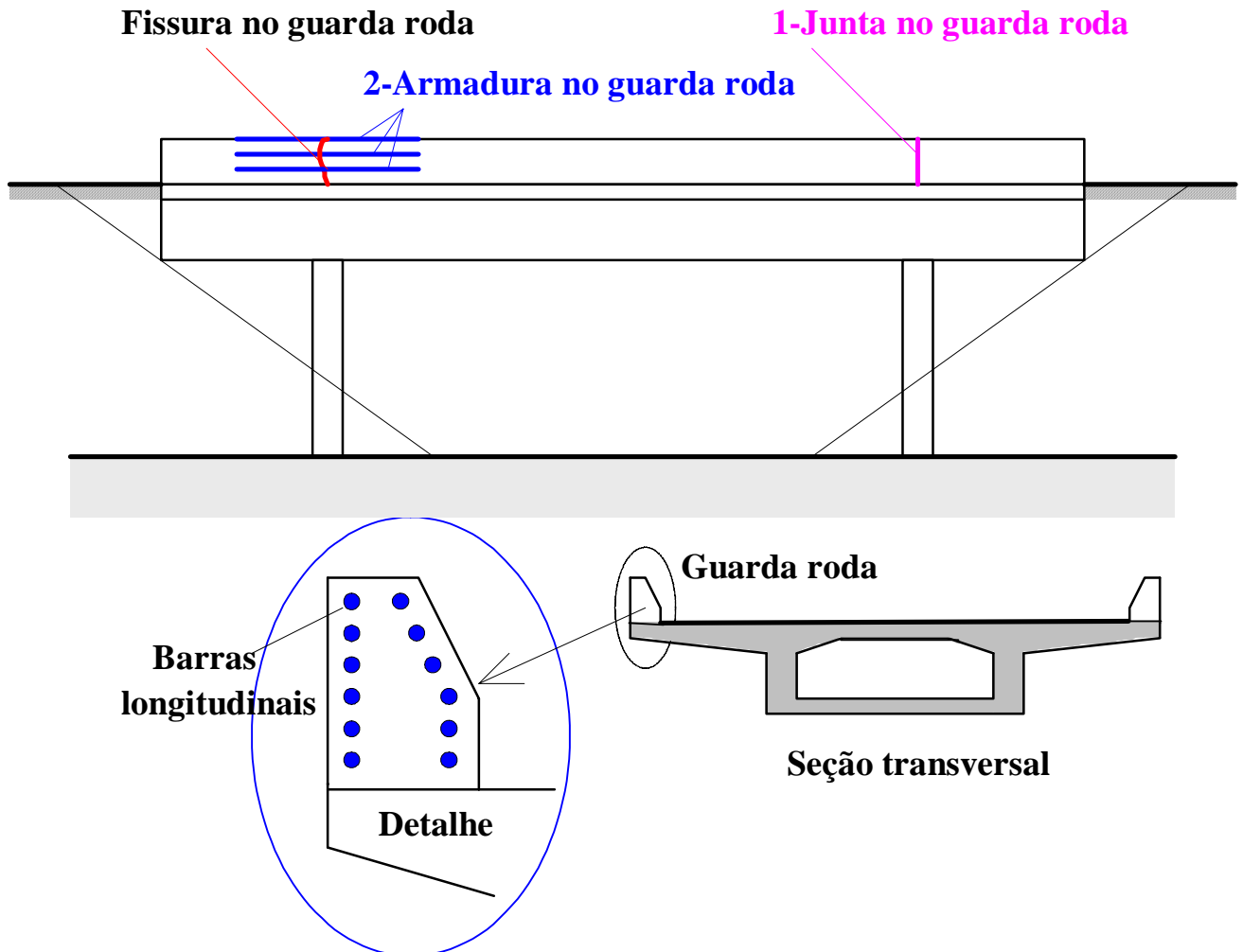
**OBSERVAÇÃO:** Uma chuva ácida ( $\text{pH} < 7,0$ ) sobre a estrutura, reduzindo o pH do concreto pode acelerar a destruição da camada passiva que protege o aço. Isto ocorre em áreas com grande concentração de indústrias poluidoras da atmosfera. No Rio de Janeiro, medições feitas pelo INPE/60 / indicaram " uma chuva com  $\text{pH} = 5,6$ , mas há um índice muito alto de cálcio e amônio, que neutralizam a ação dos componentes ácidos ".

## EXEMPLO Nº 94:

**TIPO DE ESTRUTURA :** Viaduto com tabuleiro celular

**FISSURAÇÃO :** Fissuras no guarda rodas na região dos pilares

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** O guarda rodado, sendo contínuo, acompanha a flexão do tabuleiro e fissa na região dos apoios por não ter armadura adequada. Temos aqui a chamada **flexão de compatibilidade !**

O guarda rodado não tem função estrutural a não ser para resistir impactos laterais e por isso sua armadura longitudinal é mínima.

A retração impedida pelo tabuleiro quando da concretagem do guarda rodado também pode causar fissuras verticais.

**SOLUÇÃO :**

1 - Usa-se seccionar o guarda rodado sobre os pilares para evitar fissuras.

2 - O uso de armadura longitudinal adequada, pode tornar desnecessário esse seccionamento.

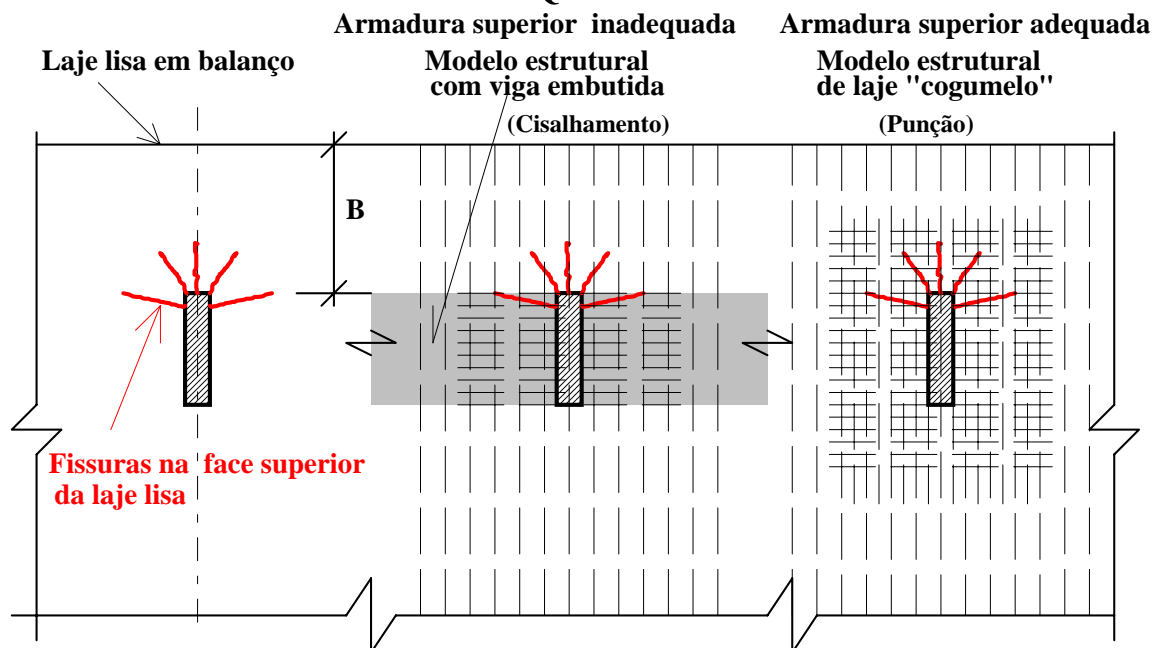
**OBSERVAÇÃO :** Cálculos mais precisos, mostram que o guarda rodado contínuo distribui longitudinalmente a carga dos veículos, quando trafegando sobre os balanços da laje do tabuleiro. Isto reduz as tensões na armadura transversal do balanço. Esse efeito, no entanto, não pode ser levado em conta, pois o guarda rodado pode ser destruído por um impacto, deixando de ser efetivo daí por diante.

**EXEMPLO Nº 95 :**

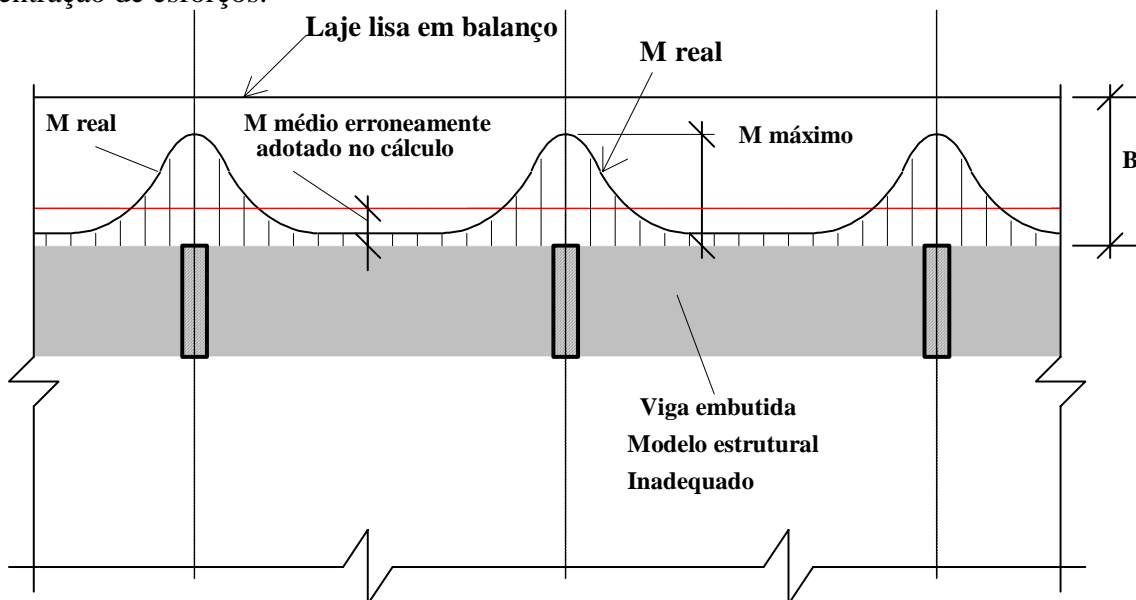
**TIPO DE ESTRUTURA :** Laje lisa em balanço em concreto protendido.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras radiais na face superior da laje junto ao bordo dos pilares, similar ao de uma "laje cogumelo".

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Diferentemente do suposto no cálculo, a laje não se apoia em uma «viga embutida» longitudinal apoiada nos pilares. O funcionamento real é similar ao de uma laje lisa ("cogumelo"). A carga da laje em balanço vai direto para os extremos dos pilares gerando aí uma concentração de esforços.



Os momentos fletores na laje, na região dos pilares, podem ser até 3 vezes maiores que os que se obtém com a hipótese da distribuição uniforme ao longo da «viga embutida» (faixa de apoio).

**M max.  $\approx$  3 M médio  $\approx$  3. (  $qB^2/2$  )**

**SOLUÇÃO :** Em lajes desse tipo, seja em concreto armado, seja em concreto protendido, é necessário um cálculo preciso para determinar os esforços solicitantes e em consequência a correta posição das armaduras ou dos cabos de protensão.

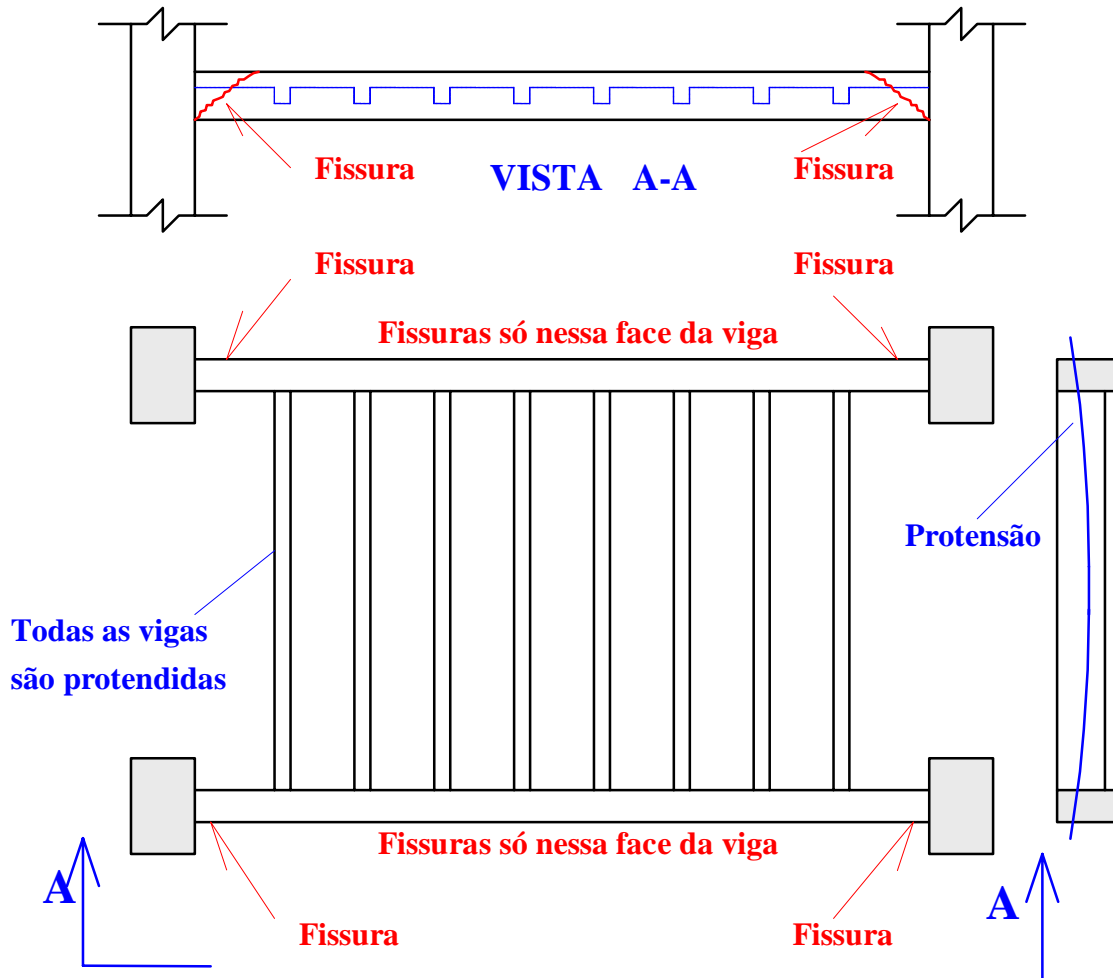
**OBSERVAÇÃO :** De qualquer modo é necessário concentrar as armaduras de flexão na região dos cantos do pilar e verificar a resistência à punção.

## EXEMPLO Nº 96 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Grelha em concreto protendido

**FISSURAÇÃO :** Fissuras inclinadas em viga de concreto armado.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A protensão das vigas da grelha impõe à viga principal, engastada nos pilares, uma rotação em torno de seu eixo o que produz uma torção nessa viga. Esse tipo de esforço é a chamada **torção de compatibilidade !**

As tensões de cisalhamento devidas a essa torção se somam às tensões de cisalhamento devidas à força cortante, em apenas uma das faces da viga. Nesta face se formam as fissuras não esperadas pelo projetista. A torção, não considerada no cálculo, é a causa das fissuras.

**SOLUÇÃO :** No cálculo das estruturas não se deve esquecer da torção de compatibilidade, não só ao se considerar as cargas permanentes e sobrecargas como também os esforços gerados pela protensão na fase de execução.

**OBSERVAÇÃO :** Vale lembrar que as tensões e as deformações em concreto protendido são a diferença entre as causadas pelas cargas atuantes e as causadas pela protensão. Como elas são da mesma ordem de grandeza, o resultado é que as deformações finais são pequenas.

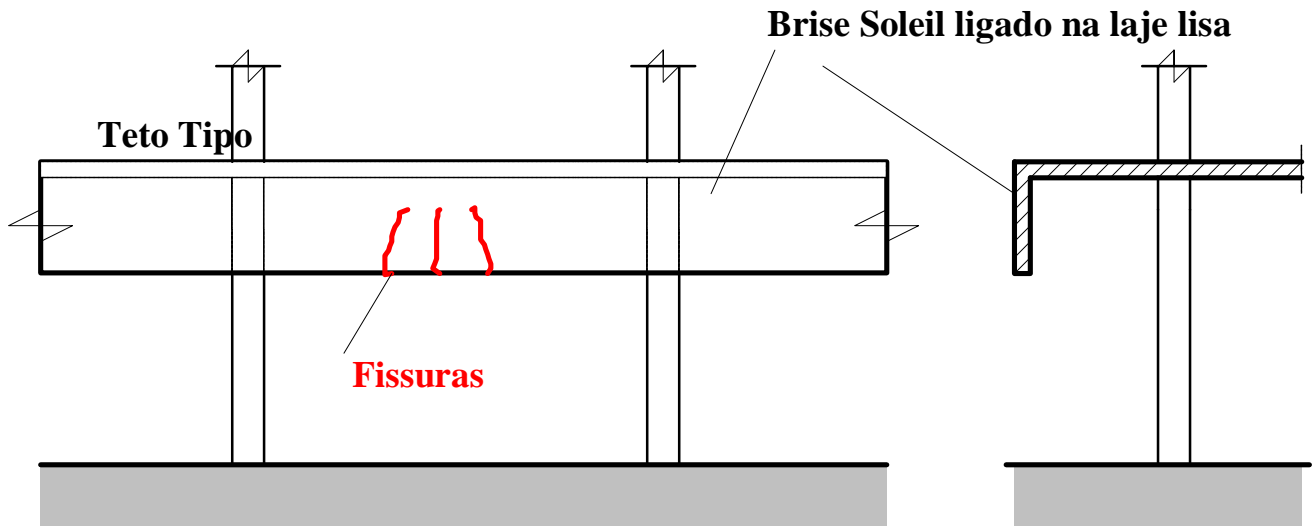
Na fase de construção, no entanto, apenas com o peso próprio da estrutura, a protensão pode vir a prevalecer e daí resultarem esforços e deformações não previstos para a obra pronta.

## EXEMPLO Nº 97:

**TIPO DE ESTRUTURA :** Brise Soleil ligado a borda de uma laje lisa em balanço.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras verticais no meio dos vãos.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** O Brise Soleil tenta acompanhar a deformação da laje, muito flexível, e não tendo armadura de flexão adequada, fissura no meio dos vãos, onde a curvatura da laje e em consequência o momento de flexão no brise soleil são maiores.

Seria o que chamamos **flexão de compatibilidade !**

Na linha dos pilares a armadura da laje funciona como armadura da viga e as fissuras não são perceptíveis.

**SOLUÇÃO :** Um cálculo preciso que considere a existência e a rigidez do Brise Soleil. Esse pode ser feito com o método dos elementos finitos. O resultado dessa análise é uma maior quantidade de armadura no Brise Soleil.

Mesmo com base em um cálculo aproximado deve-se estimar uma armadura a ser colocada no fundo da viga.

No caso de estrutura já existente vale lembrar que essas fissuras são ativas, isto é, sempre que atuar uma sobrecarga na laje as fissuras abrirão, não se devendo portanto fazer qualquer reparo com material rígido e sim com material deformável.

**OBSERVAÇÃO :**

Seccionar o brise soleil, de modo a eliminar a sua rigidez, é uma solução que não consideramos adequada pois cria alguns problemas arquitetonicos e outros, como falta de estanqueidade etc.

..

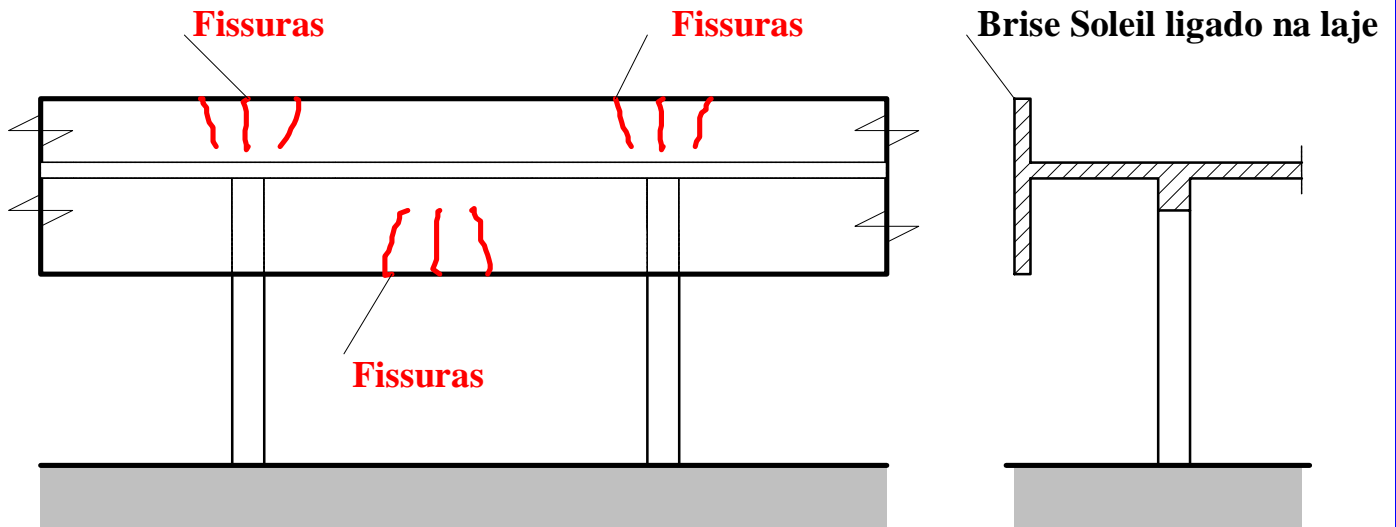


## EXEMPLO Nº 98

**TIPO DE ESTRUTURA :** Brise Soleil ligado a laje em balanço. Praticamente igual ao exemplo nº 63, porém, como é uma falha que se repetiu em outra obra, consideramos adequado insistir na sua apresentação, até para reforçar a advertência.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras verticais no meio do vão entre pilares e na linha dos pilares.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A flexão das vigas apoiadas nos pilares faz com que a laje também se deforme. O Brise Soleil ligado à laje também se deforma, e quando a sua armadura é insuficiente (como em geral é o caso), ele fissa. Novamente um caso de **flexão de compatibilidade !**

**SOLUÇÃO :** É idêntica ao do caso anterior nº 97, isto é, um cálculo preciso que considere a existência e a rigidez do brise soleil. Esse cálculo pode ser feito com o método dos elementos finitos.

O resultado dessa análise é uma maior quantidade de armadura no brise soleil.

Mesmo com base em um cálculo aproximado pode-se estimar uma armadura a ser colocada no fundo e no topo da viga do Brise Soleil.

No caso de estrutura já existente vale lembrar que essas fissuras são ativas, isto é, sempre que atuar uma sobrecarga na laje as fissuras abrirão, não se devendo portanto fazer qualquer reparo com material rígido e sim com material deformável.

**OBSERVAÇÃO :**

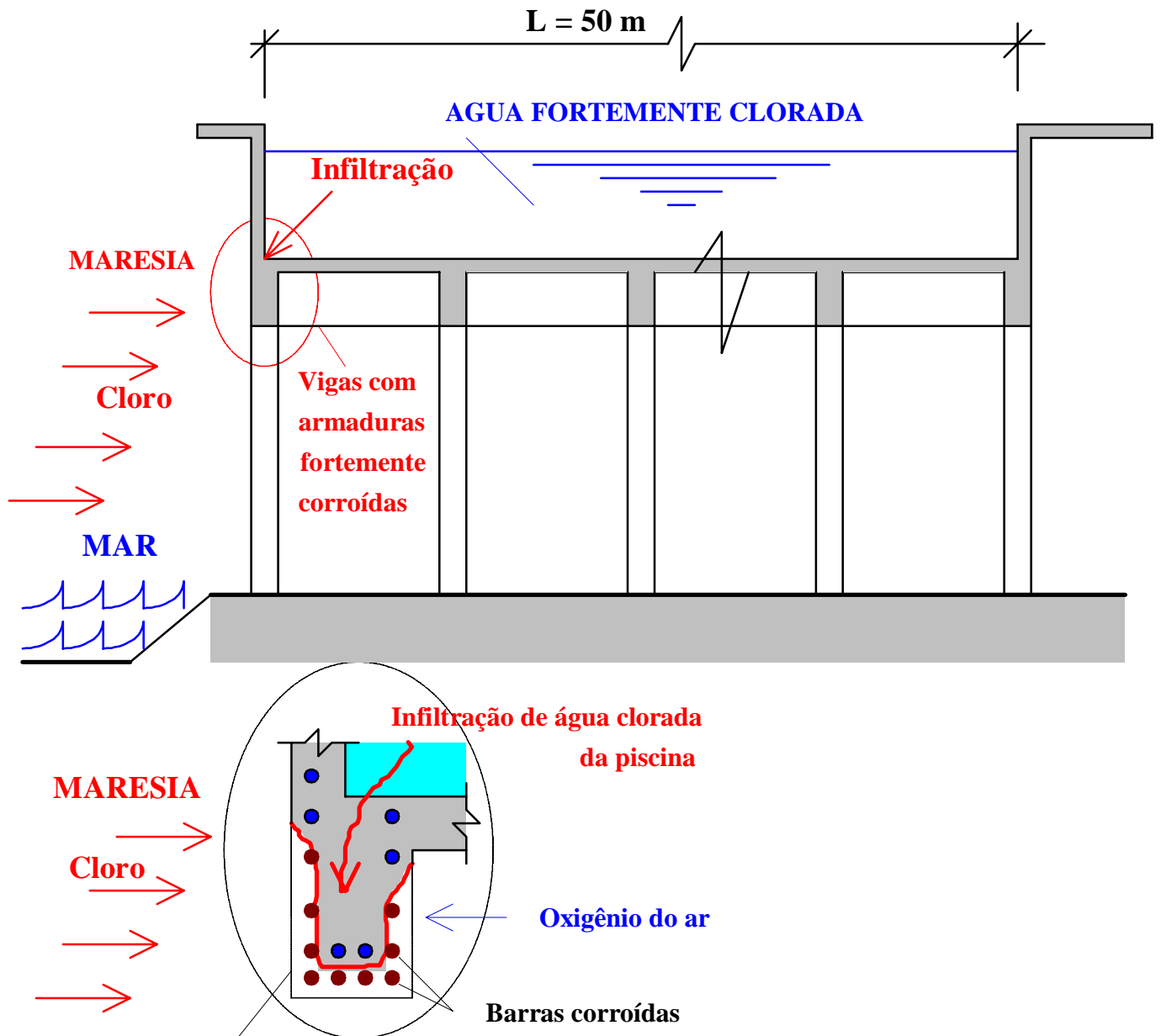
Como já dito no caso nº 97, seccionar o Brise Soleil, de modo a eliminar a sua rigidez, é uma solução que não consideramos adequada pois cria problemas arquitetônicos e outros, como falta de estanqueidade etc...

**EXEMPLO Nº 99:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura em grelha de concreto armado suportando uma piscina olímpica (50metros) elevada do solo cerca de 5metros. Idade da obra , cerca de 20 anos.

**FISSURAÇÃO :** Fissuração e queda do cobrimento das armaduras das vigas.

**ESQUEMA :**



**Cobrimento de concreto rompido deixando expostas as barras**

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** O cloro contido na água da piscina e na maresia ataca e destrói a camada passivadora que protege as barras de aço e a partir de então o oxigênio do ar começa a oxidar as barras, formando a ferrugem que é uma substância expansiva. Ao se expandir, a ferrugem rompe o cobrimento de concreto da barra oxidada. Essa ruptura longitudinal do cobrimento já indica um adiantado estado de corrosão das armaduras.

**SOLUÇÃO :** Eliminar as infiltrações da água da piscina, recompondo a impermeabilização interna da piscina. Substituir as armaduras corroídas. Refazer o cobrimento das vigas com argamassa epóxica bem adensada e bem acabada. Proteger a superfície do argamassa com material impermeável. Em obras novas usar cobrimento de concreto de 7 a 9 cm executado com concreto de alto teor de cimento, bem lançado (sem segregação), bem adensado e principalmente bem curado. O cálculo e o detalhe das armaduras nos cantos da piscina deve ser feito com barras inclinadas e com tensão baixa no aço para reduzir a fissuração e as infiltrações. A impermeabilização deve ser resistente à ação do cloro.

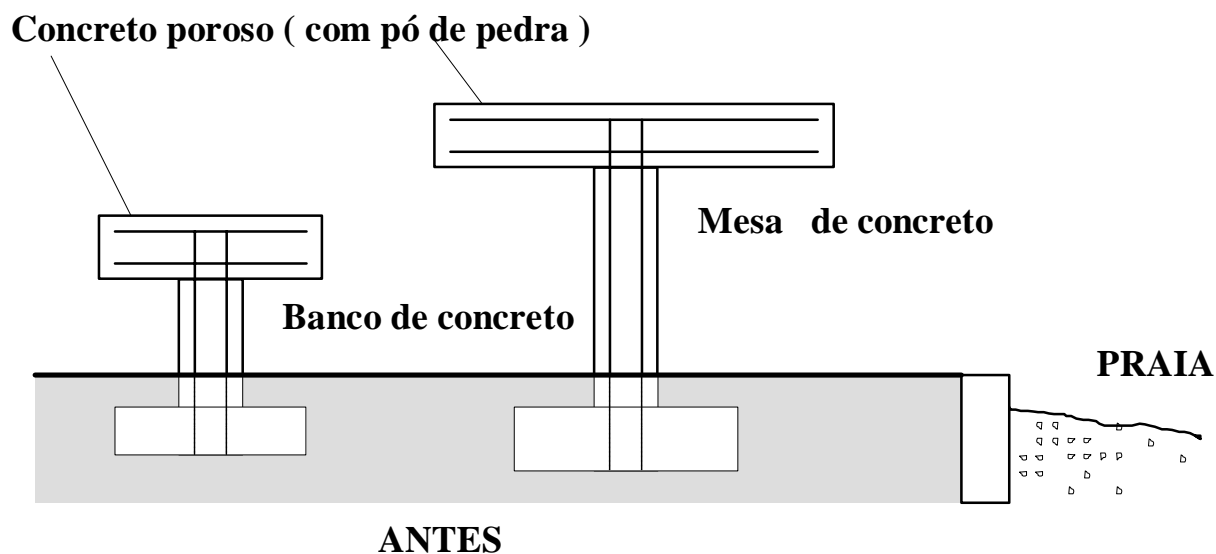
**OBSERVAÇÃO:** Hoje com o uso de microsílica e superplastificantes é possível executar concretos com permeabilidade a cloretos cerca de 5 vezes menor que os concretos usuais /39/.

### EXEMPLO Nº 100:

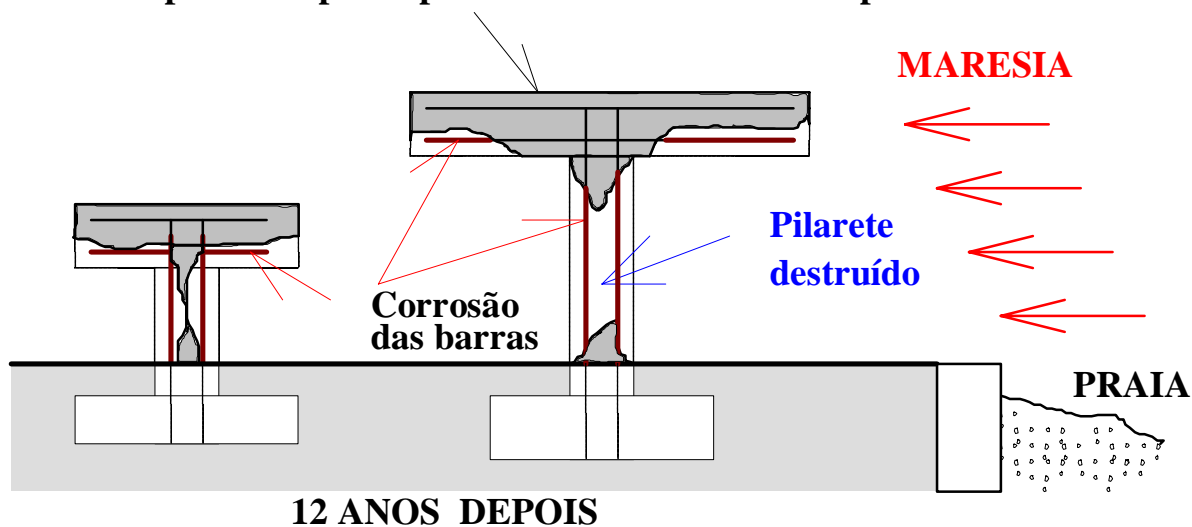
**TIPO DE ESTRUTURA** : Inúmeras mesas e bancos de concreto armado em jardim público junto à praia com ventos muito frequentes.

**FISSURAÇÃO** : Fissuração e queda do cobrimento das armaduras dos pilaretes e das lajes.

**ESQUEMA** :



**Mesa suportada apenas pela armadura corroída do pilarete**



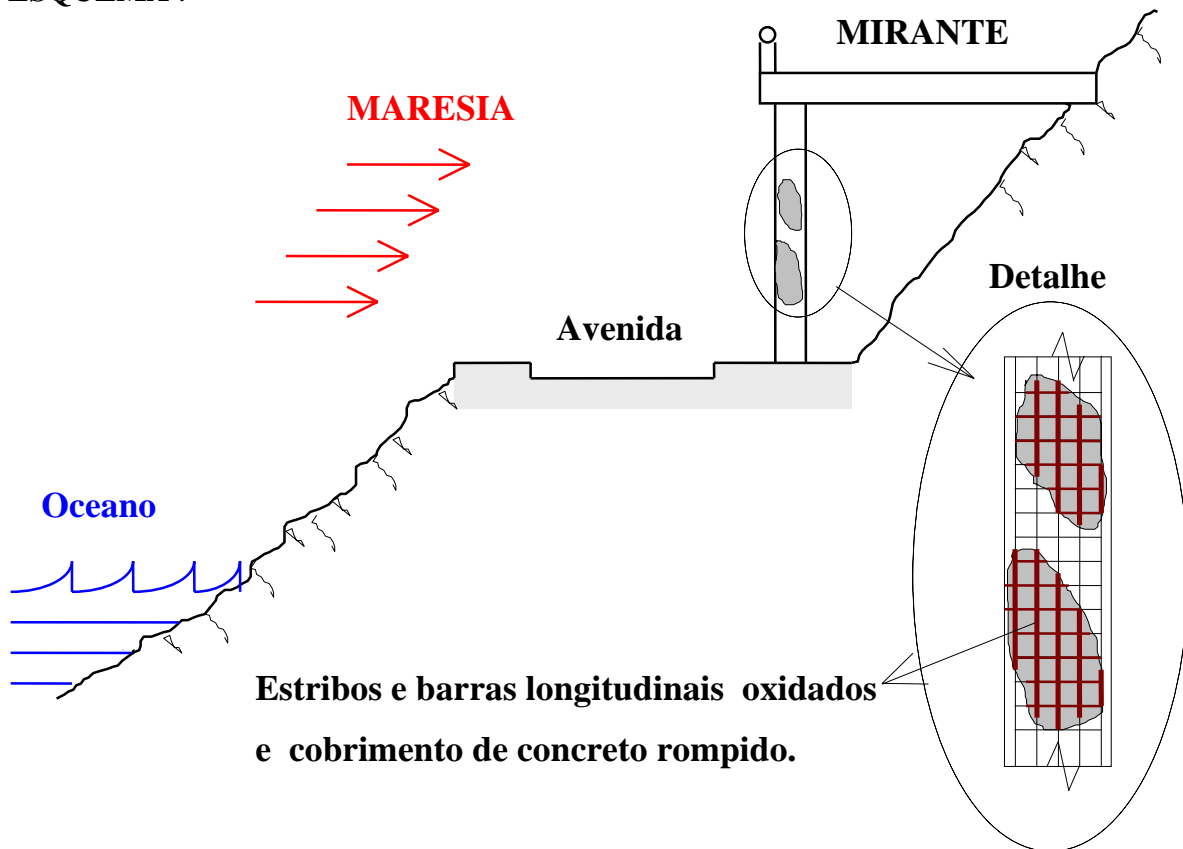
**CAUSA DA FISSURAÇÃO**: O concreto usado na execução das mesas e bancos era extremamente poroso, talvez para satisfazer ao aspecto desejado para o acabamento da superfície. O cloro contido na maresia penetrou facilmente no concreto poroso e destruiu a camada de proteção da armadura. A umidade elevada trazida do mar e o vento frequente criaram ciclos de molhagem e secagem que são sempre "aceleradores" para a corrosão.

A corrosão foi intensa e rápida.

**SOLUÇÃO** : No caso acima citado, foram refeitos vários bancos e mesas e reparados os demais. Como não se trata de estrutura de maior responsabilidade, não foi feita uma real recuperação estrutural e sim apenas reparos.

Em obras novas evitar concretos porosos principalmente em ambientes agressivos como a orla marítima.

**OBSERVAÇÃO**: No mesmo local, postes de concreto centrifugado protendido não apresentam sinais de corrosão acentuada. O concreto muito compacto impede a ação da maresia.

**EXEMPLO Nº 101:****TIPO DE ESTRUTURA :** Pórtico de concreto armado em frente ao oceano.**FISSURAÇÃO :** Fissuração e queda do cobrimento das armaduras dos pilares.**ESQUEMA :**

**Estribos e barras longitudinais oxidados  
e cobrimento de concreto rompido.**

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A estrutura mostrada se encontra num local ("microclima") muito adverso à durabilidade de estruturas de concreto armado pois ali estão presentes todos os fatores necessários à corrosão das barras de aço dentro do concreto:

Muito cloreto ( na maresia ), Muita umidade (devida ao mar), Muito oxigênio ( no ar). A corrosão é iniciada quando os cloretos penetram no concreto , dissolvidos nas minúsculas gotas d'água que formam a "maresia". Os cloretos destroem a camada passivadora que cobre e protege a superfície das barras da armadura ( um deles, o cloreto de sódio, é o nosso conhecido sal de cozinha ). O oxigênio do ar e a umidade existente no concreto permitem a formação de uma pilha eletrolítica e a corrosão é ativada. As barras corroídas se expandem e rompem o cobrimento. Aqui nesse exemplo, como também no exemplo nº 76, a corrosão começa nas "dobras" dos estribos dos pilares.

**SOLUÇÃO:** Delimitar a área danificada. Escarificar manualmente, retirando materiais soltos até atingir o concreto sã . Remover a corrosão das armaduras existentes. Limpar as superfícies através de jateamento com água com pressão. Aplicar "ponte de aderência" sobre o concreto velho, constituída de adesivo a base mineral ou de acrílico. Aplicar argamassa polimérica base cimento. ( ver /39/ e /41/ ).

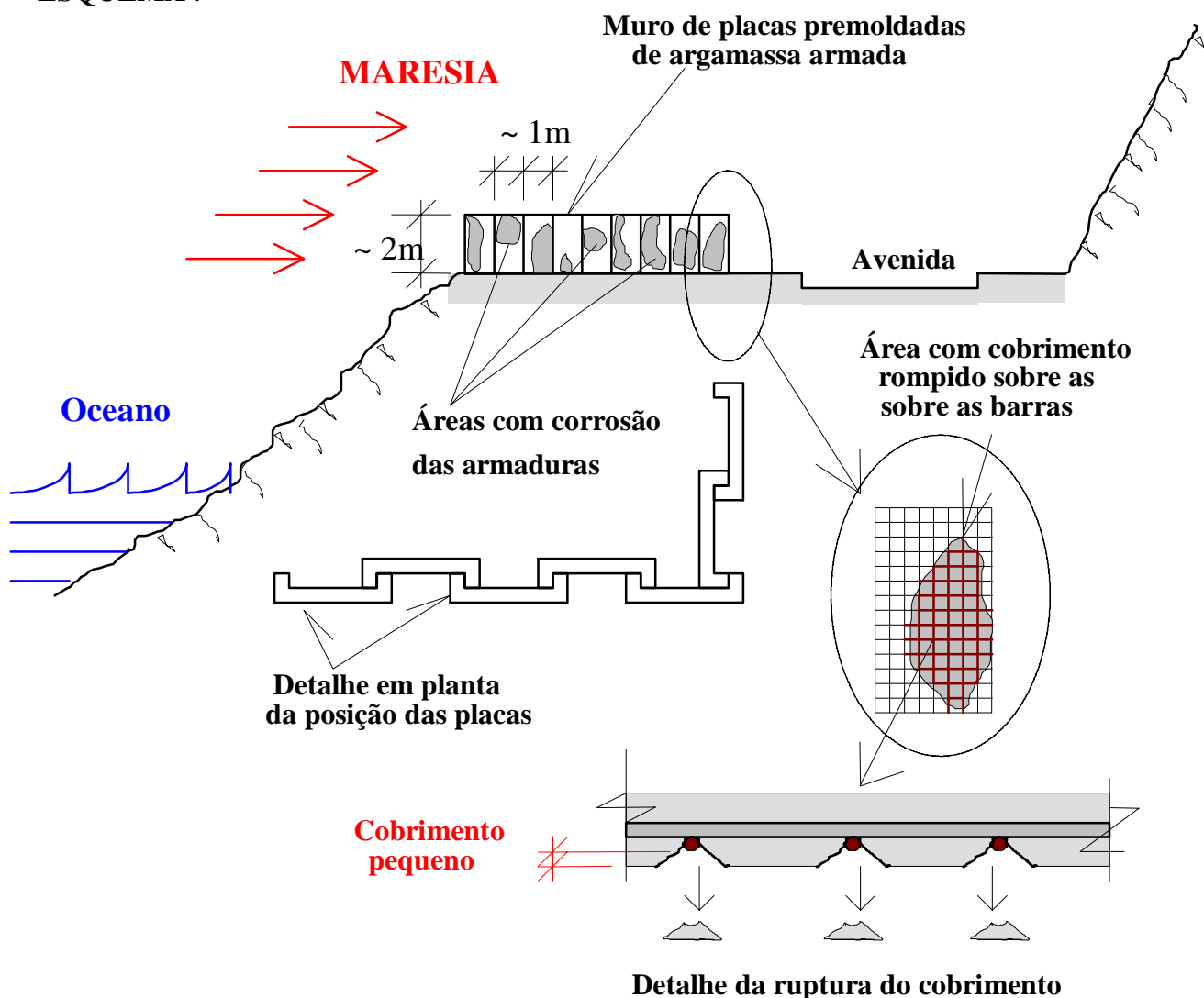
**OBSERVAÇÃO:** Em obras em locais como esse deve-se sempre usar cobrimentos de concreto com 4 a 5 cm de espessura. O concreto deve ter alto teor de cimento e ter execução cuidadosa para garantir um bom adensamento e em consequência uma baixa permeabilidade.

## EXEMPLO Nº 102:

**TIPO DE ESTRUTURA:** Muro de placas premoldadas de argamassa armada, junto ao mar.

**FISSURAÇÃO:** Corrosão das armaduras, fissuração e queda do cobrimento de argamassa.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Em geral, as peças premoldadas de argamassa armada possuem pequeno cobrimento. Embora contendo elevado teor de cimento e tendo tido uma cura submersa, esse pequeno cobrimento permite que os agentes agressores contidos na "maresia" penetrem até a malha de aço dentro das placas.

Muitas vezes também, o manuseio inadequado durante o transporte e montagem dessas peças premoldadas resulta em fissuras indesejadas ao longo das barras da tela de aço, dando origem a pontos fracos por onde penetra a maresia ou outro agente agressivo.

Nas partes da placa premoldada onde as barras de aço da armadura possuem "dobras" a corrosão é visivelmente mais rápida, confirmando observação feita em outras obras junto ao mar (ver exemplos nº 76 e 101).

**SOLUÇÃO:** Peças muito finas com pequeno cobrimento devem ter proteção superficial (materiais impermeabilizantes) para evitar a corrosão de sua armadura. Alguns tipos de peças podem não ter armaduras, desde que não tenham função estrutural importante.

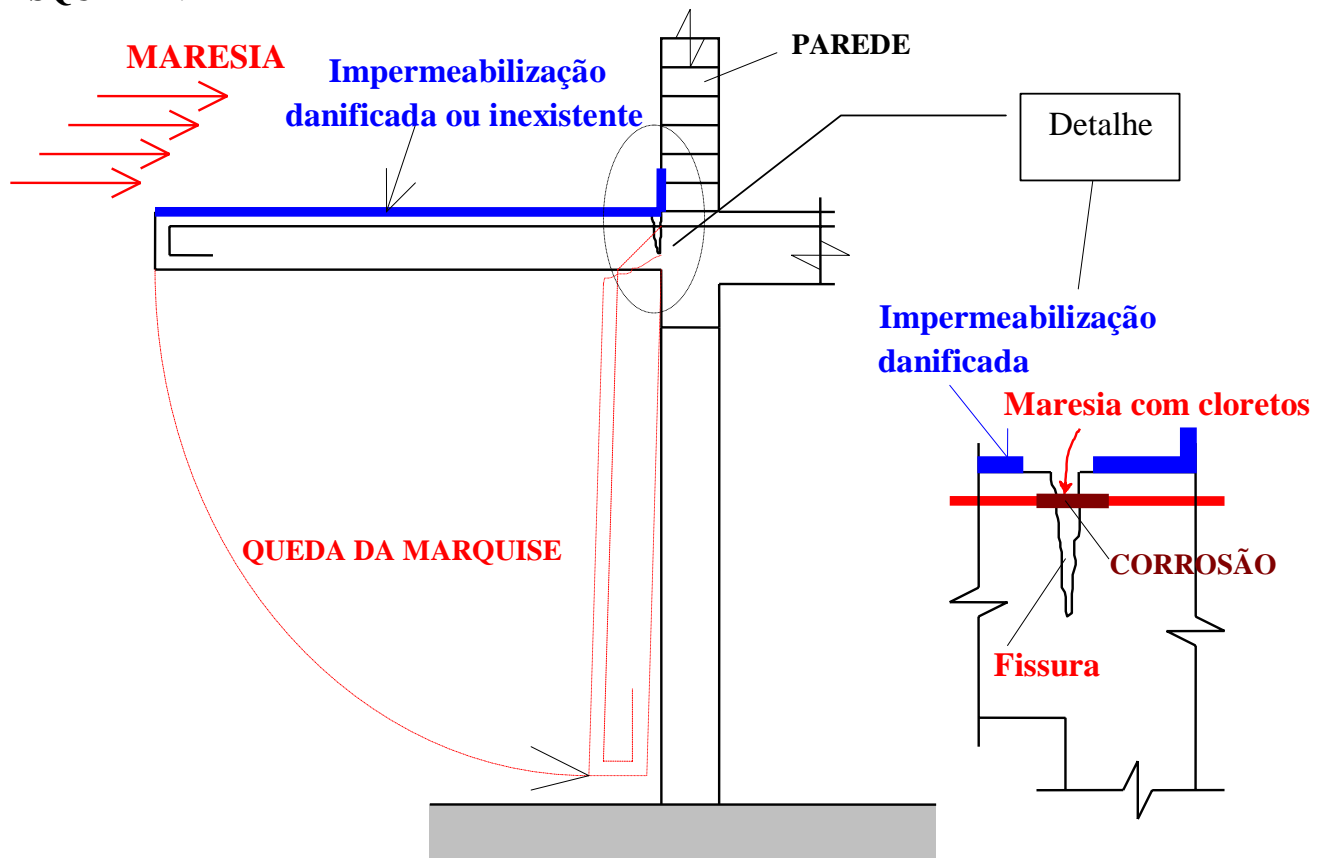
**OBSERVAÇÃO:** Uma sugestão feita para aumentar a durabilidade dessas peças premoldadas é o uso de microsilica na argamassa. É necessário avaliar o fator custo/benefício daí resultante.

## EXEMPLO Nº 103 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Marquises de concreto armado na orla marítima.

**FISSURAÇÃO :** Fissuração do concreto, corrosão e ruptura das armaduras e queda da marquise .

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A falta de impermeabilização ou a sua degradação com o tempo permitem que a maresia , contendo cloretos, penetre no concreto através das fissuras de flexão no engaste da marquise. Os cloretos destroem a camada passivadora da superfície das barras de aço da armadura e a corrosão começa e progride rapidamente. Na região próxima ao mar como no bairro de Copacabana no Rio de Janeiro, com prédios construídos há cerca de 40 anos tem ocorrido um grande número de problemas desse tipo.

**SOLUÇÃO :** A solução, na fase do projeto e da execução, consiste em :

- usar tensão baixa para dimensionamento da armadura, de modo a reduzir a abertura da fissura
- usar barras de grande diâmetro ( $\geq 10\text{mm}$ ) que têm pouca sensibilidade à corrosão.
- garantir um cobrimento grande de concreto (4cm) rico em cimento e com adensamento perfeito de modo a se obter uma baixa permeabilidade.
- usar impermeabilização adequada e fazer a sua manutenção de modo permanente.

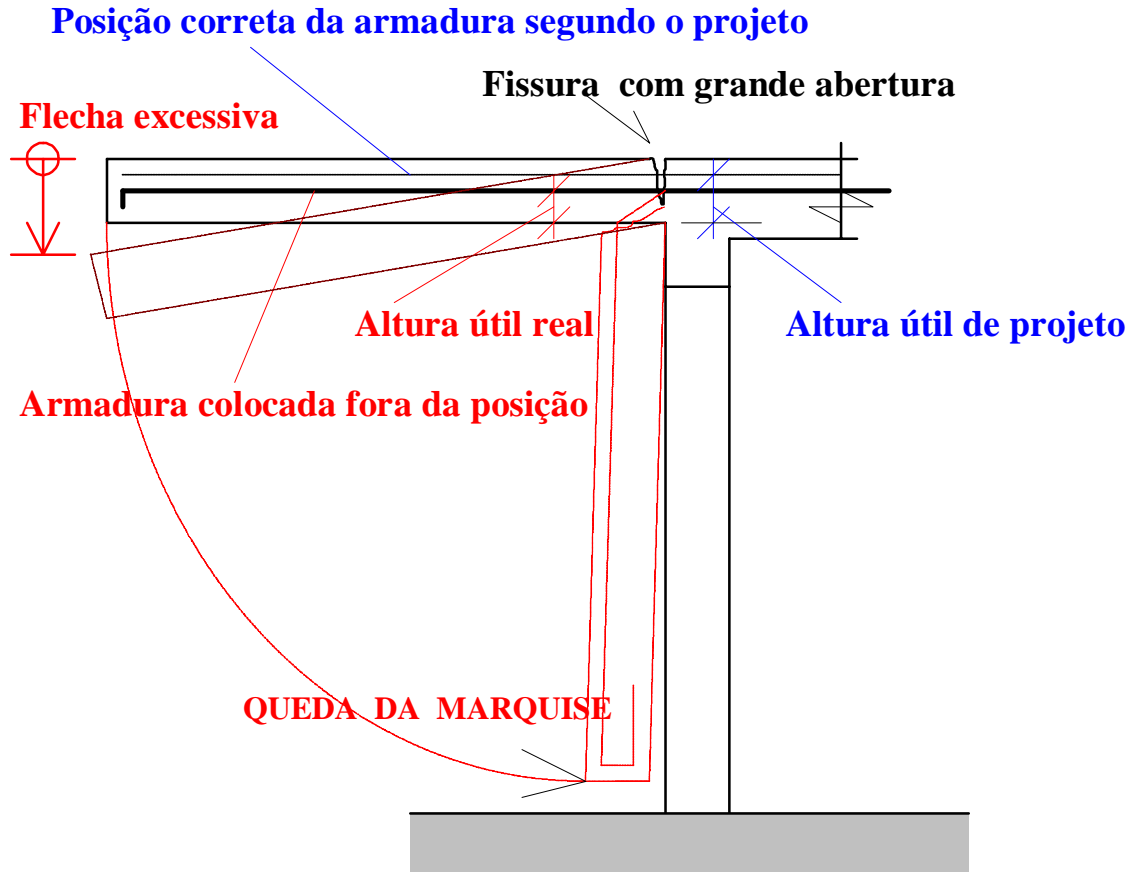
**OBSERVAÇÃO:** Segundo alguns estudos feitos em várias marquises danificadas pela corrosão das armaduras na orla marítima, parece ser mais barato demolir totalmente a marquise do que recuperá-la estruturalmente.

## EXEMPLO N° 104:

**TIPO DE ESTRUTURA:** Marquises de concreto armado .

**FISSURAÇÃO :** Fissuração excessiva no engaste da marquise , deformação excessiva ou mesmo queda da marquise .

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Durante a fase de execução a armadura da marquise ou foi colocada na posição errada ou foi deslocada da posição correta pelo peso do concreto durante a concretagem. A altura útil da estrutura ficando reduzida, a resistência da marquise diminui. Dependendo de quanto for o deslocamento vertical da armadura teremos uma gradação nas consequências. Começando com fissuração excessiva, grandes deformações na extremidade da marquise até o limite de se ter a ruptura por flexão da marquise como indicado na figura.

**SOLUÇÃO :** Na maioria dos casos em que a armadura de uma marquise fica fora da posição de projeto a recuperação da estrutura é muito onerosa e a melhor solução ainda é o refazimento da estrutura com a armadura na posição correta. Felizmente as consequências dessa falha de execução se evidenciam imediatamente após a retirada do escoramento da marquise e as medidas reparadoras são inadiáveis.

**OBSERVAÇÃO:** Essa falha de posicionamento das armaduras superiores também ocorre nas lajes internas das edificações. No entanto, nessas lajes, que têm apoio nos 4 lados, existe uma redistribuição de esforços internos, de modo que a ruptura total não ocorre como consequência inevitável do erro de execução. Mas surgem flechas acentuadas e grandes aberturas de fissuras nas lajes.

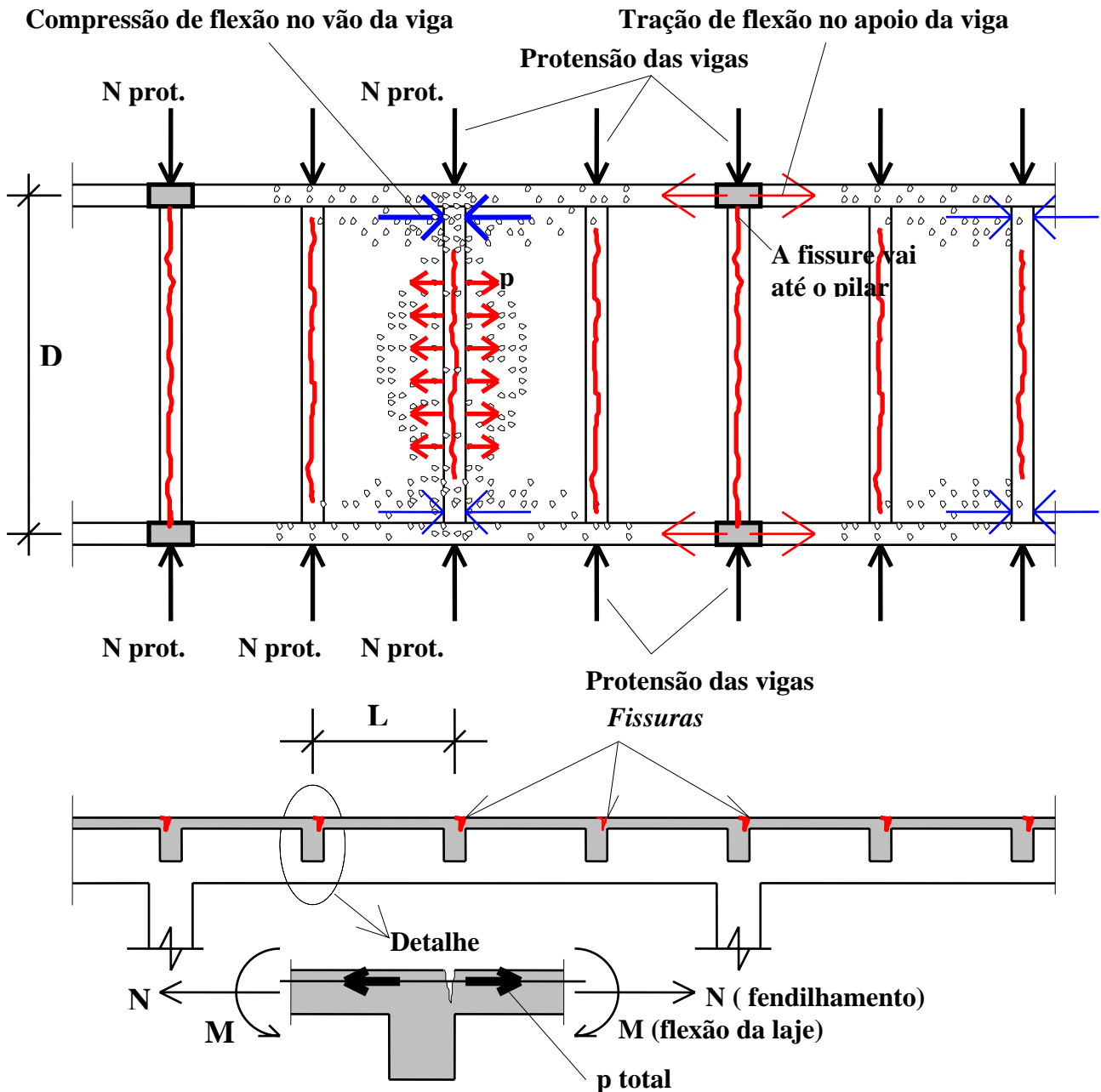
Nas marquises, que são estruturas isostáticas, as consequências são graves e imediatas.

### EXEMPLO Nº 105 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Grelha em concreto protendido em uma direção.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras na face superior das lajes (sobre as vigas).

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Somam-se 2 efeitos :

- A força de tração devida à flexão das lajes, na face superior das lajes, sobre as vigas.
- A força de tração de fendilhamento da biela gerada pela protensão das vigas, no plano da laje.

A força devida à flexão é igual a :  $p_{flexão} \text{ (kN/m)} = M/z$  onde :

-  $M$  = momento fletor no apoio da laje sobre a viga (  $\text{kN.m / m}$  )

-  $z$  = braço de alavanca interno na flexão da laje.

A força de fendilhamento pode ser adotada como indicado em /43/, isto é ,

$p_{fendilhamento} \text{ (kN/m)} \cong 2 \times 0.22 N_{prot.} / D$  e a força de tração total por metro de laje vale na face superior da laje:  $p_{total} \cong p_{flexão} + p_{fendilhamento} / 2 \cong M/z + 0.22 N_{prot.} / D \dots (\text{kN/m})$

**SOLUÇÃO :** Dimensionar a armadura da laje à flexão + tração. Em obras já prontas, pode-se colocar armadura adicional executando-se uma sobre-laje, com aderência suficiente com a laje existente.

**OBSERVAÇÃO:** Esse tipo de falha é frequente por não se ter o hábito de considerar a protensão no conjunto dos seus efeitos , e sim considerá-la apenas como uma força normal de compressão .



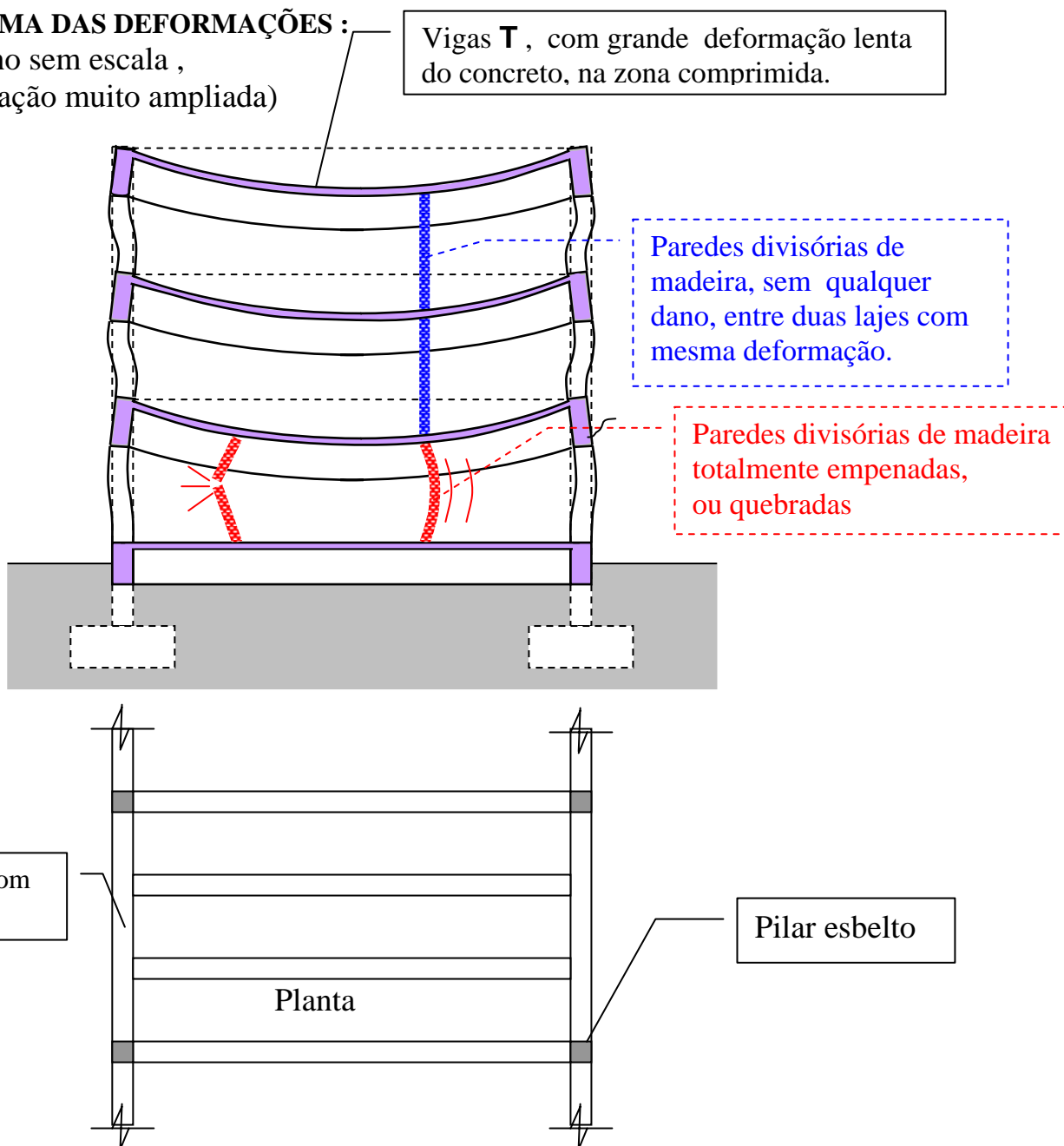
### EXEMPLO Nº 106 :

**TIPO DE ESTRUTURA :** Edifício em pórtico, de concreto armado.

**TIPO DE DANO OBSERVADO :** A estrutura de concreto não tem fissuras, mas as deformações das vigas são grandes. Por isso as paredes divisórias de madeira, no pavimento térreo, estão totalmente empenadas ou mesmo quebradas.

#### ESQUEMA DAS DEFORMAÇÕES :

(desenho sem escala ,  
deformação muito ampliada)



**CAUSA DOS DANOS:** Pórtico muito deformável . As deformações imediata e lenta das vigas T são agravadas pela grande deformabilidade a torção das vigas de apoio.

No pavimento térreo, como o piso não se deforma, pois o terreno não deixa, as paredes divisórias de madeira são comprimidas e flambam, ou rompem à compressão.

**SOLUÇÃO :** Projetar pórticos rígidos. Usar armadura de compressão nas vigas. A tensão na armadura para a carga permanente deve ser menor que 150 MPa. **Conserto :** Criar folgas entre as paredes divisórias e a estrutura que permitam a deformação da estrutura.

**OBSERVAÇÃO :** As paredes de madeira, no térreo, após serem reparadas voltam a empenar, o que mostra a presença da deformação lenta na zona comprimida da viga T.

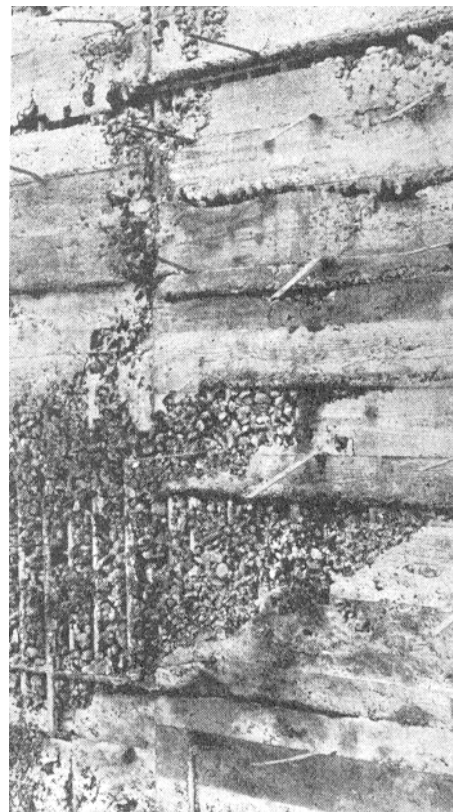
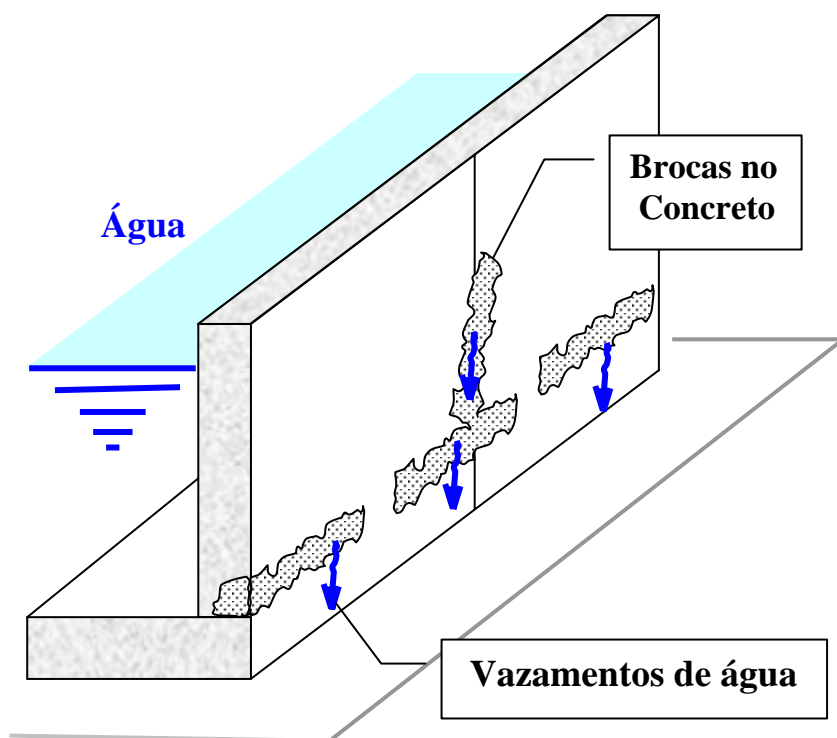
**No projeto :** A protensão das vigas também reduz as flechas imediata e lenta.

## EXEMPLO Nº 107:

**TIPO DE ESTRUTURA:** Reservatório de água, em concreto armado.

**FISSURAÇÃO:** Concreto com pouca pasta nas regiões próximas às juntas das formas.  
Conseqüência: Vazamento de água nessas brocas de concretagem.

**ESQUEMA DAS FISSURAS:** Obra executada em várias etapas, com juntas de concretagem.



*Fuga de pasta e segregação.  
Forma de tábuas sem vedação.*

**CAUSA DOS FISSURAS:** Brocas no concreto, causadas pela fuga de pasta pelas juntas das formas que não apresentem uma vedação perfeita.  
As brocas também ocorrem em concreto com pouca pasta de cimento ou em concreto lançado de maneira errada, o que ocasiona segregação do agregado.

**SOLUÇÃO:** Vedar as juntas das formas para evitar a fuga da pasta de cimento do concreto, durante a concretagem. Essa fuga da pasta é agravada pelo excesso do tempo de vibração do concreto.

Nas obras já executadas, injetar resina epóxi, ou outra resina, que preencha os vazios do concreto poroso.

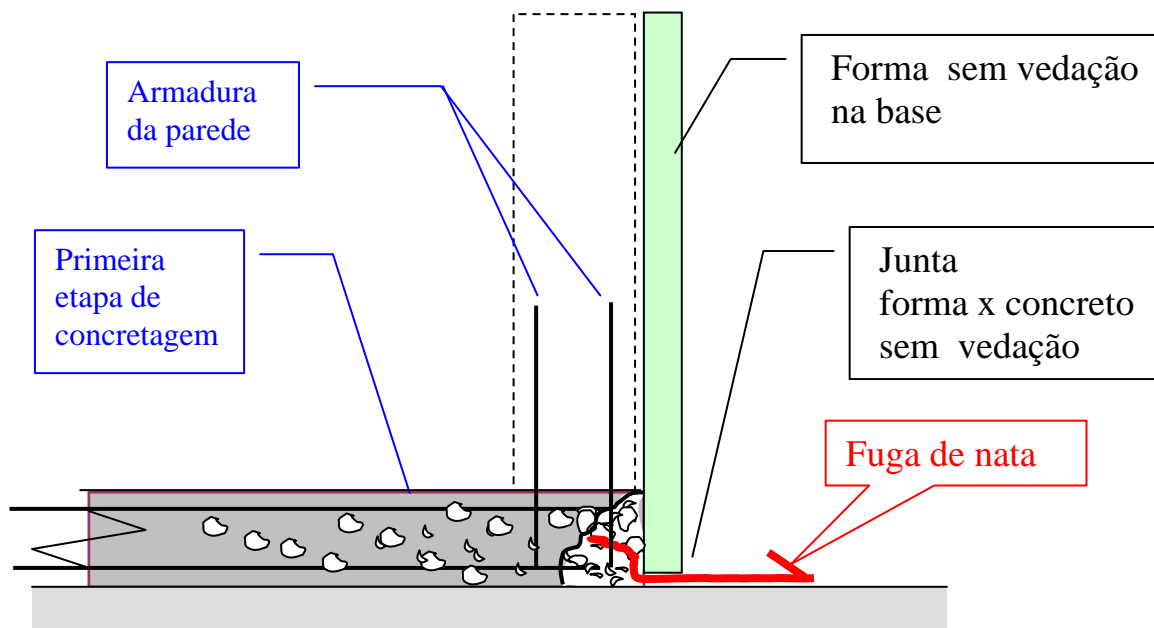
Outra alternativa é a execução de impermeabilização flexível nas faces internas do reservatório.

**OBSERVAÇÃO:** As emendas das formas e as juntas, entre as formas e o concreto já executado, devem ter vedação perfeita.

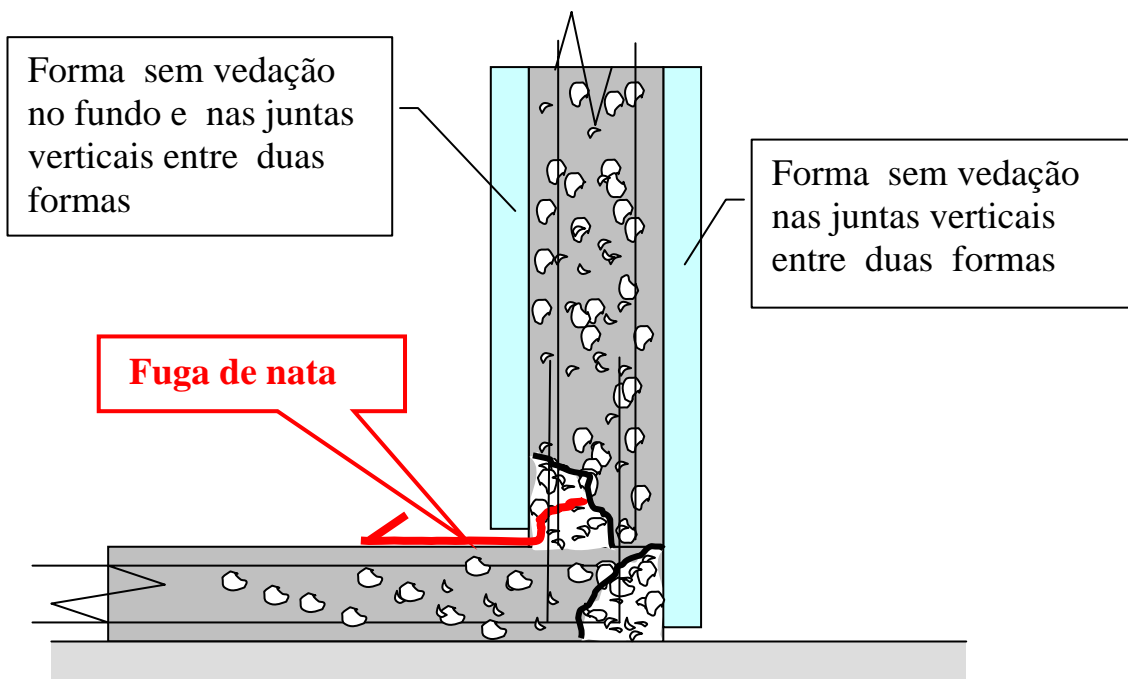
EXEMPLO Nº 107: ( continuação 01 )

**CAUSA DOS FISSURAS:** Brocas no concreto, causadas pela fuga da nata de cimento pelas juntas das formas, que não apresentam uma vedação perfeita.

1ª Etapa da Execução com falha na vedação .

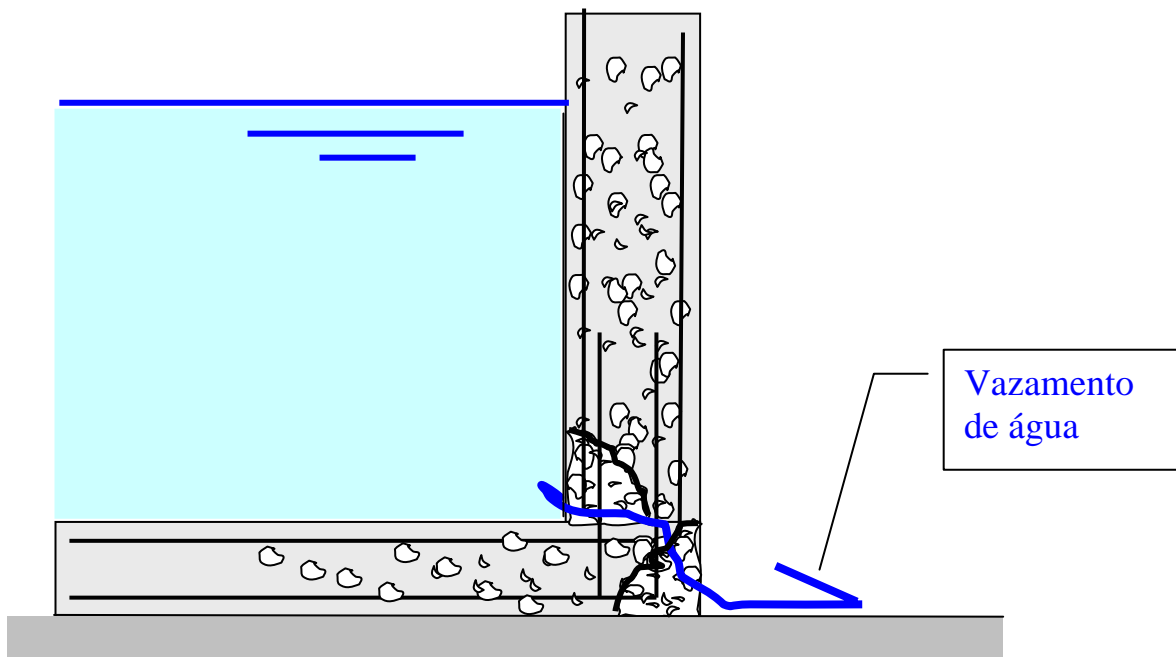


2ª Etapa da Execução com falha na vedação.



## EXEMPLO Nº 107: ( continuação 02 )

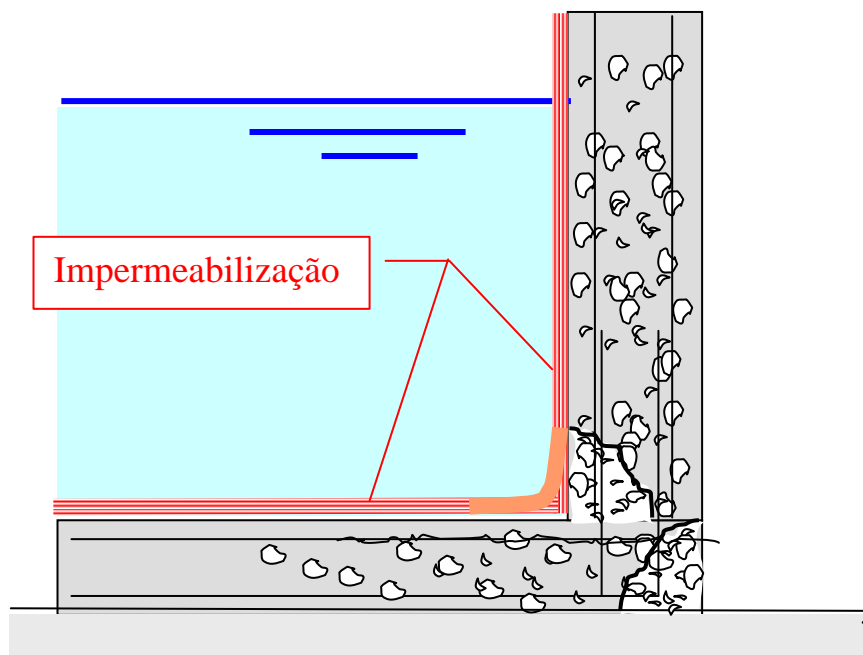
Resultado Final da má execução, com concreto poroso, facilitando a fuga da água.



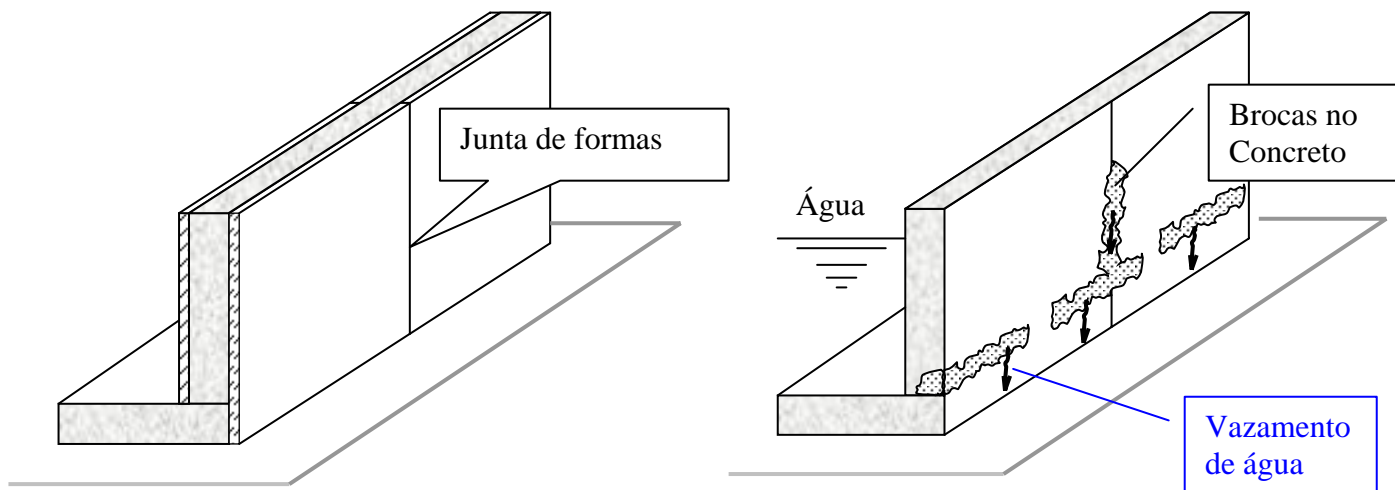
Um reservatório de concreto armado com :

- pequena altura de água
  - armadura bem calculada, para restringir a fissuração, com  $w_k 90 \% < 0,10 \text{ mm}$  ,
  - concreto contendo adições, como micro-sílica ,
  - lançamento correto do concreto , sem causar segregação,
  - cura cuidadosa ,
- poderia dispensar impermeabilização.

A maioria das estruturas de reservatórios de água , no entanto, necessita de impermeabilização, devido às falhas na execução do concreto.

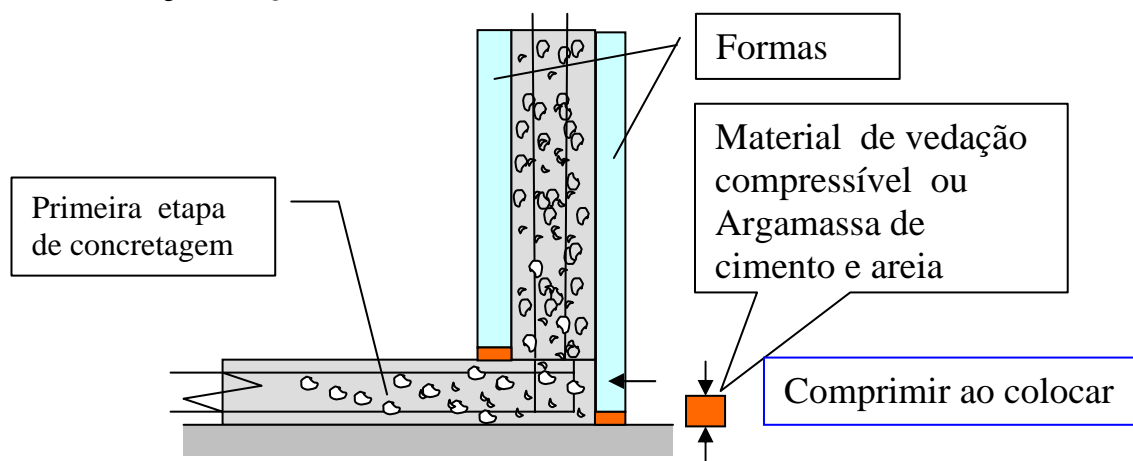


# EXEMPLO Nº 107: ( continuação 03 )

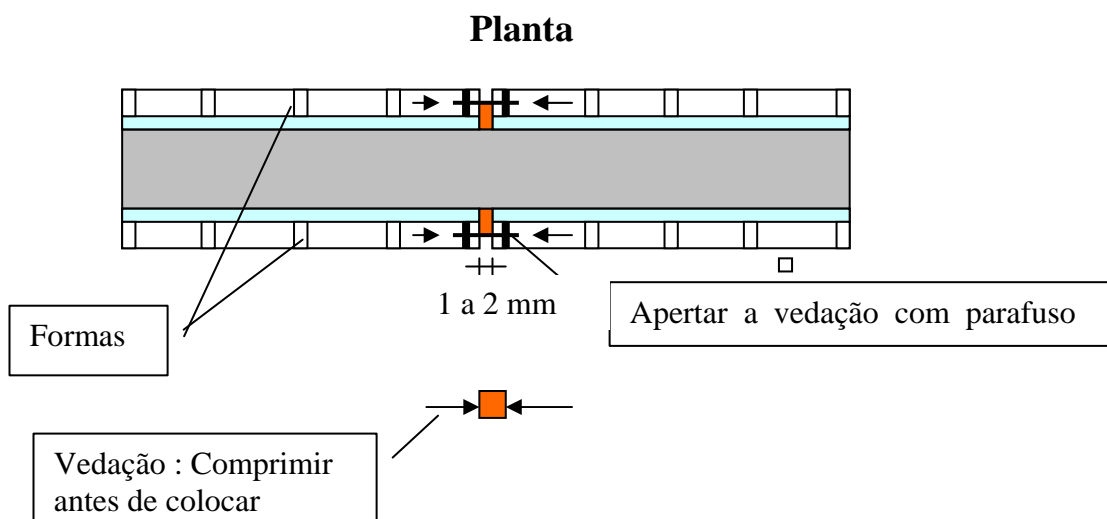


**Solução:** Vedação das juntas com material compressível .

## Vedação da junta : Forma x Concreto



## Vedação da junta vertical : Forma x Forma



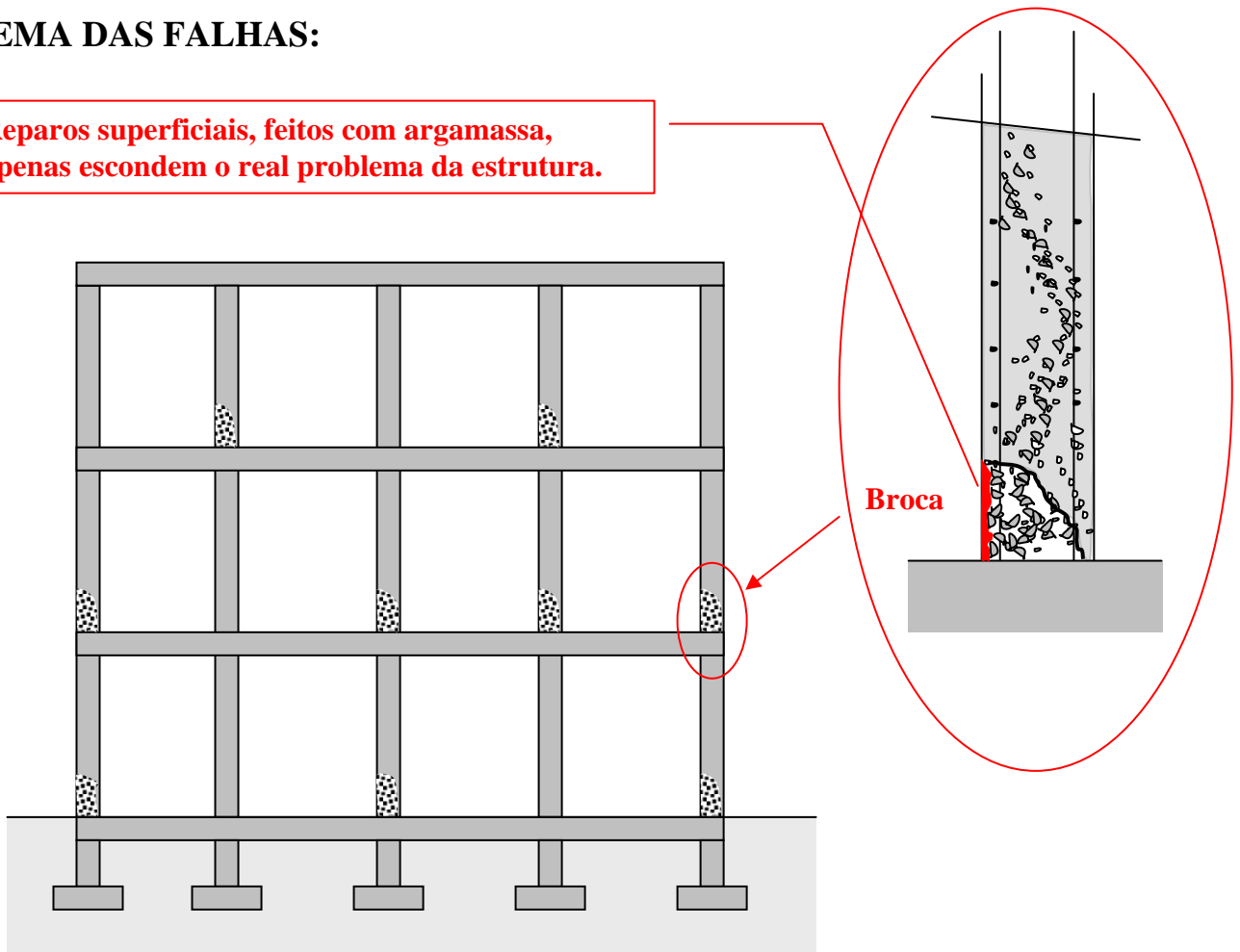
## EXEMPLO Nº 108 :

**TIPO DE ESTRUTURA** : Edifício em concreto armado.

**TIPO DE FALHA** : Concreto com segregação das pedras nas bases dos pilares.

### ESQUEMA DAS FALHAS:

**Reparos superficiais, feitos com argamassa, apenas escondem o real problema da estrutura.**



**CAUSAS** : Falhas de concretagem na base dos pilares de edifícios.

A segregação da pedra do concreto faz surgir as chamadas “brocas” na base do concreto.

A falta de vedação na base das formas também permite a fuga de nata de cimento pelas frestas.

A frequência com que essas falhas ocorrem é enorme e assustadora, pois a seção resistente dos pilares fica muito reduzida.

**SOLUÇÃO**: Lançar o concreto com tubos verticais ou com a mangueira no caso de concreto bombeado.

A altura de queda livre do concreto, dentro do pilar, não pode ser maior que 2m.

No caso de concreto com micro-sílica pode-se até permitir queda livre de 3 metros, pois a coesão do concreto é maior.

**OBSERVAÇÃO**: A redução da área útil de concreto, assim como a redução da qualidade e da resistência do concreto na base dos pilares, resulta em **menor segurança** do que a prevista na norma NB01.

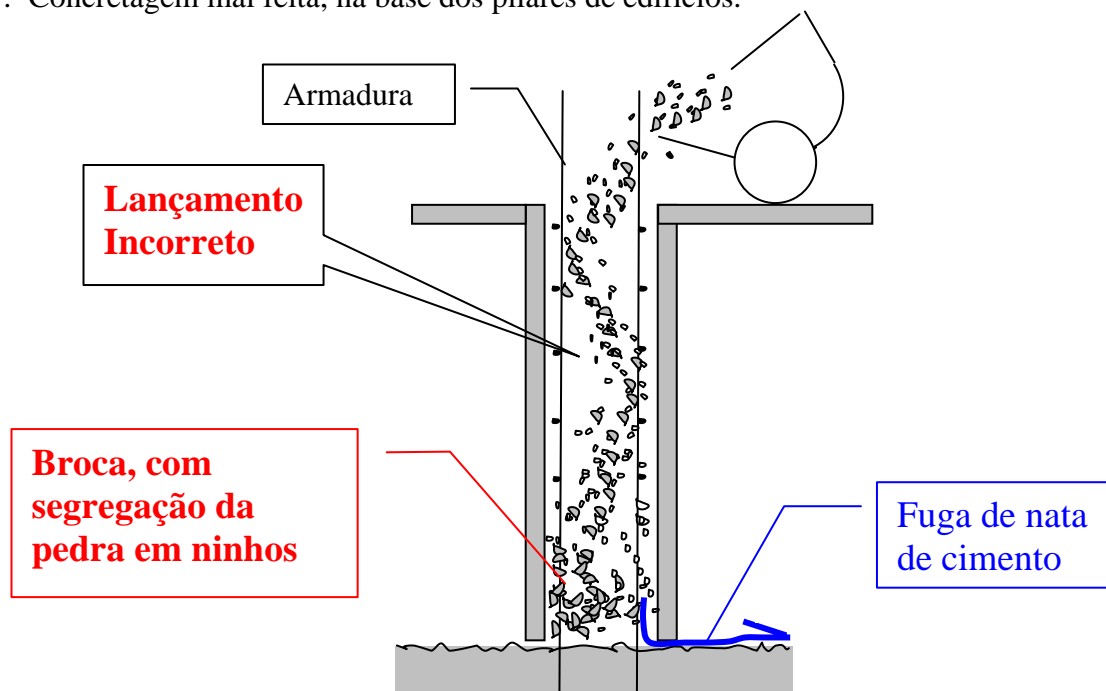
De nada vale obter bom resultado da resistência do concreto, em corpos de prova retirados do caminhão betoneira, se o concreto é mal lançado e mal adensado.

Os reparos usualmente feitos com argamassa, apenas **escondem** as reais condições do concreto na base dos pilares

**EXEMPLO Nº 108 : ( continuação )**

**TIPO DE FALHA OBSERVADA:** Concreto com segregação das pedras e com fuga da nata de cimento, nas bases dos pilares

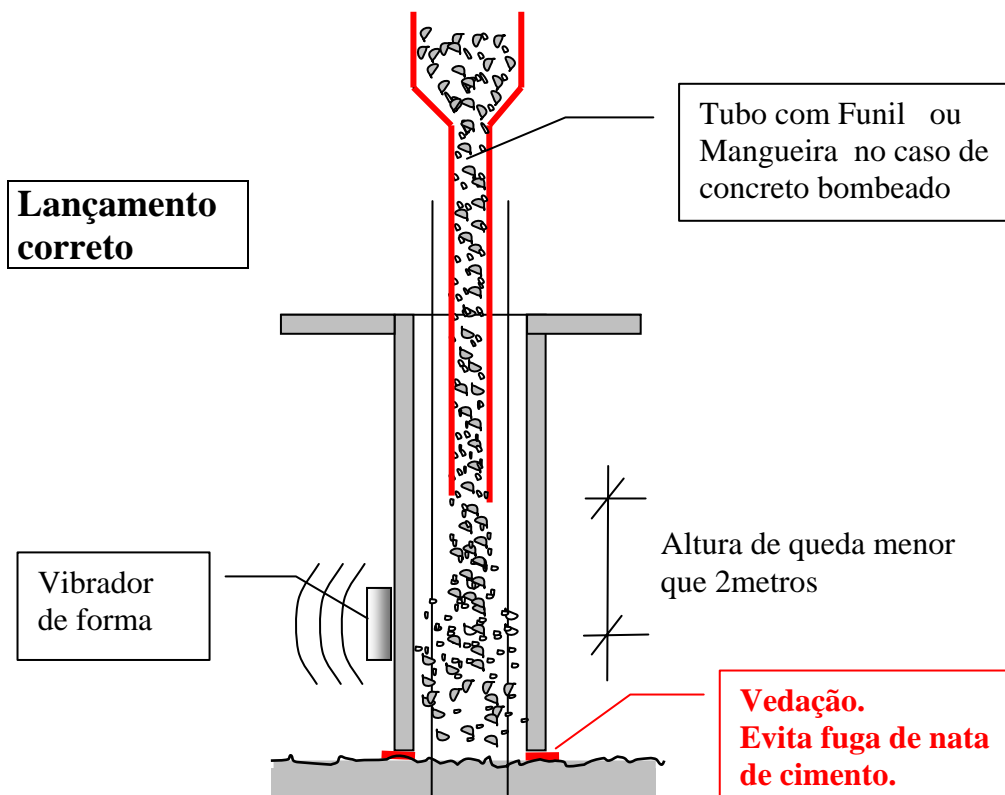
**CAUSAS :** Concretagem mal feita, na base dos pilares de edifícios.



**SOLUÇÃO:** Lançar o concreto com tubos verticais ou com a mangueira, no caso de concreto bombeado.

A altura de queda livre do concreto, dentro do pilar, não pode ser maior que 2m.

No caso de concreto com micro-sílica pode-se até permitir queda livre de 3 metros, pois a coesão do concreto é maior.



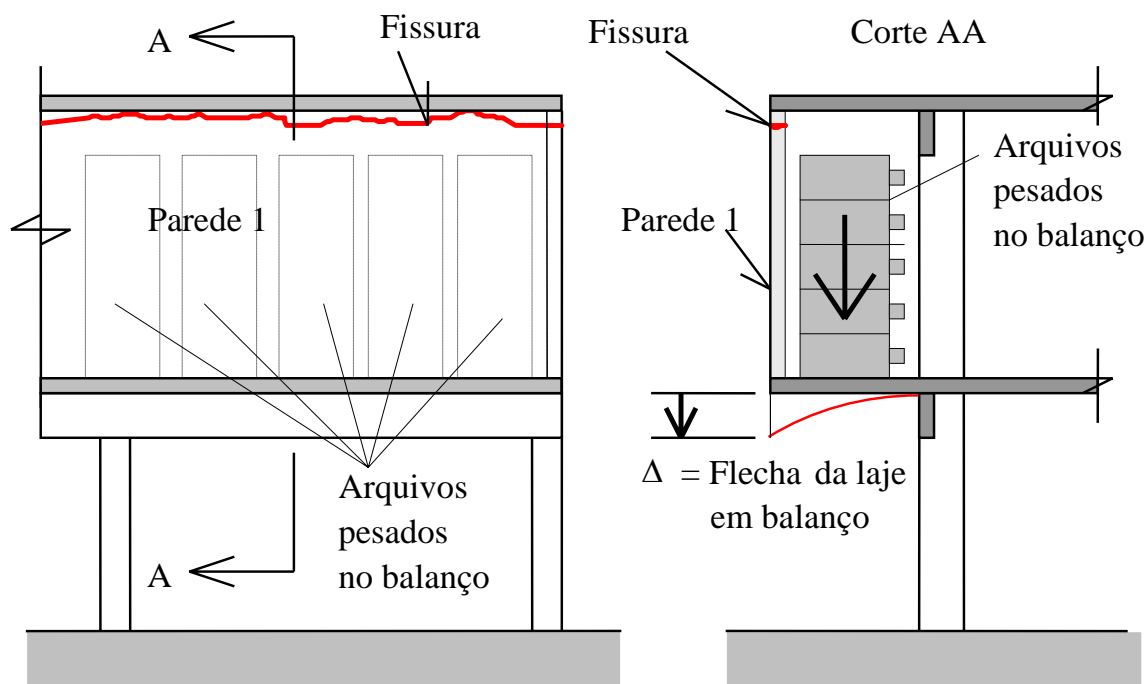
**OBSERVAÇÃO :** Os pilares são os elementos mais importantes na estrutura de um prédio. Os desabamentos ocorrem quando os pilares rompem. Por esse motivo, o maior cuidado deve ser dado à execução dos pilares. Nas obras, o que ocorre é justamente o oposto: “os pilares são os elementos com a pior execução”.

## EXEMPLO Nº 109 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Prédio de 2 pavimentos com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria. Fundações em estacas. Ver também CASO 110, pois são fissuras da mesma obra

**FISSURAÇÃO :** Fissuras horizontais no topo das alvenarias executadas na extremidade do balanço ( Parede 1 na figura abaixo)

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



### CAUSA DA FISSURAÇÃO:

A deformação excessiva da laje em balanço, por 2 motivos principais :

- Cargas elevadas colocadas sobre a laje em balanço (arquivos de aço cheios de papel)
- Deformação lenta do concreto da laje em balanço.

### SOLUÇÃO :

- Em fase de projeto: Escolher espessura grande para as lajes em balanço ou usar vigas em balanço pois são mais rígidas.
- Após a obra executada : Cobrir as fissuras com argamassa. Com a deformação lenta do concreto essas fissuras voltarão a aparecer após os reparos, embora a intervalos de tempo cada vez maiores.

**OBSERVAÇÃO:** Essas fissuras devem ser reparadas mantendo-se carregada a laje em balanço.

Se a carga na laje em balanço for retirada, para ser feito o reparo das fissuras, as fissuras abrem de novo após a obra, pois a laje volta a se deformar quando for recarregada.

Ver também exemplo 110 a seguir pois são fissuras da mesma obra.

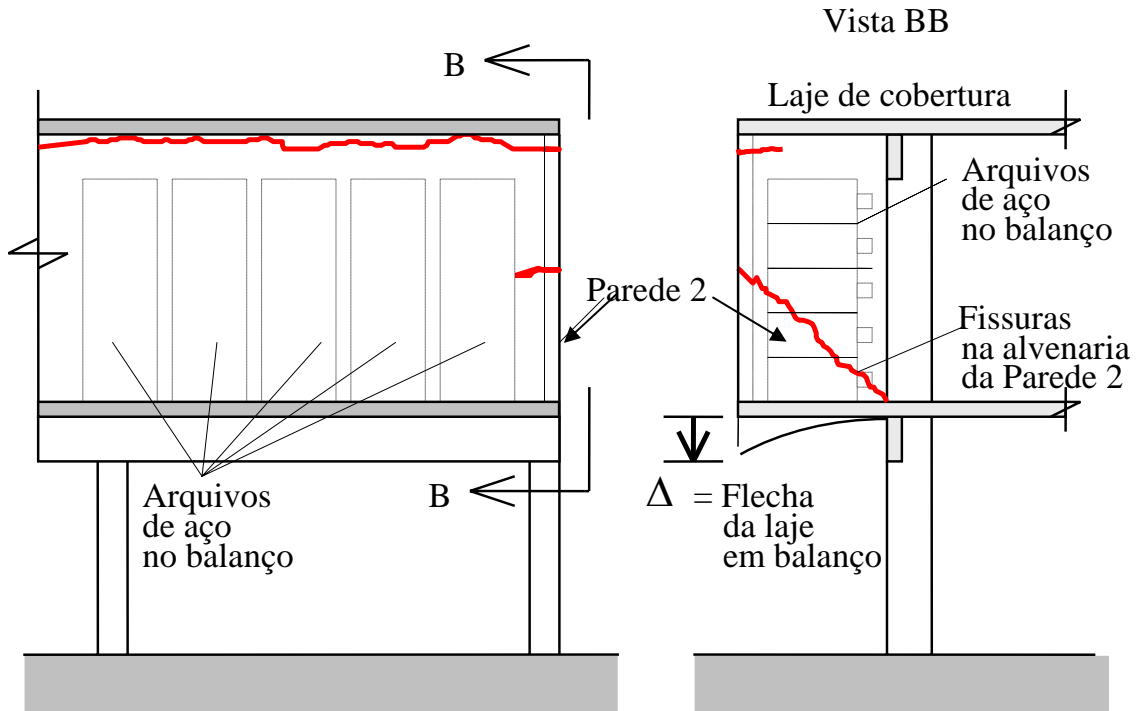


## EXEMPLO Nº 110 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Prédio de 2 pavimentos com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria. Fundações em estacas. Ver também CASO 109 , pois são fissuras da mesma obra.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras inclinadas nas alvenarias de fechamento apoiadas na laje na direção do balanço ( Parede 2 na figura abaixo).

### ESQUEMA DAS FISSURAS :



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A deformação do balanço de concreto armado, por vários motivos entre eles :

Cargas elevadas colocadas sobre a laje em balanço ( arquívios de aço cheios de papel )  
Deformação lenta do concreto da laje em balanço.

**SOLUÇÃO :** Em fase de projeto: Escolher espessura grande para as lajes em balanço ou usar vigas em balanço pois são mais rígidas.

Após a obra executada : Cobrir as fissuras com argamassa.  
Com a deformação lenta do concreto da laje essas fissuras voltarão a aparecer após os reparos.  
Novamente reparar as fissuras, embora a intervalos de tempo cada vez maiores.

**OBSERVAÇÃO:** Essas fissuras devem ser reparadas mantendo-se a laje carregada.

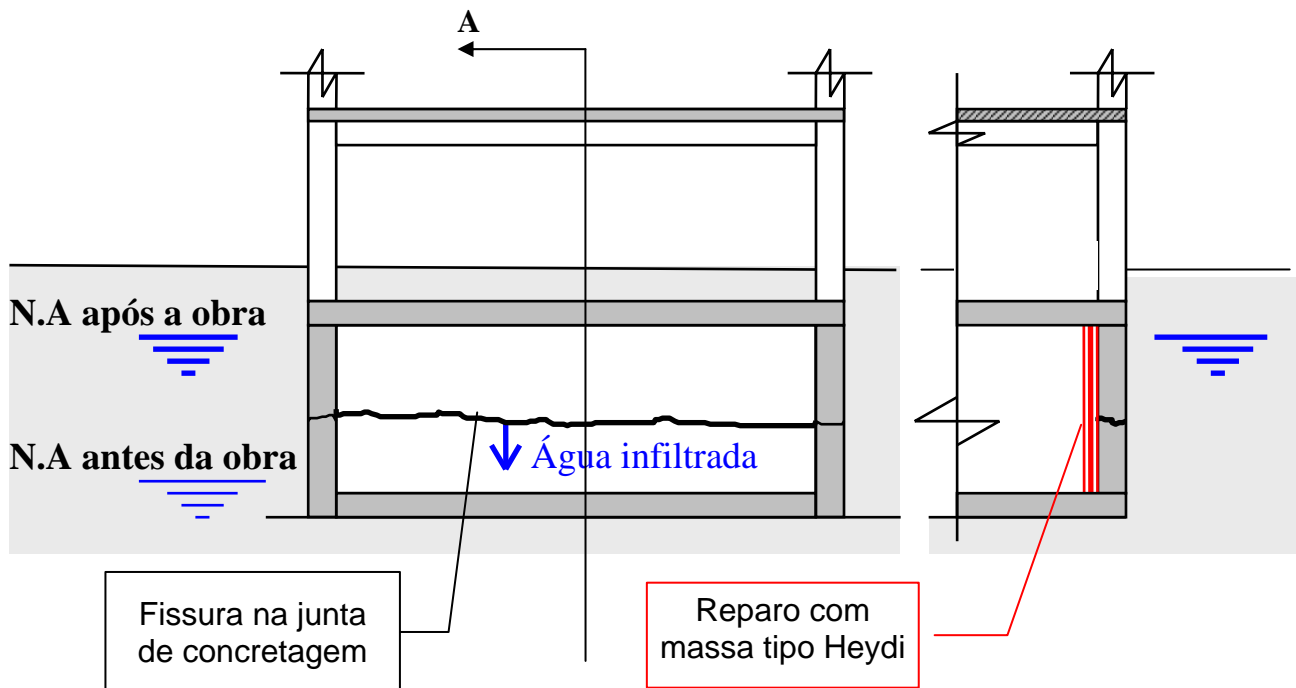
Se a carga na laje for retirada para ser feito o reparo das fissuras, quando a laje for recarregada a laje volta a se deformar e as fissuras abrem de novo.

**EXEMPLO Nº 111 :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio residencial de concreto armado, com subsolo.

**FISSURAÇÃO :** Fissura em junta horizontal de concretagem na parede do subsolo, com infiltração de água, após vários anos de construído o prédio.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A junta de concretagem, que apresentava falhas de execução, começou a vazar água quando o lençol d'água subiu. A subida do lençol freático se deveu à construção de um interceptor oceânico nas proximidades.

**SOLUÇÃO :**

Na obra mostrada, foi aplicado o material impermeabilizante Heydi, aplicado sobre a parede do subsolo, nas regiões com vazamento. A vedação foi restaurada e o subsolo ficou totalmente seco.

Em obras a construir, executar a junta de concretagem corretamente, de modo a não ter pontos falhos.

Usar impermeabilização adequada.

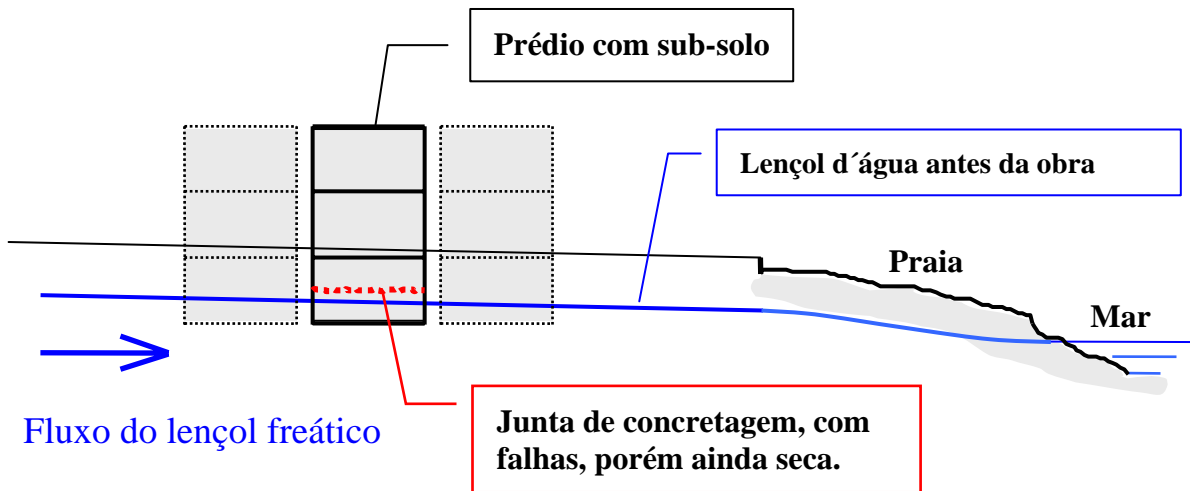
**OBSERVAÇÃO:** A construção de obras que interfiram com o lençol freático deve ser precedida de um estudo detalhado das conseqüências que daí possam advir.

**EXEMPLO Nº 111 ( Continuação ) :**

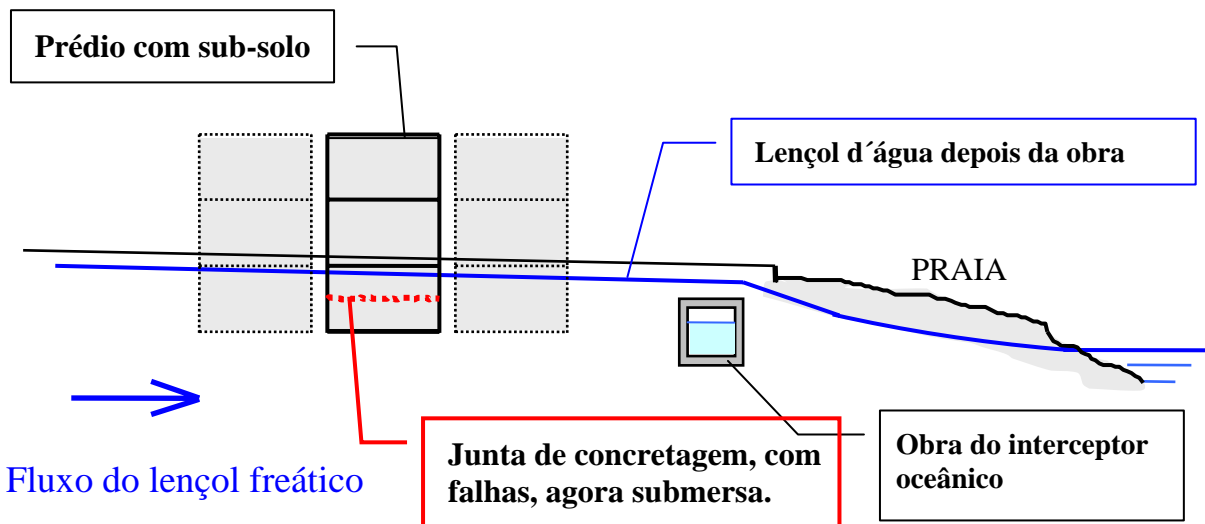
**TIPO DE ESTRUTURA:** Prédio residencial de concreto armado, com subsolo.

**FISSURAÇÃO :** Fissura em junta horizontal de concretagem na parede do subsolo, com infiltração de água, após vários anos de construído o prédio.

**ESQUEMA :** Posição da Fissura em relação ao lençol d'água.



**Lençol freático antes da construção do interceptor oceânico**



**Lençol freático após a construção do interceptor oceânico**

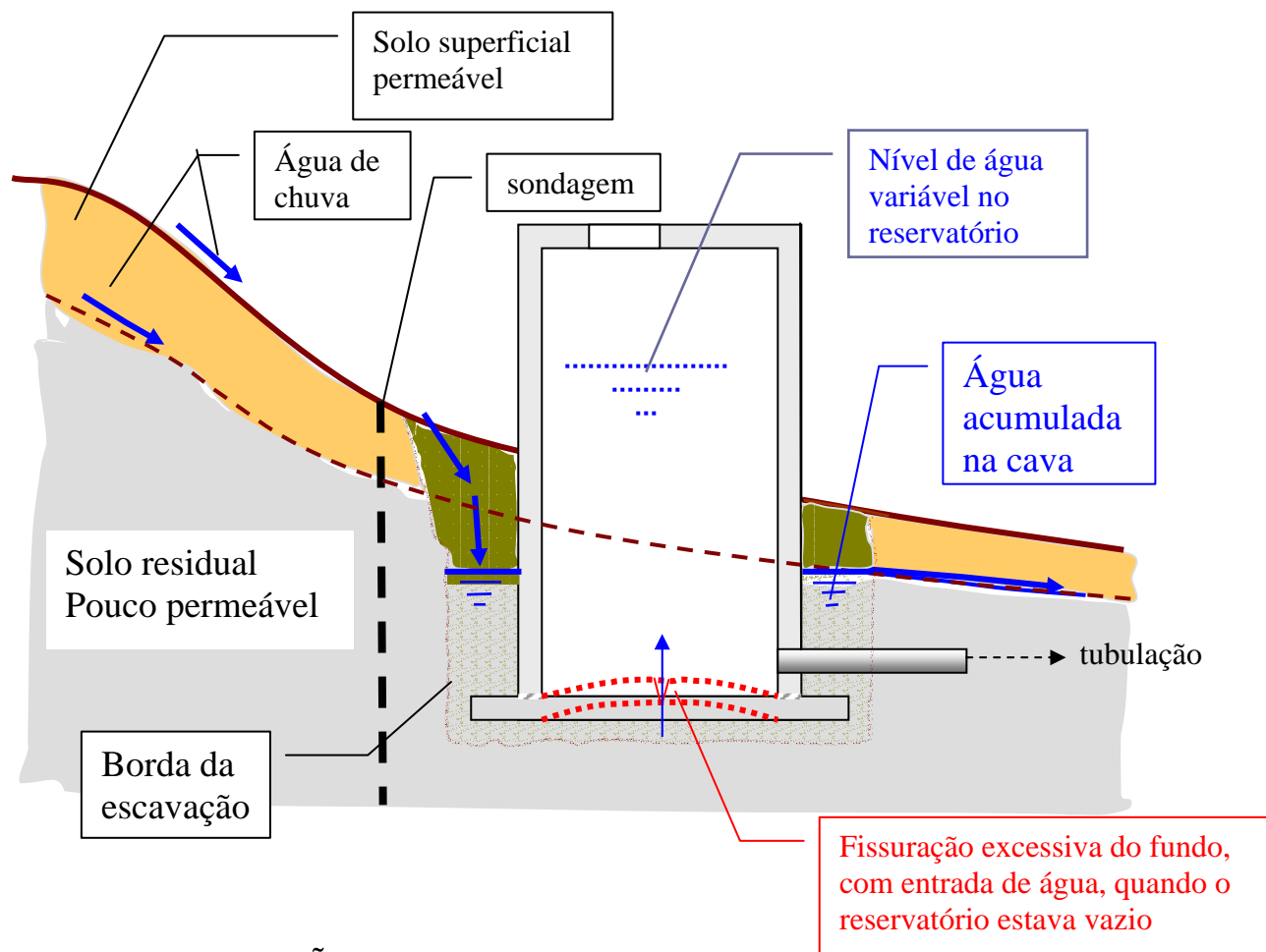
**OBSERVAÇÃO:** A construção de obras que interfiram com o lençol freático deve ser precedida de um estudo detalhado das conseqüências que daí possam advir. Botânicos alertam para eventuais efeitos sobre a flora da região.

### EXEMPLO Nº 112 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Reservatório cilíndrico de água

**FISSURAÇÃO :** Fissuras no fundo do reservatório. Infiltração de água, de fora para dentro, na laje do fundo, quando o reservatório era esvaziado.

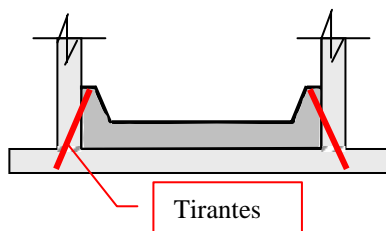
### ESQUEMA DAS FISSURAS :



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Falta de previsão quanto ao possível acúmulo de água na cava. O empuxo de água, de baixo para cima, não foi considerado, pois nas sondagens não constava água no subsolo. Com a escavação criou-se uma “bacia” que encheu de água de chuva, chuva essa que veio de toda a bacia a montante da escavação.

Como o reservatório é cilíndrico, as pressões de água não causaram danos às paredes, pois apenas aumentaram um pouco as tensões anelares de compressão.

**SOLUÇÃO:** Na fase do projeto, prever e considerar o empuxo da água externa na laje do fundo. Após a obra pronta e após a fissuração excessiva observada, a solução foi executar uma laje de concreto armado sobre a laje do fundo, ancorando-a nas paredes do reservatório (ver abaixo).



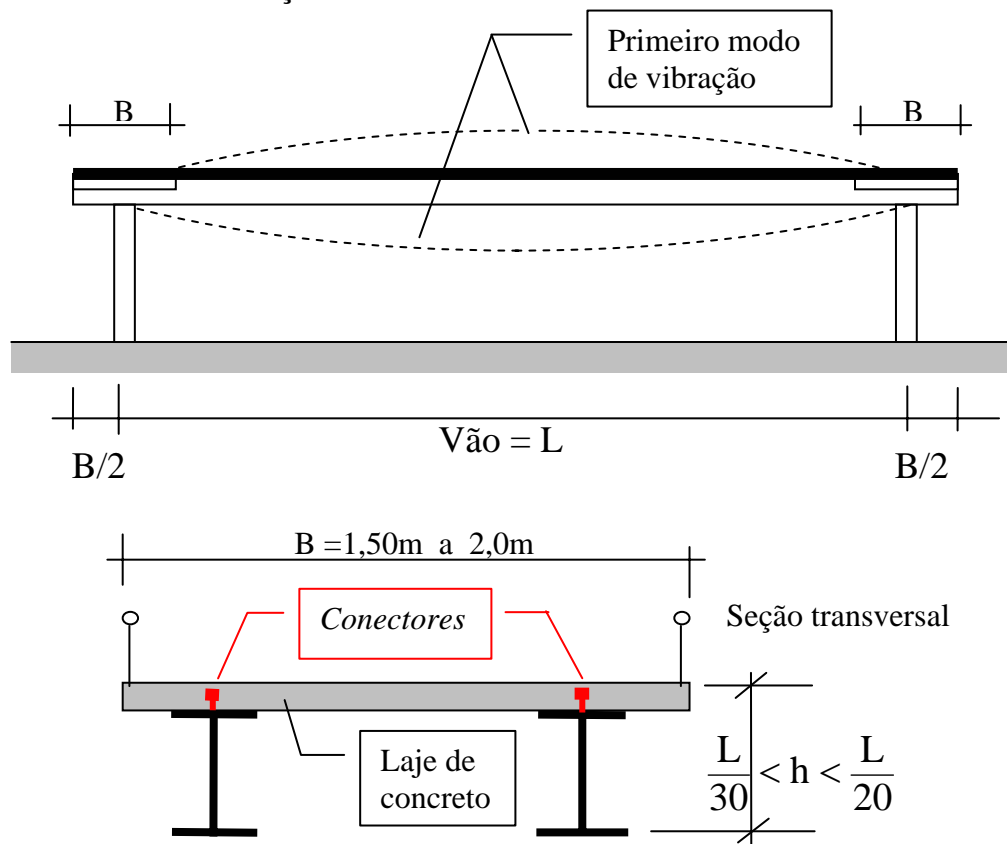
**OBSERVAÇÃO :** A escavação do solo residual para implantação do reservatório em cota profunda foi necessária para viabilizar os níveis da rede das tubulações.

### EXEMPLO Nº 113 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Passarela de pedestres em viga mista.

**DEFORMAÇÃO:** Vibração excessiva quando da passagem de pessoas correndo.

**ESQUEMA DAS DEFORMAÇÕES :**



**CAUSA DA VIBRAÇÃO:** A frequência própria do primeiro modo de vibração das passarelas, em geral, fica próxima das frequências características de pessoas correndo.

Segundo o “CEB – Euro Code” as frequências dos movimentos do ser humano são:

<i>Movimento do corpo</i>	<i>Frequência para dimensionamento [ Hz ]</i>
Andar	Vertical = 2,0 Hz até 2,4 Hz
	Para frente = 2,0 Hz
	Para o lado = 2,0 Hz
Correr	Normal = 2,0 até 3,0 Hz
Pular	Normal = 2,0 Hz até 3,0 Hz
	Alto = 2,0 Hz até 3,0 Hz

O Eng. Hugo Bachmann [46] sugere, para os projetos de estruturas sujeitas a vibrações induzidas pelo ser humano : **“Em Passarelas para Pedestre, evitar as faixas de frequências:**

**$f_1$  (andar) = 1,6Hz a 2,4 Hz e  $f_1$  (correr) = 3,5 a 4,5 Hz”.**

Essas recomendações do CEB-Euro-Code e de H. Bachmann implicam em estruturas com maior rigidez, isto é, com altura maior que a usual. O uso de aço e de concreto com altas resistências conduz, ao contrário, a estruturas muito esbeltas, com grande deformabilidade. Essas estruturas vibram quando excitadas por pessoas em movimento.. Correr, pular, dançar, bater palmas, pode induzir vibrações incômodas para os usuários.

### EXEMPLO Nº 113: ( continuação)

**SOLUÇÃO:** Evitar as faixas de frequências:  $f_1$  (andar)= 1,6Hz a 2,4 Hz e  $f_1$  (correr) =3,5 a 4,5 Hz.

No caso de vigas com um vão, a frequência própria do primeiro modo de vibração vale:

$$f_1 \text{ (primeiro modo)} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\bar{m} \cdot L^4}} \dots \text{(Hertz) onde: } E = \text{módulo de elasticidade ; } [E] = \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$$

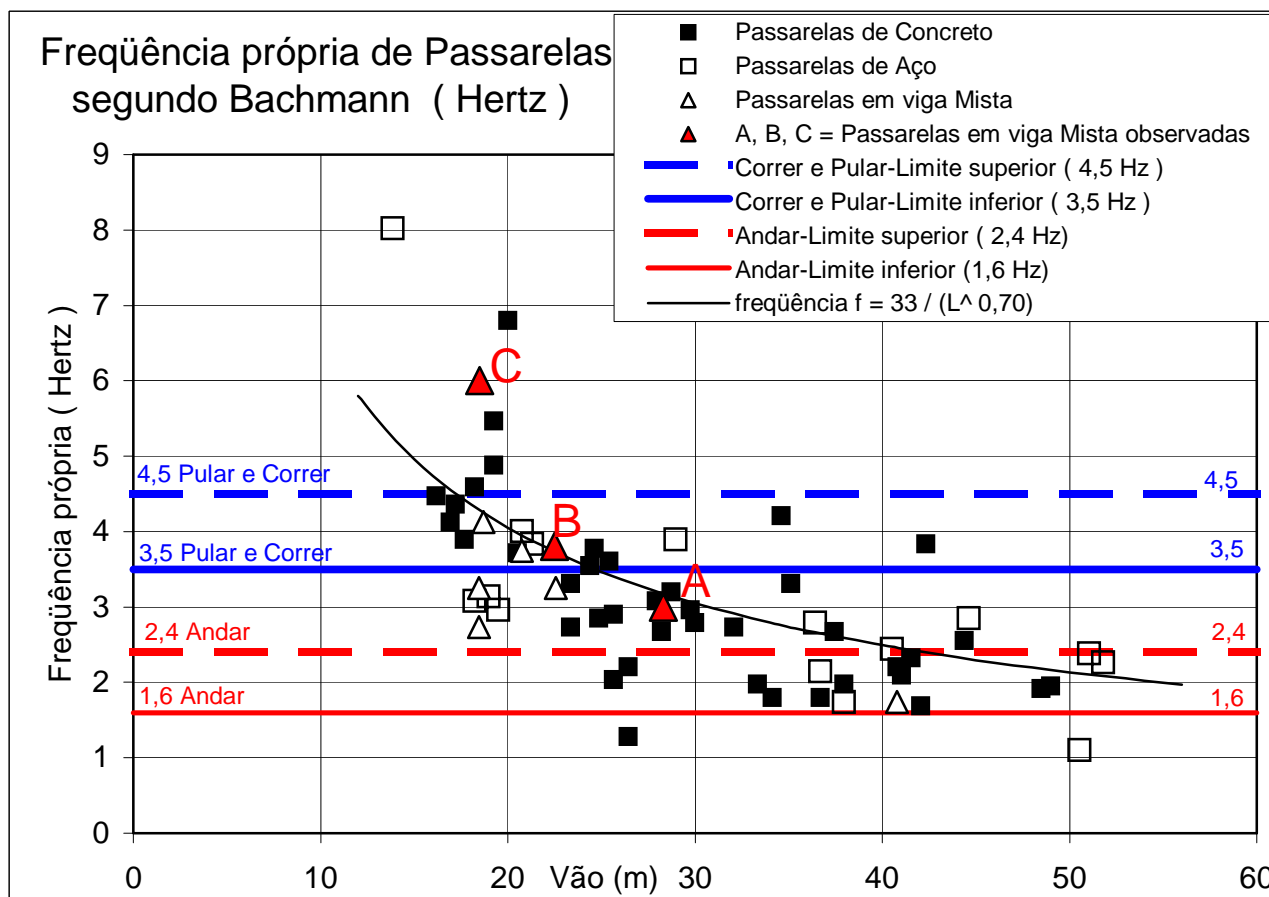
$I$  = momento de Inércia da seção transversal homogeneizada;  $[I] = \left[ \text{m}^4 \right]$

$\bar{m}$  = massa por unidade de comprimento ;  $[\bar{m}] = \left[ \frac{\bar{p}}{\text{g}} \right]$  onde :

$\bar{p}$  = peso por unidade de comprimento ;  $[\bar{p}] = \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$

$g$  = aceleração da gravidade = 9,81  $\left[ \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \right]$  e  $L$  = vão da passarela ;  $[L] = [\text{m}]$

**OBSERVAÇÃO:** Na figura abaixo, vemos os dados de frequências obtidos por H.Bachmann [46], aos quais acrescentamos os dados de três passarelas (A, B e C), em viga mista, cujas vibrações avaliamos.



**Passarela A :** Pequena vibração com os pedestres andando. Grande vibração com pedestres correndo.

**Passarela B :** Nenhuma vibração com pedestres andando. Pequena vibração com pedestres correndo.

**Passarela C :** Nenhuma vibração com pedestres andando ou correndo.

Com base nas observações, nas 3 passarelas acima indicadas, sugerimos que a frequência própria do primeiro modo de vibração da passarela seja maior que 3,5 Hz.

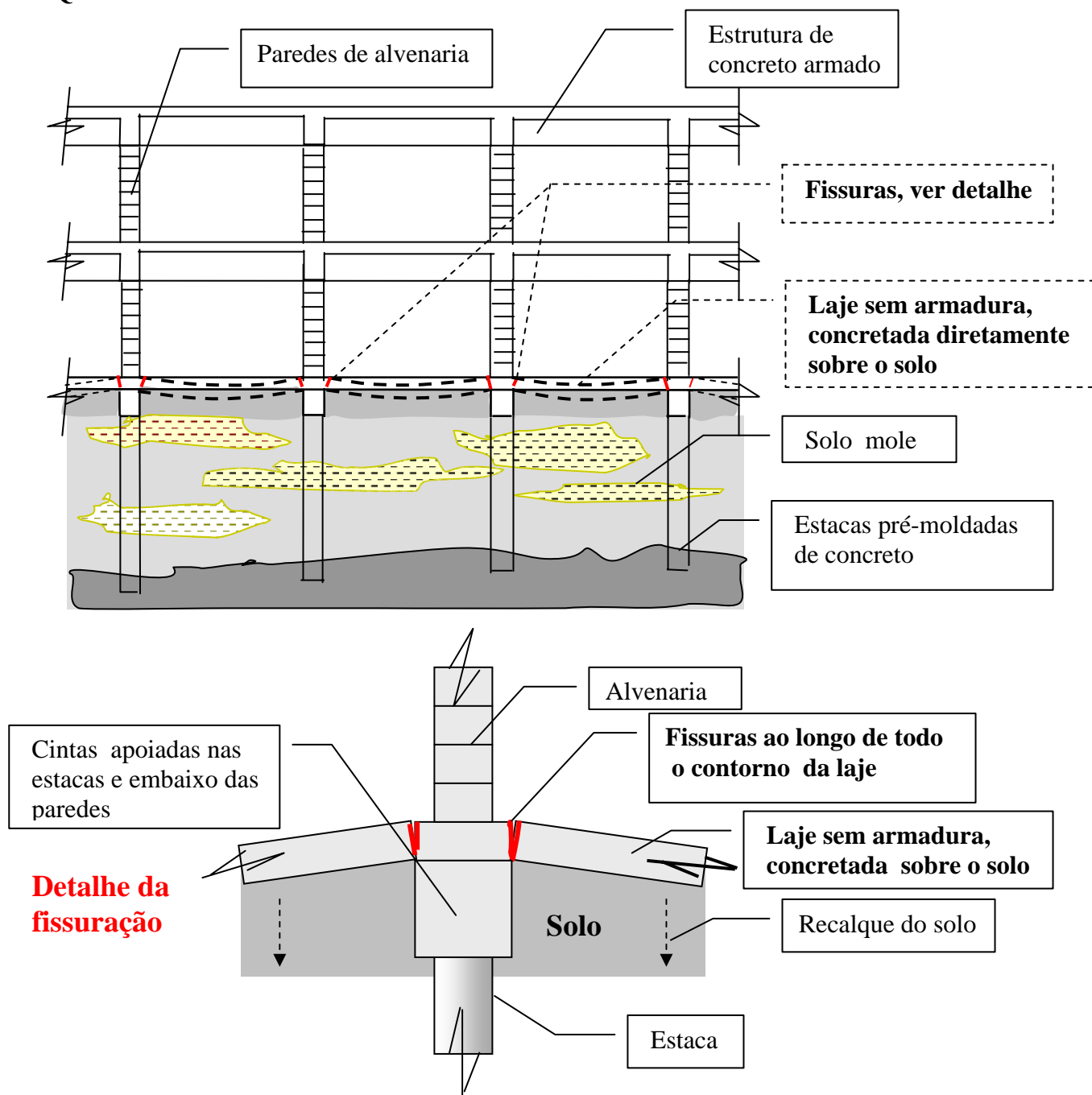
A nova norma, NB 6118-2002, recomenda : frequência própria de vibração da passarela 20% maior que 4,5Hz, isto é  $f > 1,20 \times 4,5 \text{ Hz} = 5,4 \text{ Hz}$ .

### EXEMPLO Nº 114:

**TIPO DE ESTRUTURA:** Prédio de 2 pavimentos com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras nas lajes do térreo, que não têm armadura e que são concretadas diretamente sobre o terreno. As fissuras ocorrem em todo o contorno das lajes, na região dos momentos negativos.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Para economizar armadura, a laje do térreo, sem qualquer armadura, foi concretada direto sobre o solo, passando também por sobre as cintas. As cintas estão apoiadas sobre as estacas e servem de apoio para as paredes, que não apresentam qualquer fissura. O solo recalca e a laje do térreo acompanha a deformação. A laje sem armadura fissa sobre as cintas, em todo o contorno da laje.

**SOLUÇÃO:** Em obras com estacas, o solo sofre recalques e as lajes do térreo devem ser armadas e apoiadas sobre as vigas, como em um pavimento comum. Isso aumenta a carga nas estacas.

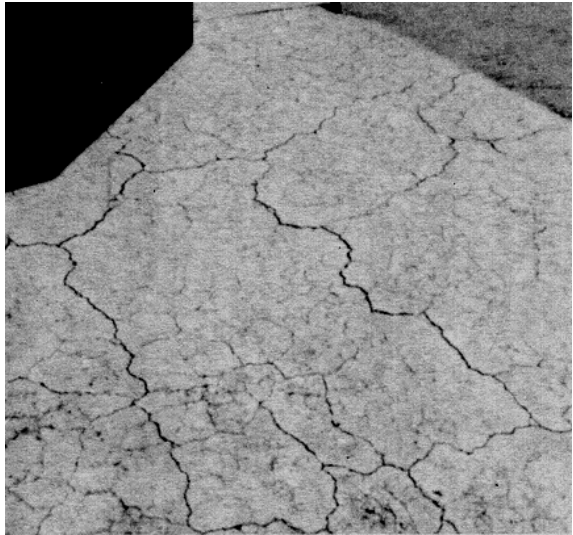

**OBSERVAÇÃO:** O revestimento do piso fica todo inutilizado pelas fissuras, exigindo restauração cara, causando o grande transtorno de remanejar todos as instalações e equipamentos durante as obras. Em algumas obras a deformação do piso é tão grande que as pessoas têm dificuldade em andar.

**EXEMPLO Nº 115:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Pistas de concreto em Aeroportos, em Rodovias, Blocos de fundação, Dormentes, com meio ambiente úmido.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras em forma de “Mapa”, visualmente semelhantes às fissuras usuais de retração.

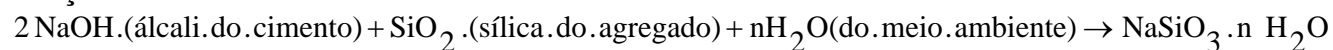
**ESQUEMA DAS FISSURAS :**

	<p>Fotografia de um bloco de fundação :</p> <p><i>F.M.Lea</i> [52] The Chemistry of Cement and Concrete, 3<sup>rd</sup> edition 1971 - ( First Edition 1935) <i>Chemical Publishing Co., Inc. New York</i></p>
<p><b>Gel da reação álcali x sílica, ao redor do agregado</b></p> 	<p>Fotografia com filtro de cores.</p> <p>Diâmetro da amostra <math>\cong 75\text{mm}</math></p> <p><i>André Le Roux</i>. [47] Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées-229 Novembre-Décembre 2000</p>

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** É a **Reação Álcali** (do cimento) com a **Sílica** (do agregado)=**R.A.S.**

**Observação:**

Álcali do cimento = hidróxido de sódio e hidróxido de potássio contidos no cimento.

**Reações :**

Essa reação, Álcali (do cimento)  $\times$  Sílica (do agregado), ocorre nas partes molhadas da estrutura de concreto, pois muita água é absorvida na reação química.

Por isso, esse tipo de fissuras tem ocorrido em obras hidráulicas e em obras expostas à chuva como pistas de concreto em aeroportos e em rodovias e dormentes ferroviários de concreto.

Blocos de fundação também são sujeitos a essa reação, devido à umidade do solo.

Essa degradação do concreto, em geral, é lenta e só se torna visível 5 anos após a construção [59].

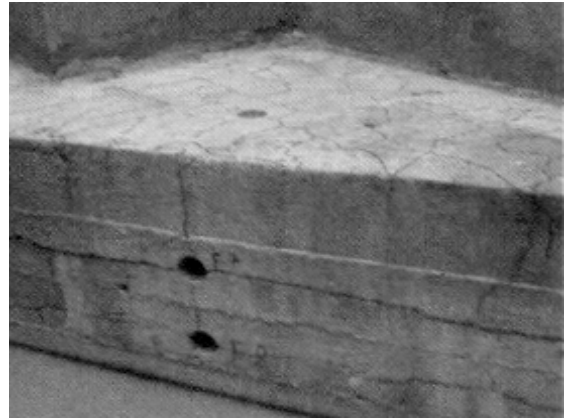


### EXEMPLO Nº 115 ( Continuação)

**TIPO DE ESTRUTURA:** Pistas de concreto em aeroportos, em rodovias, Blocos, Dormentes, com meio ambiente úmido.

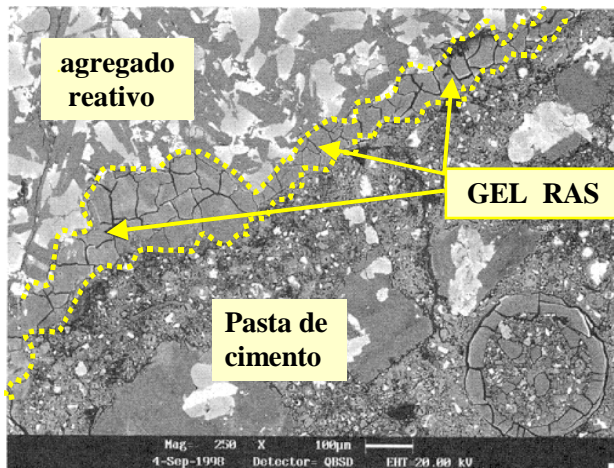
**FISSURAÇÃO :** Fissuras em forma de “Mapa”, visualmente semelhantes às fissuras usuais de retração.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



Blocos de fundação com reação Álcali  $\times$  Sílica ( Recife / Pe)  
Ver Revista T.Q.S. - Janeiro 2006  
Artigo do Eng. *João José Asfura Nassar*.

**CAUSA DAS FISSURAS:** É a **Reação Álcali** (do cimento) com a **Sílica** (do agregado) =**R.A.S.**



O gel álcali-sílica absorve muita água e se expande, gerando tensões internas.  
A formação do Gel somente ocorre na presença de íons cálcio  $Ca^{++}$ .  
A opala é o agregado ( pedra ) mais reativo e deve ser evitado.  
Opala é um mineral amorfo, de aspecto vítreo. É uma variedade de Sílica hidratada.  
A grauvaca também é reativa  
← Micrografia eletrônica, mostrando o gel na interface entre agregado e pasta de cimento.  
Largura do campo =1,3mm  
Ver Paulo J.M.Monteiro [48] e[49]

### SOLUÇÃO:

- Para evitar o uso de agregado reativo, verificar a reatividade potencial dos agregados, segundo o ensaio ASTM C 289-94.
- Evitar o uso de agregados contendo Opala ou Grauvaca.
- Substituir 25% a 40% do cimento do concreto por cinzas volantes, tipo F, ou, substituir 40 a 50% do cimento do concreto por escória de alto forno [59].
- Usar cimentos de baixo teor de álcalis, com “ $Na_2O$  equivalente” =  $Na_2O + 0,658 K_2O < 0,40\%$

### EXEMPLO Nº 116 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Estruturas de concreto sujeitas a ataques de sulfatos.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras em forma de “Mapa”, visualmente semelhantes às fissuras usuais de retração.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



← Fissuração na Base de Concreto Armado, de uma torre de rede elétrica .  
O Concreto foi executado, no local, com cimento de alto teor de Sulfatos., [56]

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Formação da **Etringita** dentro do concreto o que gera aumento de volume, o que requer : umidade no meio ambiente, sulfato no meio ambiente ou no próprio cimento e fissuras pré-existentes na estrutura. [57]

- Quando o ataque é do sulfato de cálcio a reação química é:  
$$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O} (\text{cimento..hidratado}) + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) (\text{sulfato}) + 16\text{H}_2\text{O} \Rightarrow$$
  
$$\rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O} (\text{etringita}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 (\text{portlandita})$$
- A quantidade de água de cristalização, na etringita, é muito grande e daí resulta um grande aumento de volume .Surgem fissuras na pasta endurecida de cimento ao redor da etringita. Como resultado, temos aumento da permeabilidade, devido às fissuras.
- Daí resulta um maior ataque de Sulfatos do meio ambiente externo.
- Dai resulta mais formação de etringita , mais fissuração , ...→ degradação progressiva

**SOLUÇÃO:** Evitar sulfatos , água e fissuras.

1. Evitar o ataque de **sulfatos** :

- Evitar uso de cimento com excesso de sulfatos.
- Evitar acesso dos sulfatos do meio ambiente ao concreto, como ocorre em silos de carvão mineral com alto teor de sulfatos.
- Evitar o contato do concreto com água com teor de sulfato  $\text{SO}_4^{2-} > 3000\text{mg/litro}$  ( segundo a norma EN 196-2). Se for inevitável, o melhor é impermeabilizar o concreto.
- Se o teor de sulfato na água for :  $600\text{mg/litro} < \text{SO}_4^{2-} < 3000\text{mg/litro}$ , usar concreto com,  $f_{ck} > 38\text{MPa}$  e teor de cimento resistente a sulfato (**RS**)  $> 340\text{ kg/m}^3$  de concreto , teor de micro-sílica =  $17\text{kg/m}^3$  e super-plastificante. Usar fator água/ (cimento+micro-sílica)  $\leq 0,38$ .
- O cobrimento das armaduras deve ser =5cm.

2. Evitar **umidade** e exposição à chuva em ambiente industrial com alto teor de sulfatos, como área de refinarias de petróleo. Usar, para isso, impermeabilização.

3. Evitar **fissuras** causadas por:

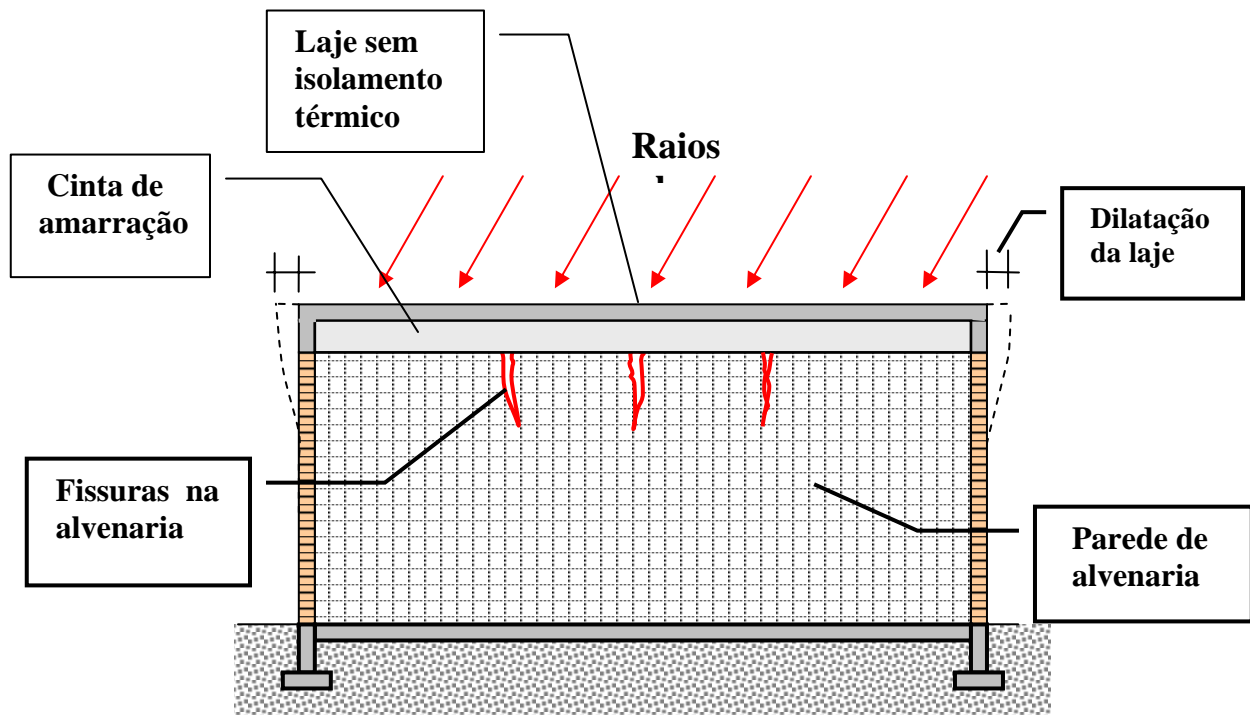
- Retração térmica.
- Retração por secagem devida a cura defeituosa.
- Cura a vapor com temperatura maior que 65 graus centígrados.

### EXEMPLO Nº 117

**TIPO DE ESTRUTURA:** Casa de alvenaria sem telhado. Laje de cobertura e cintas de amarração executadas diretamente sobre as alvenarias.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nas paredes.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A dilatação da laje de cobertura, devida ao calor dos raios solares, causa tensões de tração nas paredes de alvenaria. As paredes fissuram na direção vertical. Esse caso de fissuração é idêntico ao do exemplo número 1.

Se considerarmos um aquecimento da laje de  $\Delta T = 10^{\circ}C$  teremos na parede:

$$\varepsilon_{\text{parede}} = \varepsilon_{\text{laje}} = \alpha \cdot \Delta T = \left( \frac{10^{-5}}{^{\circ}C} \right) \cdot 10^{\circ}C = 0,10 \cdot 10^{-3} = 0,10(\text{mm} / \text{m})$$

O alongamento de ruptura à tração da alvenaria da parede :  $\varepsilon_{\text{alvenaria}} \cong 0,05 \dots a \dots 0,10 \cdot 10^{-3}$  é atingido e as paredes fissuram.

**SOLUÇÃO :** O uso de um telhado praticamente elimina a dilatação térmica da laje. Após a colocação de um telhado, basta refazer o reboco da parede, pois o movimento térmico das fissuras fica eliminado.

Uma camada de material isolante térmico, colocado sobre a laje, elimina essa fissuração.

A argila expandida, em pequenas “pelotas”,  
⇒ é um exemplo de material usado como isolante

térmico em obras de grande porte



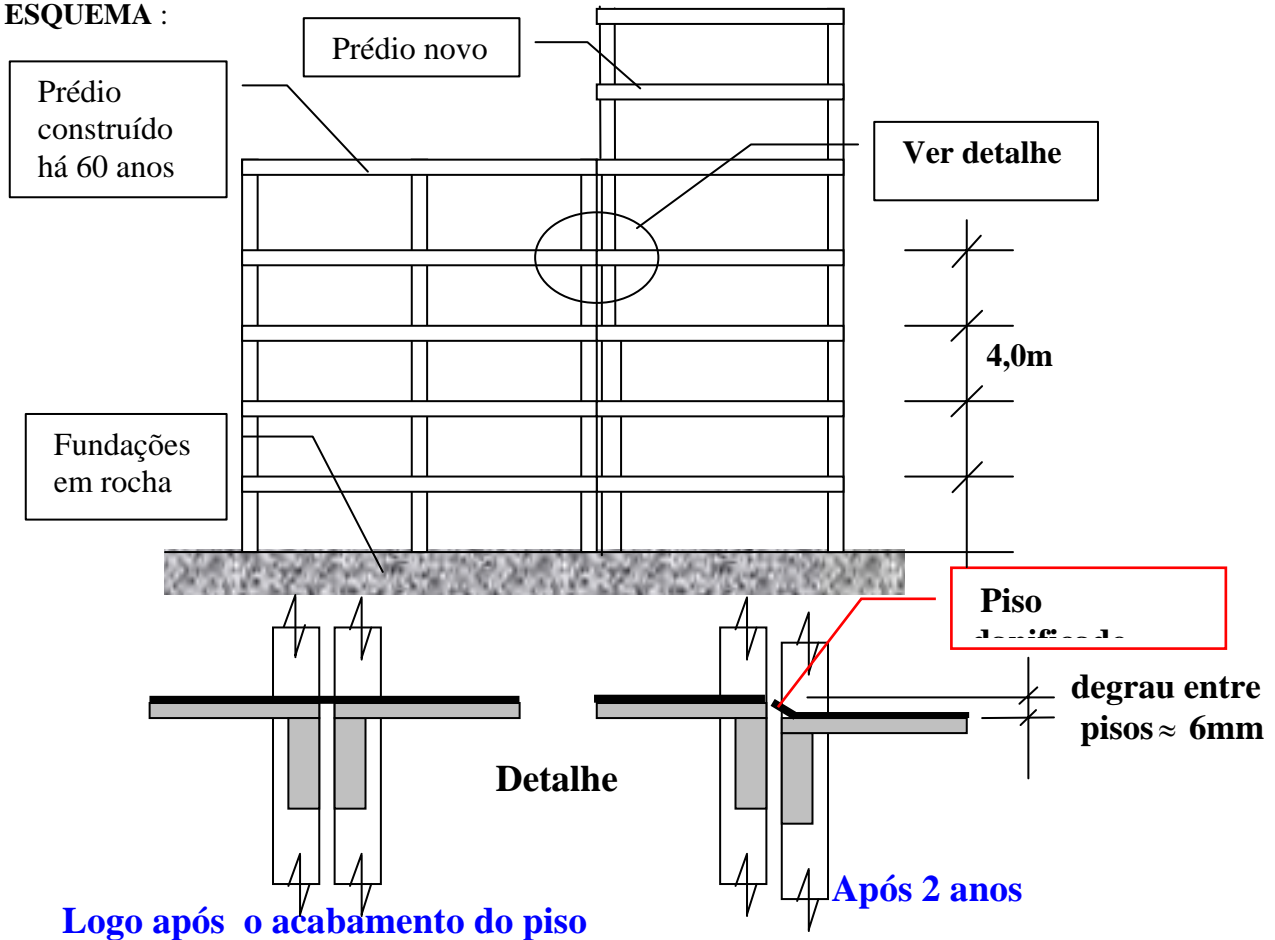
**OBSERVAÇÃO :** A simples injeção das fissuras com material que endureça e fique rígido após a injeção, nada resolve, pois, sem o telhado, o ciclo térmico não é eliminado e a fissura continua abrindo e fechando. A injeção total das fissuras, com material elástico, pode ser mais cara do que a colocação de um telhado.

### EXEMPLO Nº 118

**TIPO DE ESTRUTURA:** Prédio de concreto armado construído junto a prédio antigo, com 60 anos de existência, também de concreto armado. Em cada piso foram feitas passagens entre os 2 prédios.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras e degraus nos revestimentos dos diversos pisos, nas juntas entre os dois prédios. Nos pisos mais altos os danos são maiores. No piso do pavimento térreo não há danos.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A causa é a deformação lenta e a retração por secagem, no concreto dos pilares do prédio novo. **Esta deformação é inevitável.**

Podemos fazer uma estimativa da deformação lenta do concreto dos pilares do prédio novo :

$\sigma$  = tensão de compressão no concreto do pilar devida à carga permanente  $\approx 50 \text{ kgf/cm}^2$

E = módulo de elasticidade do concreto novo  $\approx 260\,000 \text{ kgf/cm}^2$

$\varepsilon$ . imediato =  $\frac{\sigma}{E} = \frac{50}{260000} = 0,19/1000 = 0,19.(\text{mm/m})$ ; com  $\varphi$  · deformação.lenta  $\cong 2,0$  temos:

$\varepsilon$ .deformação.lenta =  $\varphi \cdot \varepsilon$ .imediato  $\approx 2,0 \cdot 0,19 \cdot (\text{mm/m}) = 0,38.(\text{mm/m})$

A retração por secagem também contribui com :  $\varepsilon$ .retração  $\approx 20 \cdot 10^{-5} = 0,20.(\text{mm/m})$

**Encurtamento lento total por pavimento:**  $\Delta L = (0,38+0,20)(\text{mm/m}) \times 4,0\text{m} = 2,3 \text{ mm}$

Encurtamento até o 4º piso =  $4 \times 2,3\text{mm} = 9,2\text{mm}$ . Ver Fintel, M. [74]

Após 2 anos, estima-se que já tenha ocorrido cerca de 65% da deformação lenta e da retração :

$\varepsilon$ .ocorrido  $\approx 0,65 \cdot 9,2\text{mm} = 6\text{mm} \approx$  desnível observado . O encurtamento imediato, a retração por secagem e a deformação lenta dão:  $\varepsilon$  total = **0,80 mm/m a 1,00 mm/m**. Ver Neville,Adam [73].

**SOLUÇÃO :** Não fazer o revestimento contínuo sobre a junta entre os dois prédios. Manter aberta a junta, de modo a permitir o deslocamento relativo dos dois prédios.

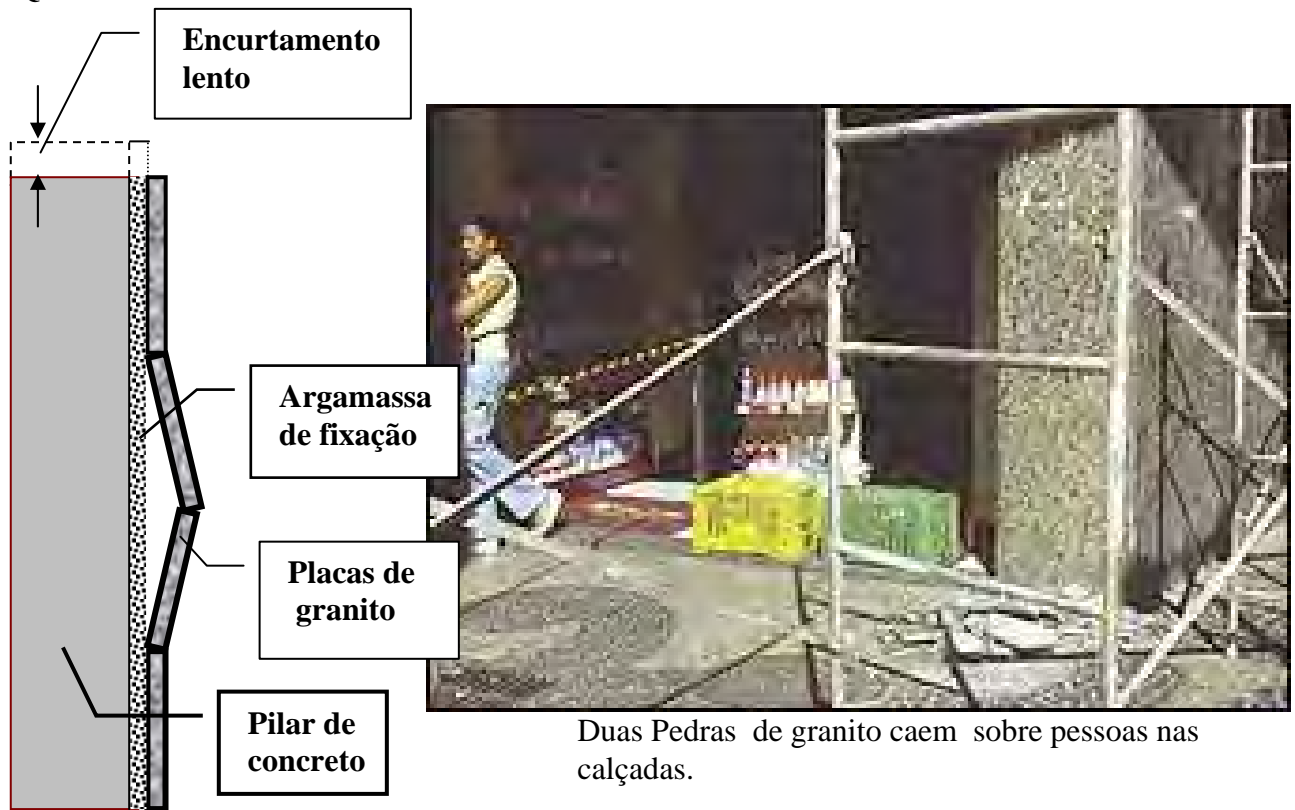
**OBSERVAÇÃO:** Não se trata de recalque das fundações do prédio novo, pois os dois prédios têm fundação na rocha sã.

### EXEMPLO Nº 119:

**TIPO DE ESTRUTURA:** Edifícios de concreto armado com os pilares revestidos com pedras.

**FALHAS DE CONSTRUÇÃO:** Placas de mármore ou granito caem dos pilares e paredes de concreto.

**ESQUEMA:**



**CAUSAS DA QUEDA:** As causas são duas:

**1-** Deformação Lenta e Retração por Secagem no concreto dos pilares do prédio.

Esta deformação é inevitável. A argamassa de fixação fica sujeita a grandes tensões de cisalhamento.

As pedras não têm retração nem deformação lenta e por esse motivo não acompanham o encurtamento do pilar. As pedras de granito ou de mármore ficam, então, comprimidas e flambam.

A flambagem envolve sempre 2 placas. Sempre caem 2 placas, no mínimo.

Esse fenômeno é o mesmo do exemplo Nº 118.

**2-** O aquecimento, pelo sol, das pedras da fachada. As pedras das fachadas muito ensolaradas, podem atingir temperaturas de 60°C, em contraste com a temperatura interna do prédio que é de 25°C a 30°C. As pedras tendem a dilatar e o pilar impede essa dilatação. Esse fenômeno gera tensões idênticas ao fenômeno de deformação lenta e retração.

**SOLUÇÃO:** Fixar as pedras com grampos metálicos.

**OBSERVAÇÃO:** O encurtamento total, dos pilares, incluindo os encurtamentos imediato, a retração por secagem e a deformação lenta tem sido medido em diversos prédios e vale  $\Delta = 2,5\text{mm}$  a  $3,0\text{mm}$  por pavimento. A deformação total dos pilares também é avaliada por metro de altura do prédio:

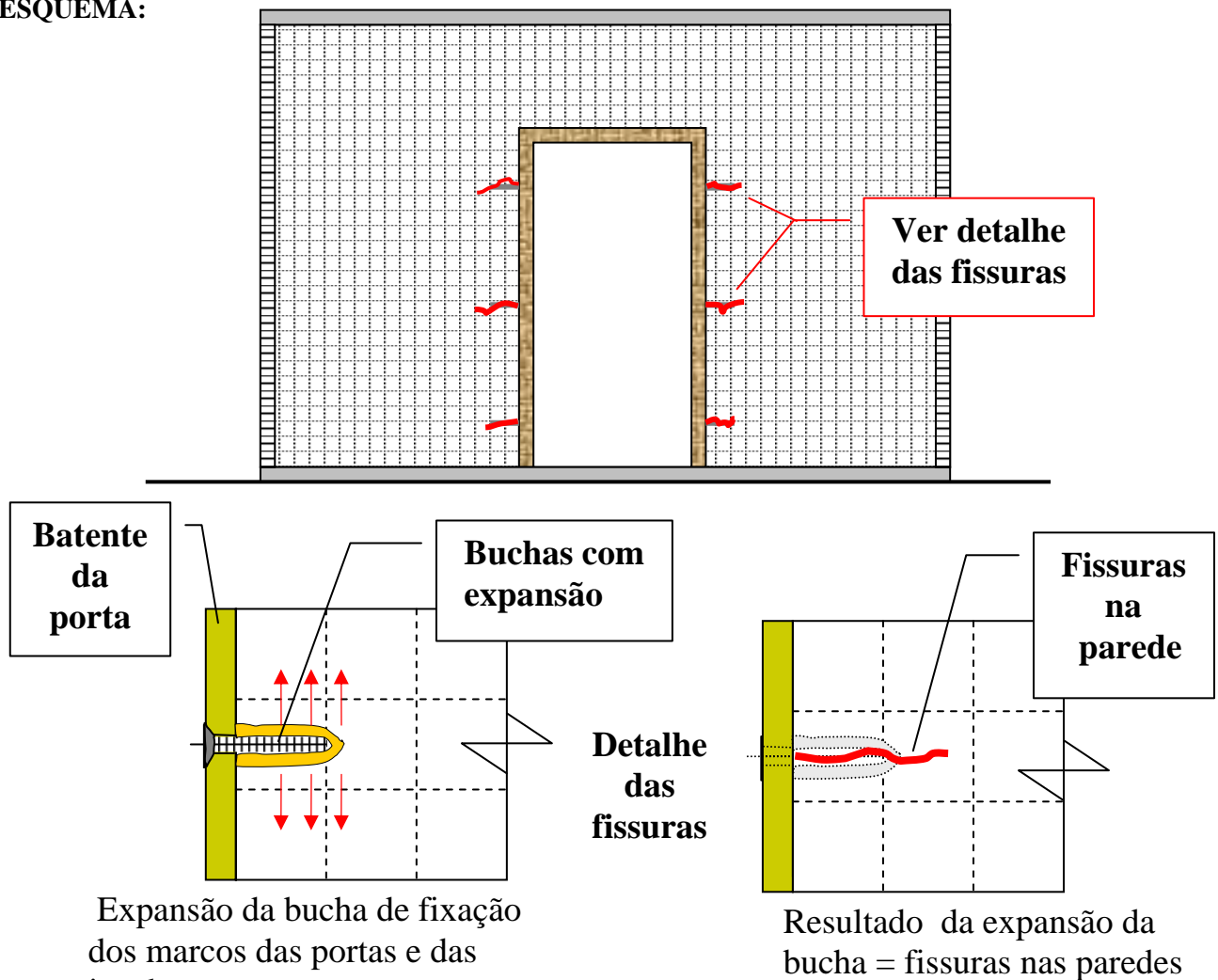
$\epsilon_{\text{total}} = 0,80\text{mm/m}$  a  $1,00\text{mm/m}$ . Ver Sidney Mindess [63], BIA [64] e W. G. Plewes [66].

**EXEMPLO Nº 120:** ( Semelhante ao exemplo Nº 123 )

**ESTRUTURA :** Prédios com paredes pré-moldadas em 2 camadas : alvenaria e concreto.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas paredes pré-fabricadas, nos pontos de fixação das portas e janelas.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Para facilitar a pré-fabricação de paredes, não foi usado o tradicional taco de madeira para fixação das portas e janelas. Na pré-fabricação de paredes, a locação e fixação dos tacos na posição correta é difícil e pode gerar falta de alinhamento com os parafusos de fixação dos batentes das portas.

Usaram-se buchas de expansão, colocadas nas paredes em furos feitos com brocas. *A expansão das buchas criou tensão de tração na parede.*

A expansão, necessária para a fixação dos batentes das portas e janelas, foi muito grande e a tensão de tração criada superou a resistência à tração do material da parede, ocasionando o aparecimento das fissuras. Essas fissuras são paralelas ao eixo das buchas.

**SOLUÇÃO:** Controlar o aperto do parafuso de fixação. Isso limita a expansão da bucha, evitando as fissuras.

**OBSERVAÇÃO:**

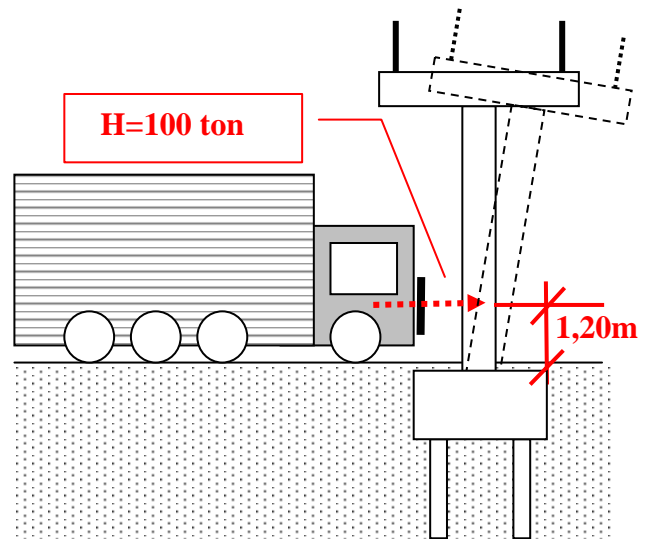
- O tradicional taco de madeira é uma solução simples e barata, mas na pré-fabricação é de difícil posicionamento e de difícil fixação.
- Usa-se também, em pré-moldados, a chamada “porta pronta” cuja fixação no vão da parede pode ser feita com espuma de poliuretano. Após encaixar a “porta pronta” no vão da parede, aplica-se a espuma de poliuretano em 3 pontos, em cada lado da porta, com aproximadamente 20cm cada. Esperam-se 24 horas para a cura completa do poliuretano. Ver Multidoor [62]

**EXEMPLO Nº 121**

**ESTRUTURA :** Pilares de concreto armado de pontes , passarelas ou prédios situados junto a ruas, estradas ou avenidas com tráfego de veículos pesados.

**FISSURAÇÃO:** O impacto de caminhões ou de ônibus causa a destruição dos pilares e a conseqüente queda da super-estrutura da ponte, da passarela ou mesmo do prédio.

**ESQUEMA :**



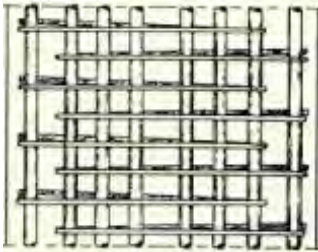
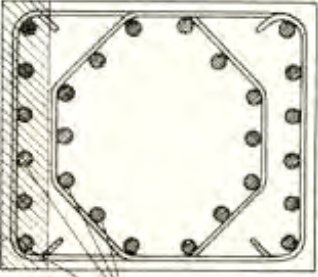
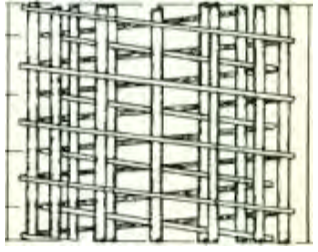
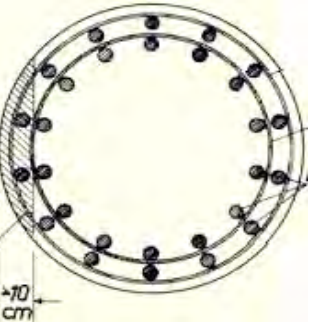
Passarela de pedestres com o pilar destruído pelo impacto de um caminhão tanque.

**CAUSA DO DANO :** Os pilares não são dimensionados para resistir às forças de impacto .

**SOLUÇÃO :** 1-Dimensionar o pilar para resistir ao impacto: A norma alemã de pontes recomenda que o pilar seja dimensionado para uma carga horizontal estática **H** de 100 ton. a 1,20m do chão , na direção do tráfego. Manda, também, que seja considerado um outro caso de carga, não simultâneo com o anterior: Uma carga horizontal de 50 ton., transversal à direção do tráfego, a 1,20m do chão.

2-Alternativa: Usar barreiras, de concreto ou de aço, protegendo o pilar contra o impacto de veículos.

**OBSERVAÇÃO :** Abaixo mostramos as duas configurações de armadura que resistiram ao impacto, em ensaios, em tamanho real, feitos por Popp [61]. Segundo os ensaios de Popp [61], em um pedaço do pilar com ± 10cm, concreto e ferros são destruídos pelo impacto e portanto não devem ser considerados na seção resistente.

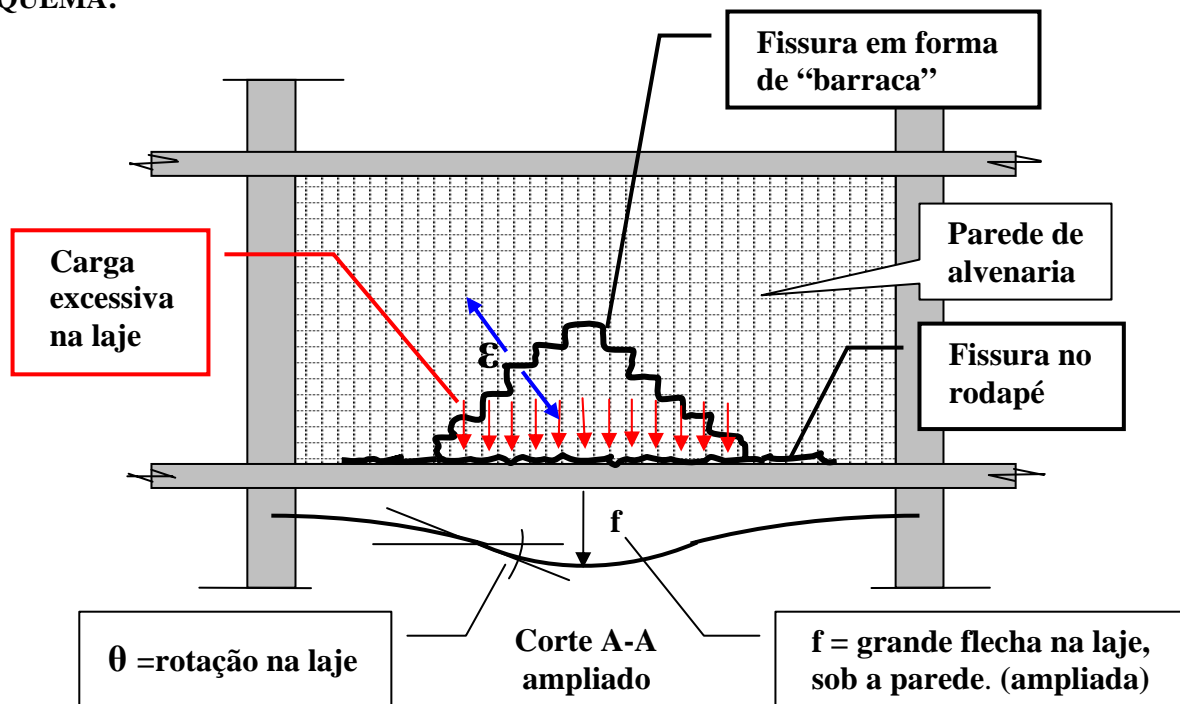
<p>Armadura : <b>Longitudinal :</b> 26 ferros 32mm <b>Transversal:</b> Estribos 12,5mm cada 12cm em cada grupo, com traspasse em uma face do pilar.</p> <p style="text-align: center;">⇒ <b>Impacto</b></p> <p>Não considerar os 10cm destruídos pelo impacto.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Pilar Retangular</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Vista lateral</b></p>  <p style="text-align: center;">Seção : 55cm x 65cm</p>	<p>Armadura <b>Longitudinal</b> 28 ferros 32mm <b>Transversal:</b> Estribos 12,5mm cada 12cm em cada grupo, com traspasse em uma circunferência completa</p> <p style="text-align: center;">⇒ <b>Impacto</b></p> <p>Não considerar os 10cm destruídos pelo impacto.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Pilar circular</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Vista lateral</b></p>  <p style="text-align: center;">Seção: <math>\phi = 65\text{cm}</math></p>
--	---	---	--

### EXEMPLO Nº 122

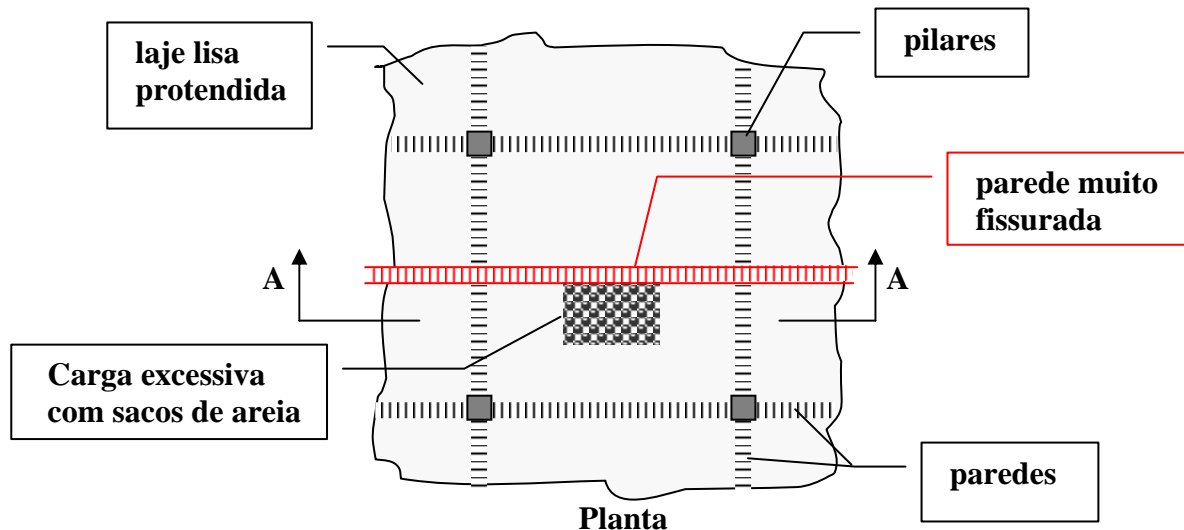
**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio com lajes lisas de concreto protendido.

**FISSURAÇÃO :** Fissura na parede de alvenaria em forma de “barraca” e fissura ao longo do rodapé.

**ESQUEMA:**



**CAUSA :** Carga excessiva na laje causada por sacos de areia empilhados junto à parede. Mesmo após a retirada da carga excessiva, a fissuração permaneceu. Isto se explica pelo encurtamento lento irreversível do concreto da laje. Ver página seguinte e também Mindess [63].



### SOLUÇÃO :

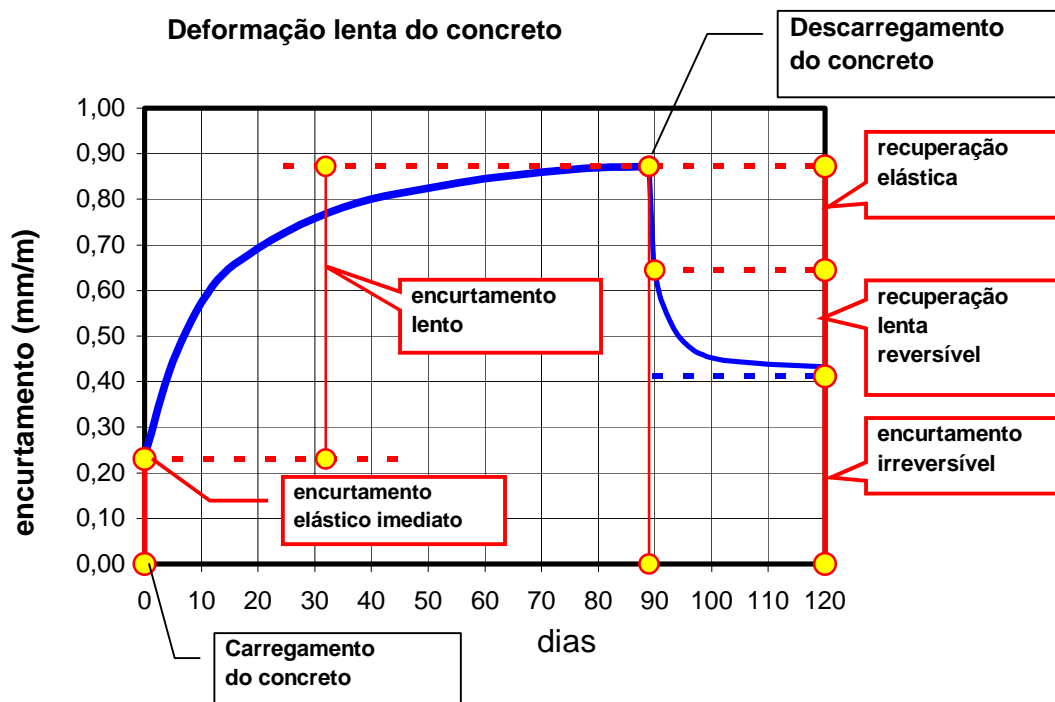
- Uma solução para o problema seria, obviamente, o uso de lajes lisas mais espessas
- Evitar sobrecarga excessiva como a de sacos de cimento e de areia.
- A execução de paredes de alvenaria de tijolo sobre as lajes lisas protendidas não é recomendável. Um sem número de alvenarias, nessas condições, apresenta fissuras.
- Devem ser usados tipos de paredes divisórias compatíveis com as deformações dessas lajes lisas protendidas.



## EXEMPLO Nº 122 ( Continuação )

TIPO DE ESTRUTURA : Prédio com lajes lisas protendidas.

FISSURAÇÃO : Fissura na parede de alvenaria em forma de “barraca” e fissura ao longo do rodapé.



### OBSERVAÇÃO :

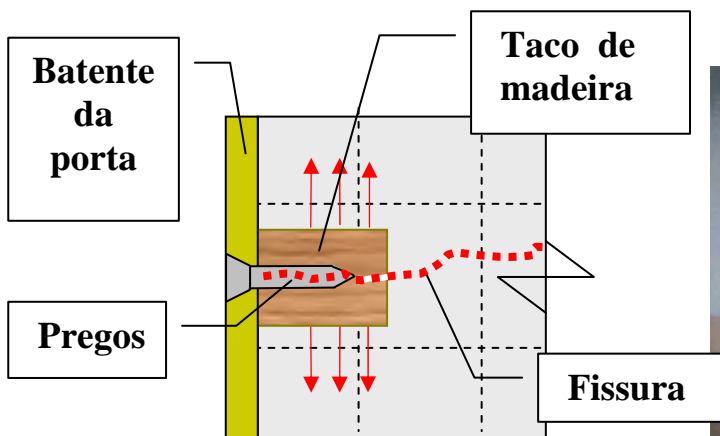
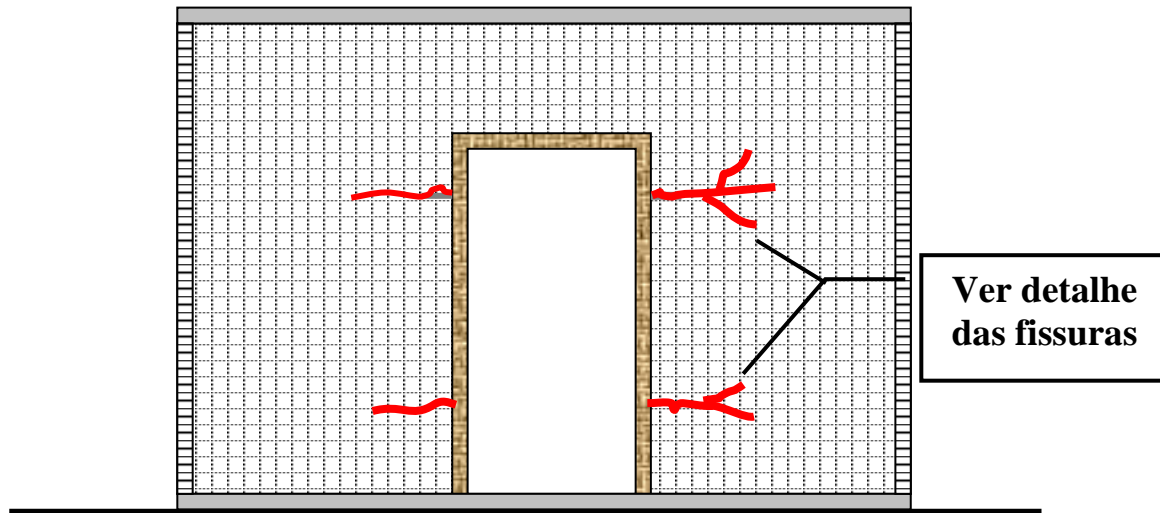
- Em lajes lisas, em concreto protendido, como as forças nos cabos equilibram, na vertical, todas as cargas permanentes, as flechas imediatas e lentas são pequenas, quase nulas. Ver Collins [67].
- Grandes sobrecargas, no entanto, produzem grandes flechas imediatas. Se essas sobrecargas atuam durante um período de tempo maior que 30 dias, surgem grandes flechas lentas.
- Como grande parte da deformação lenta do concreto é irreversível, as fissuras nas alvenarias permanecem, mesmo após a retirada da sobrecarga. Ver a figura de Mindess [63] acima.
- Se a grande sobrecarga atuar por mais de 30 dias, a recuperação lenta reversível, atinge seu limite. Qualquer deformação lenta, daí para frente, será irreversível.
- Segundo a nova norma NBR 6118/2002, após a execução da parede de alvenaria, deve-se limitar :
  1. A rotação  $\theta$  na laje, a 1,7 ‰, incluindo a rotação que surge com o tempo. Isto corresponde a um alongamento de tração na alvenaria igual a  $\epsilon_{\text{tração}} = 0,85\text{‰}$  e a uma abertura de fissura na alvenaria de  $\cong 0,2\text{mm}$ . A fissura na alvenaria começa, no entanto, a se formar quando o alongamento da alvenaria  $\epsilon_{\text{tração}} = 0,05\text{‰}$  a  $0,1\text{‰}$ . Ver Mainstone [103].
  2. A flecha  $f$  da laje, a 10mm e a  $(L / 500)$ , incluindo a flecha que surge com o tempo, onde  $L$  = vão da laje.
- Se as lajes forem de concreto armado, a espessura necessária é maior e as flechas, devidas à sobrecarga, são menores.

**EXEMPLO Nº 123:** ( semelhante ao exemplo Nº120 )

**ESTRUTURA :** Prédios com paredes de alvenaria tradicional . Ver M.M. Ribeiro[69]

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas paredes de alvenaria, nos pontos de fixação das portas e janelas.

**ESQUEMA:**



*Foto das fissuras nas alvenarias.  
Fissuras acentuadas com tinta.*

Expansão devida a pregos nos tacos de madeira de fixação dos marcos das portas e das janelas.

**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** A força, criada com a introdução dos pregos, causa esforços de encunhamento da parede. O encunhamento, sendo muito grande, a tensão de tração criada pode superar a resistência à tração da alvenaria da parede, ocasionando o aparecimento das fissuras. Os esforços que surgem são semelhantes aos esforços de encunhamento no ensaio de compressão diametral desenvolvido pelo Prof. Lobo Carneiro.

**SOLUÇÃO:** Usar parafusos com diâmetro e comprimento adequados. A furadeira, fazendo um pré-furo, reduz a expansão da madeira e com isso reduz as fissuras. As dimensões do parafuso e do pré-furo devem ser testadas antes da colocação das guarnições das portas e janelas.

**OBSERVAÇÃO:**

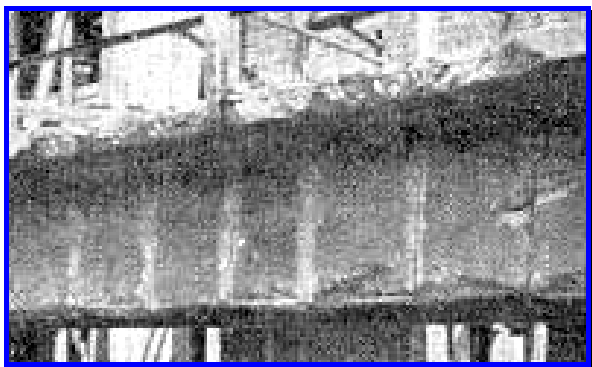
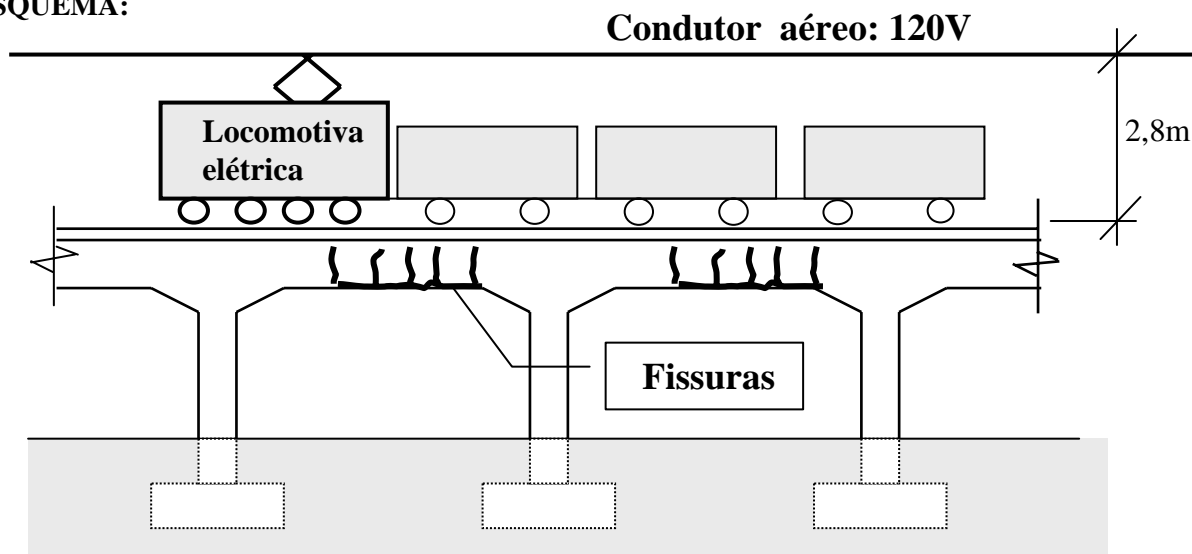
- Quando se usa a chamada “porta pronta”, a fixação no vão da parede pode ser feita com espuma de poliuretano. Após encaixar a “porta pronta” no vão da parede, aplica-se a espuma de poliuretano em 3 pontos, em cada lado da porta, com aproximadamente 20cm cada. Esperam-se 24 horas para a cura completa do poliuretano. Ver Multidoor [62]

**EXEMPLO Nº 124:** (ver também os exemplos 83 e 84)

**TIPO DE ESTRUTURA:** Ponte ferroviária, em pórtico de concreto armado contínuo, com 220m de comprimento, sem qualquer junta. Os vãos eram de 10m. A ponte servia de acesso privado aos trens, que transportavam as matérias primas para uma fábrica de cimento.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras e queda do cobrimento ao longo dos ferros longitudinais e ao longo dos estribos.

**ESQUEMA:**



Estribos com forte corrosão. Foto feita após a retirada do concreto solto.



Os ferros longitudinais corroídos “explodiram” o cobrimento.

#### **DESCRIÇÃO :**

- A estrutura é um pórtico contínuo de concreto armado, com vãos de 10m.
- A armadura inferior no vão consiste de três barras de aço com diâmetro de 30mm.
- O estribo da viga tem o diâmetro de 10mm.
- A armadura da laje superior da ponte é de 8mm.
- A tensão elétrica na linha férrea é de 120 V.
- Nove anos após a instalação da fábrica, a estrutura de concreto armado apresentava grande quantidade de fissuras.

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A corrente de retorno deveria passar pelos trilhos, mas as juntas dos trilhos tinham ligações elétricas de cobre, que foram roubadas. A corrente elétrica de retorno passou para a armadura da estrutura. As fissuras foram causadas pela corrosão eletrolítica das barras de aço, e pelo conseqüente aumento de volume dos óxidos produzidos pela corrosão

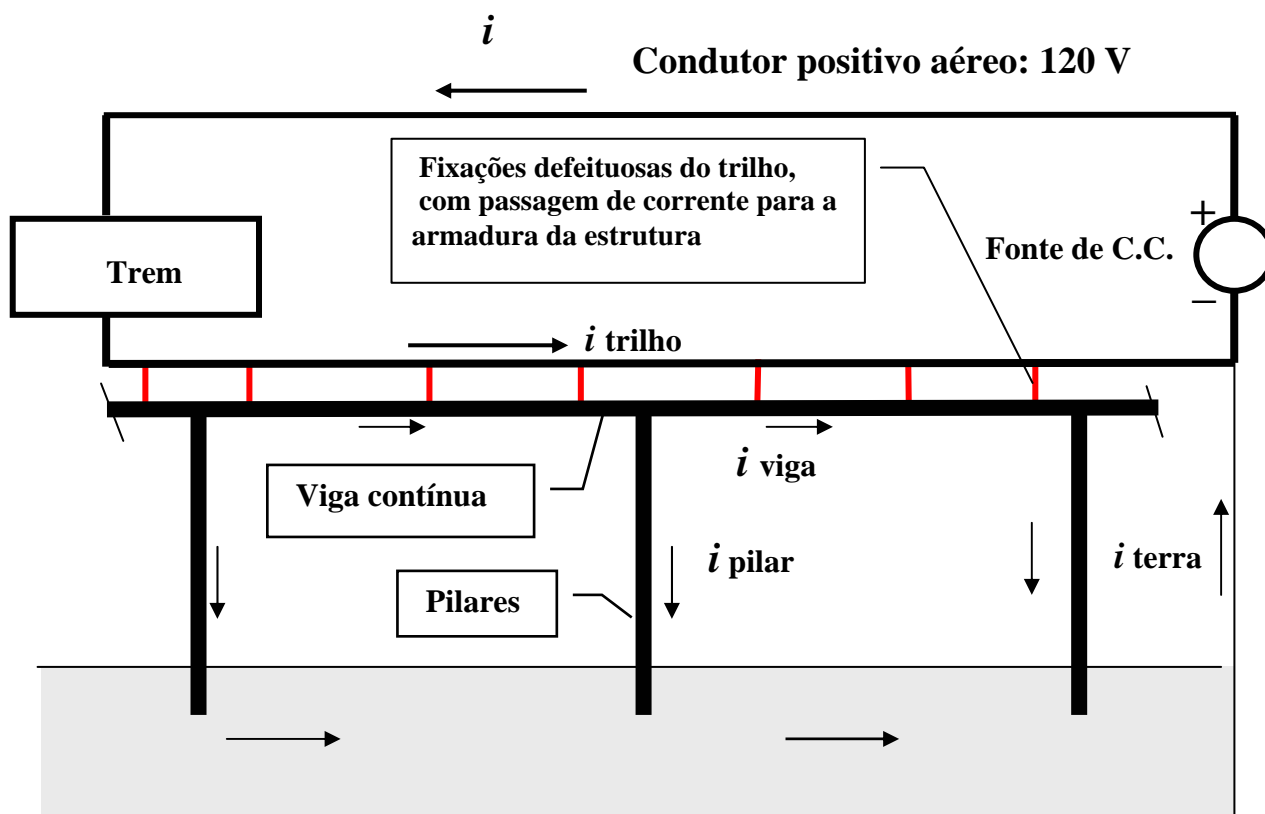
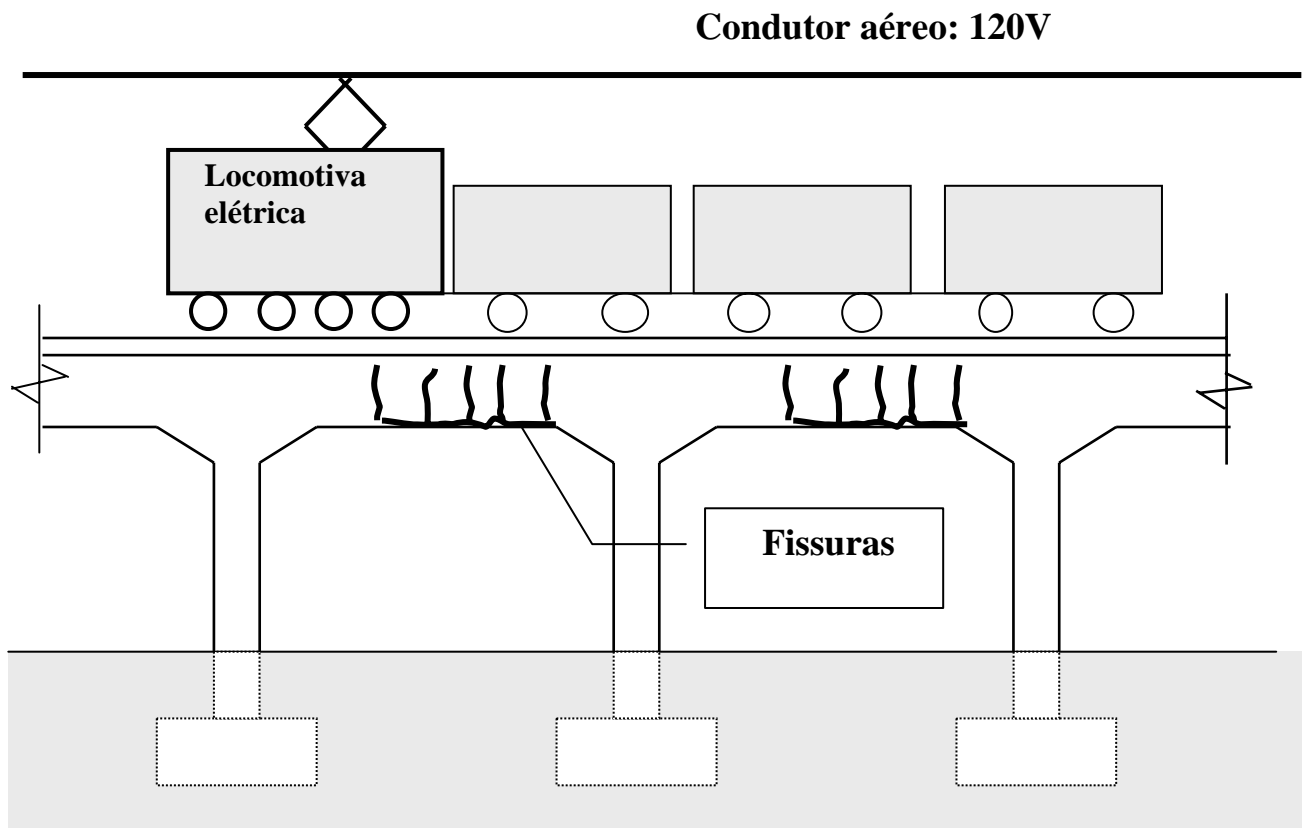
**OBSERVAÇÃO :** Segundo Gentil [71]: “As correntes de fuga que causam mais danos são as correntes contínuas e as correntes alternadas de baixa frequência. Estima-se que uma corrente alternada de 60Hz cause cerca de 1% do dano produzido por uma corrente contínua equivalente”.

**EXEMPLO Nº 124: CONTINUAÇÃO** ( ver também os exemplos 83 e 84 )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Ponte ferroviária, em pórtico de concreto armado, com 220m de comprimento, sem qualquer junta.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras ao longo dos ferros longitudinais e ao longo dos estribos.

**ESQUEMA:**

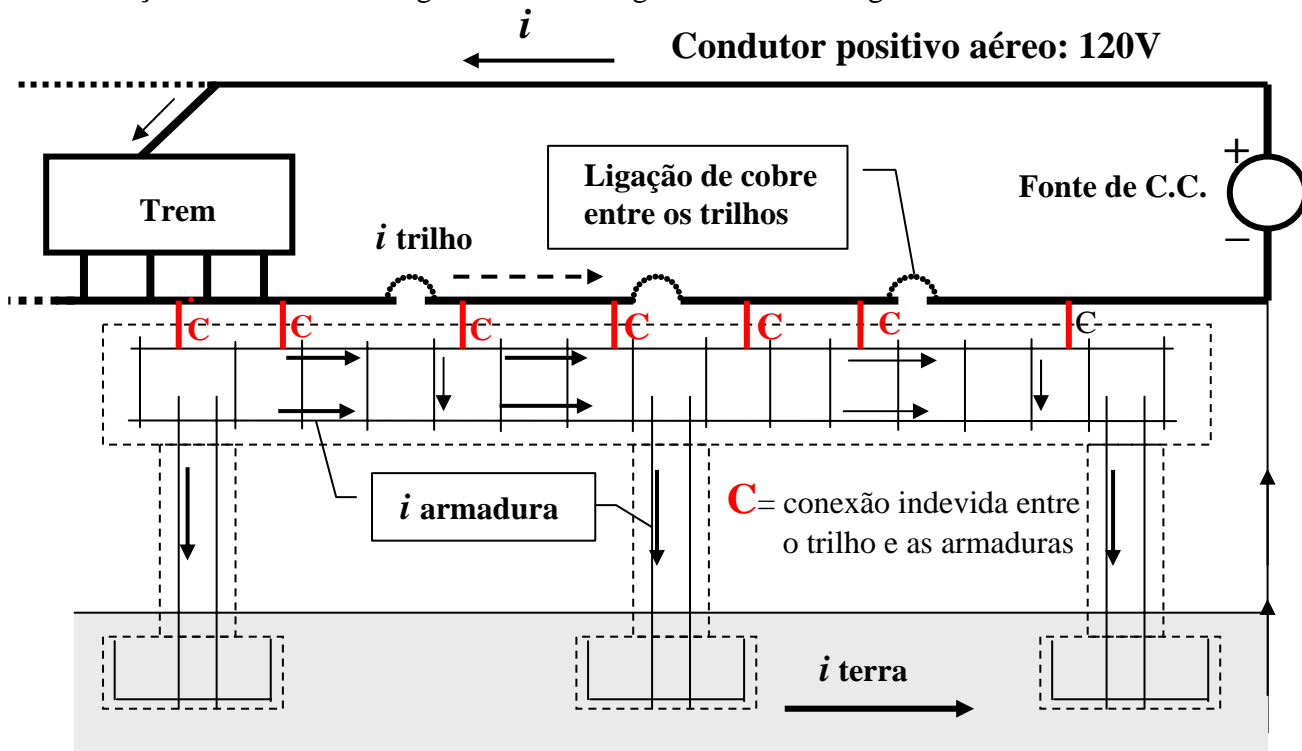


**ESQUEMA ELÉTRICO:** Circuito elétrico, adaptado de Gentil [ 71 ] e de Dutra [72].

**EXEMPLO Nº 124: CONTINUAÇÃO** ( ver também os exemplos 83 e 84 )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Ponte ferroviária, em pórtico de concreto armado, sem qualquer junta.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras ao longo dos ferros longitudinais e ao longo dos estribos.



**ESQUEMA ELÉTRICO :** São mostradas as armaduras da estrutura de concreto armado, em uma adaptação do esquema de Gentil [ 71 ] e de Dutra [72 ].

- Quando o trilho é contínuo, a corrente de retorno no trilho é grande e as correntes de retorno, na estrutura e na terra, são mínimas. Não há danos à estrutura.
- Quando os trilhos têm juntas de dilatação, usam-se conexões elétricas de cobre entre os segmentos de trilho. Se essas ligações elétricas forem deficientes, forma-se uma grande seqüência de resistências elétricas em série. Isto causa uma redução da corrente de retorno nos trilhos e, em consequência, um aumento da corrente de retorno na estrutura e na terra.
- **Na obra acima, as ligações de cobre entre os trilhos foram roubadas.** A corrente de retorno através dos trilhos ficou nula e toda a corrente de retorno se instalou nas barras de aço da armadura da estrutura. A corrosão eletrolítica se instalou na armadura da estrutura. O aumento de volume dos óxidos formados no anodo “explodiu” o revestimento de concreto.
- A armadura longitudinal de 30mm tinha forte corrosão nos pontos de contato com os estribos.

**SOLUÇÃO :** Medidas de proteção para as estruturas de concreto armado. Ver Otto Graf [70].

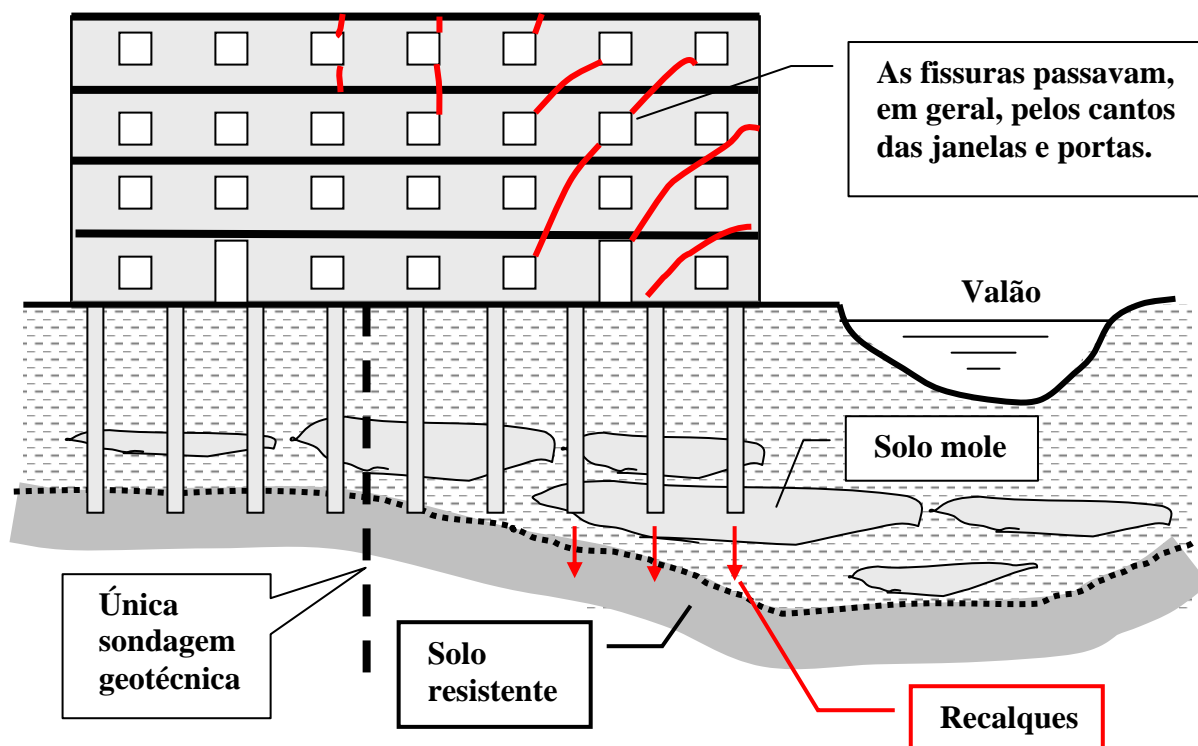
1. Concreto sem qualquer armadura pode ser considerado como imune à ação da eletricidade. Concreto rico em cimento e mantido seco tem boa resistência à ação da eletricidade.
2. Antes de tudo, deve-se proteger o concreto contra a umidade. Nessas condições, a condutibilidade elétrica do concreto é baixa. Qualquer umidade aumenta a condutibilidade elétrica do concreto.
3. Não usar, no concreto, aditivos que tenham cloreto de sódio ou cloreto de cálcio, pois a condutibilidade elétrica aumenta muito. O risco de degradação da estrutura cresce muito se for adicionado 1% de cloreto de sódio ou de cloreto de cálcio.
4. Suportes de cabos elétricos, quando são fixados em estruturas de concreto, devem ser isolados eletricamente. **Não é correto “aterrar”** as armaduras da estrutura de concreto armado, como muitos recomendam.
5. Ao projetar linhas férreas elétricas, que passem sobre pontes e viadutos, deve-se prever um bom revestimento isolante sobre a laje do tabuleiro. Pode-se usar, por exemplo, asfalto ou outro material betuminoso. Não fazer a colocação dos trilhos diretamente sobre o concreto armado.

**EXEMPLO N<sup>o</sup> 125 :** Ver também o exemplo N<sup>o</sup> 10

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio com 4 andares, de alvenaria e com fundações em estacas pré-moldadas de concreto.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras inclinadas nas paredes internas e externas.

**ESQUEMA**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** O comprimento insuficiente de várias estacas .

As estacas pré-moldadas foram fabricadas na obra, tendo como base o comprimento definido por uma única sondagem geotécnica.

Não houve monitoração da cravação das estacas. As estacas foram cravadas sem qualquer controle da resistência do solo a essa cravação. No trecho onde o solo resistente estava mais profundo, as estacas ficaram curtas e portanto sem a resistência necessária.

**SOLUÇÃO :**

- A solução foi a cravação de estacas adicionais até o solo resistente.
- Para evitar o ocorrido, é necessário executar um número correto de sondagens geotécnicas e monitorar a cravação das estacas de modo a detectar variações, não previstas, da resistência do solo.

**OBSERVAÇÕES:**

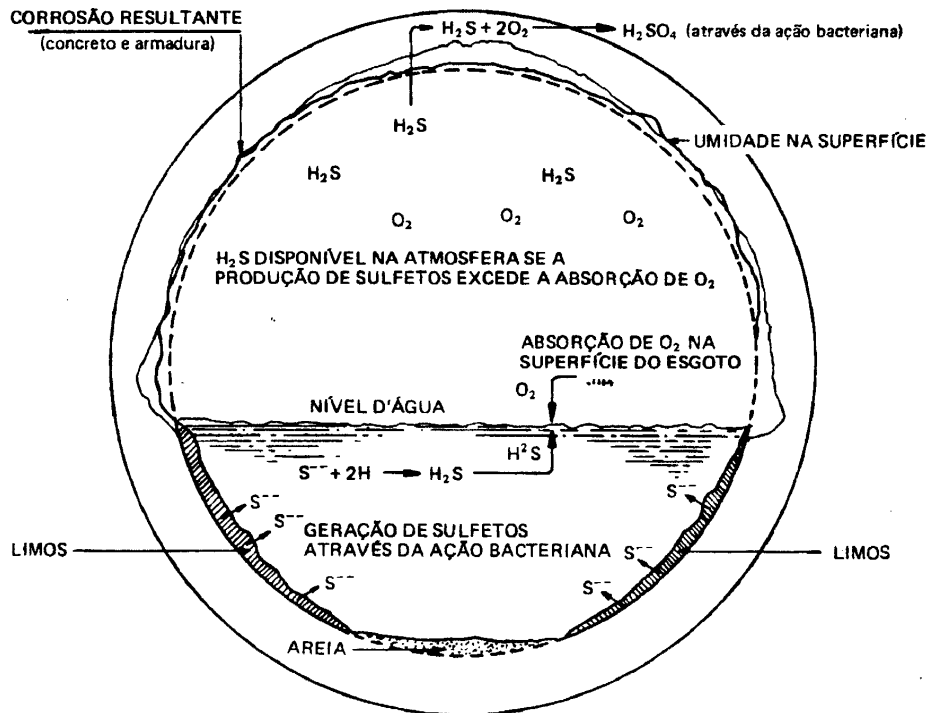
- As fissuras começaram a surgir já durante a fase de construção do prédio e aumentaram logo a seguir.
- Após a execução do reforço da fundação, as fissuras foram injetadas com resina e não mais abriram.
- As fissuras passavam , em geral, pelos cantos das janelas e portas, onde certamente há concentração de tensões de tração nas alvenarias.

## EXEMPLO Nº 126

**ESTRUTURA :** Tubos de concreto armado usados em esgoto

**DEGRADAÇÃO :** Corrosão do concreto e formação de gesso na parte superior do tubo.

**ESQUEMA:**



Esquema didático da corrosão de um duto de concreto por ação dos sulfatos do esgoto, segundo Ludwig, Russel G. e Almeida, Sérgio A Sá, ver [82]




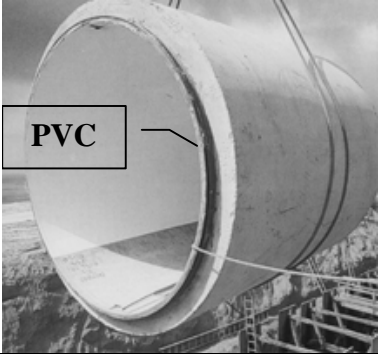
**CAUSA DA CORROSÃO :** Ação química do gás sulfídrico sobre o concreto . A falta de ventilação permite o acúmulo de gás sulfídrico dentro dos dutos de esgoto. A ventilação forçada é difícil pois o gás, a ser retirado dos dutos de esgoto, é o gás sulfídrico , que tem o conhecido odor de ovo podre.

A seqüência das reações químicas é a seguinte , segundo [82]:

- A água potável contém alguma quantidade de sulfatos que é aumentada durante seu uso por residências e por algumas indústrias.
- Bactérias redutoras de sulfatos necessitam de oxigênio para consumir a matéria orgânica existente na água do esgoto. Quando o oxigênio não está disponível , elas retiram o oxigênio dos íons sulfato  $SO_4^{(---)}$  , deixando livres os íons sulfeto  $S^{(---)}$  .
- A reação do sulfeto, com a água, resulta no gás sulfídrico  $H_2S$ , conhecido pelo seu cheiro característico de ovo podre.
- Esse gás liberado é absorvido pelas partes superiores do coletor de concreto , sendo novamente oxidado e transformado-se em ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ .
- Esse ácido  $H_2SO_4$  ataca o concreto nas partes superiores do coletor , transformando o hidróxido de cálcio  $Ca.(OH)_2$ , do concreto em gesso ,  $CaSO_4.2H_2O$ .

O gesso cristaliza, na superfície do tubo de concreto. A cor é branca. Ver foto na página seguinte.

**EXEMPLO Nº 126 ( CONTINUAÇÃO )****ESTRUTURA :** Tubos de concreto armado usados em esgoto**DEGRADAÇÃO :** Corrosão do concreto e formação de gesso na parte superior do tubo.**ESQUEMA:**

	
Tubo de concreto após a corrosão do concreto pelo gás sulfídrico, que se forma no interior do esgoto.	Tubo de concreto após a corrosão do concreto por ácido, lançado por indústria química de tintas. Ver O. Graf [36]
	
Parte superior de tubo de concreto, corroído pelo gás sulfídrico dos esgotos. O gesso formado, cristaliza, com a cor branca, na superfície do tubo de concreto. Aparece ainda o resíduo da impermeabilização corroída. Ver Gebler [83].	Revestimento de PVC, com nervuras T para fixação ao concreto. O PVC protege o concreto da ação do gás sulfídrico, que se forma dentro dos esgotos pela ação de bactérias. Ver Ameron [84]

**SOLUÇÃO :**

- Em meio ambiente agressivo, como o que existe em um esgoto com atmosfera confinada, sem ventilação, proteger o concreto com revestimento de PVC, ver foto acima. Ver Ameron [84]
- Em meio agressivo ou pouco agressivo usar um concreto com traço adequado, como o abaixo indicado por K.Beer [85].

Teor mínimo de cimento RS, resistente a sulfatos	> 335 kg/m <sup>3</sup>
Teor de micro-sílica	≅ 17 kg/m <sup>3</sup>
Pedra	≅ 1130 kg/m <sup>3</sup>
Areia	≅ 744 kg/m <sup>3</sup>
Relação : água / (cimento + micro-sílica)	≅ 0,38
Superplastificante	de acordo com o abatimento (slump) desejado
Incorporador de ar	Não é necessário
Abatimento ( Slump)	75mm a 100mm
Massa específica	2220 kg/m <sup>3</sup> a 2490 kg/m <sup>3</sup>
Resistência à compressão ( fck)	> 38 MPa
Ensaio de opermeabilidade ASTM C 1202	Q < 2000 Coulombs
Ensaio de profundidade de penetração da água no ensaio da norma brasileira NBNR 10787/94	Máximo 30mm



**EXEMPLO Nº 126 ( CONTINUAÇÃO )****ESTRUTURA :** Tubos de concreto armado usados em esgoto**OBSERVAÇÃO :** A definição do *grau de agressividade da água* ao concreto é feita, entre outras, pela norma alemã DIN 4030 e pela norma canadense CSA.

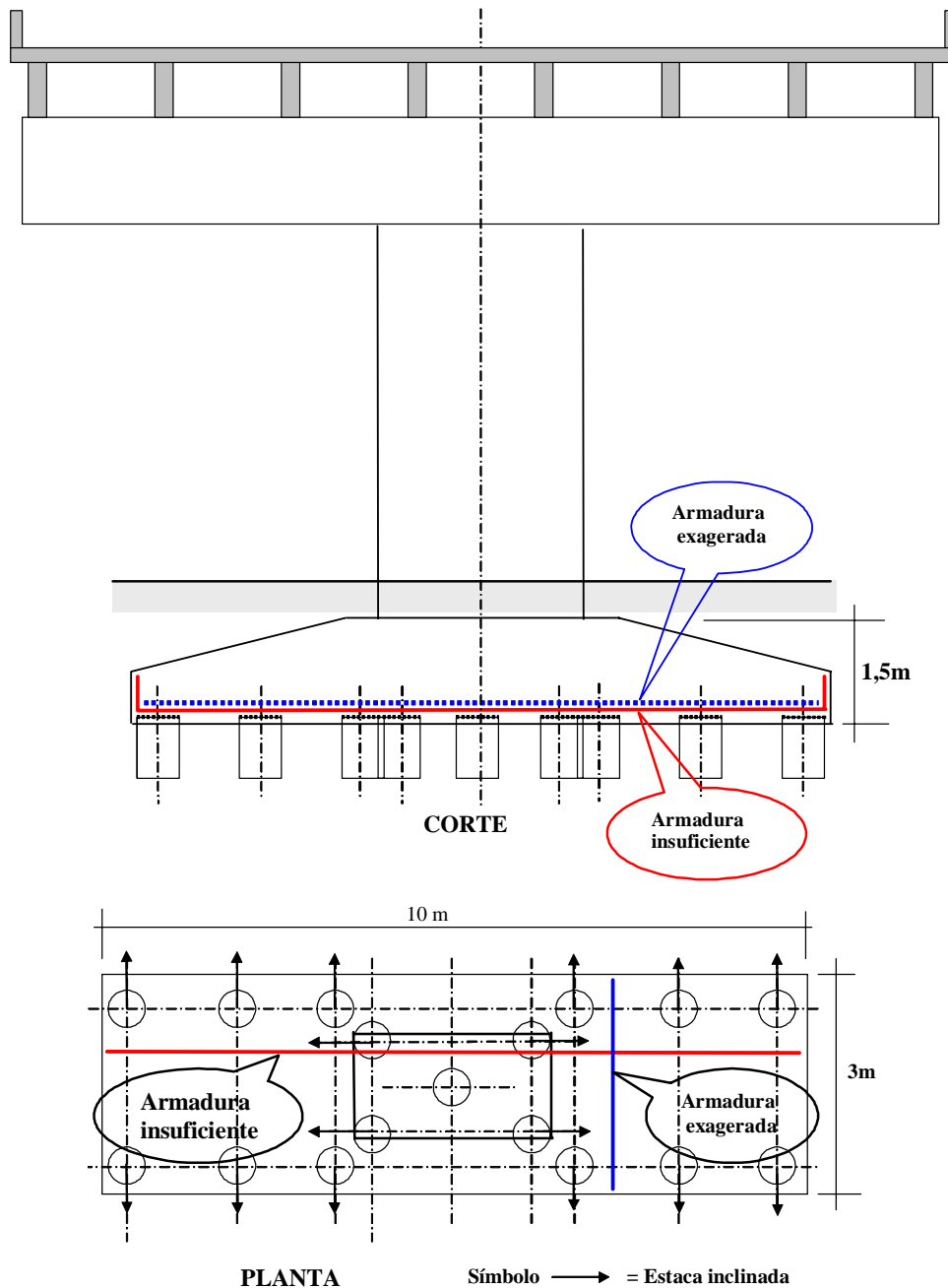
Item	Norma	Grau de agressividade de água		
		Fraco	Forte	Muito forte
pH	DIN 4030	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	abaixo de 4,5
CO <sub>2</sub> (mg/litro)	DIN 4030	15 - 30	30 - 60	acima de 60
Amonium ( NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg / litro)	DIN 4030	15 - 30	30 - 60	acima de 60
Magnésio ( Mg <sup>++</sup> ) (mg/litro)	DIN 4030	100 - 300	300 - 1500	acima de 1500
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> ) (mg/litro)	DIN 4030	200 - 600	600 - 3000	acima de 3000
	CSA	150 - 1000	1000 - 2000	acima de 2000
Conforme o grau de agressividade da água, são feitas recomendações para a composição e para algumas propriedades do concreto da estrutura.				
<b>Recomendações para o concreto</b>				
Item	Norma	Grau de agressividade de água		
		Fraco	Forte	Muito forte
Fator água/cimento	DIN 4030	no máx. 0,60	no máx. 0,50	proteger o concreto
	CSA	no máx. 0,50	no máx. 0,50	no máx. 0,45
Cobrimento das armaduras	DIN 4030	no mín. 3cm	no mín. 5cm	proteger o concreto
	CSA		no mín. 7,5 cm	no mín. 7,5cm
Profundidade de penetração da água nos ensaios.	DIN 1048	no máx. 50mm	no máx. 30mm	proteger o concreto
	NBR 10787/94	no máx. 50mm	no máx. 30mm	
Corrente elétrica no ensaio <b>ASTM C 1202</b>	CSA		Q < 2000 Coulombs	

**EXEMPLO Nº 127 :**

**TIPO DE ESTRUTURA:** Bloco de estacas em concreto armado, fundação de um viaduto urbano

**FALHA ESTRUTURAL :** Armadura do bloco insuficiente. Bloco sem segurança.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FALHA ESTRUTURAL :** Cálculo estrutural incorreto. A armadura principal do bloco, na direção transversal ao eixo do viaduto, era insuficiente. Na outra direção era exagerada. Somente após a construção de 17 blocos a falha foi detectada por engenheiro de estruturas. A armadura fora mal calculada. O bloco de estacas não apresentava segurança à ruptura segundo a norma NB-01.

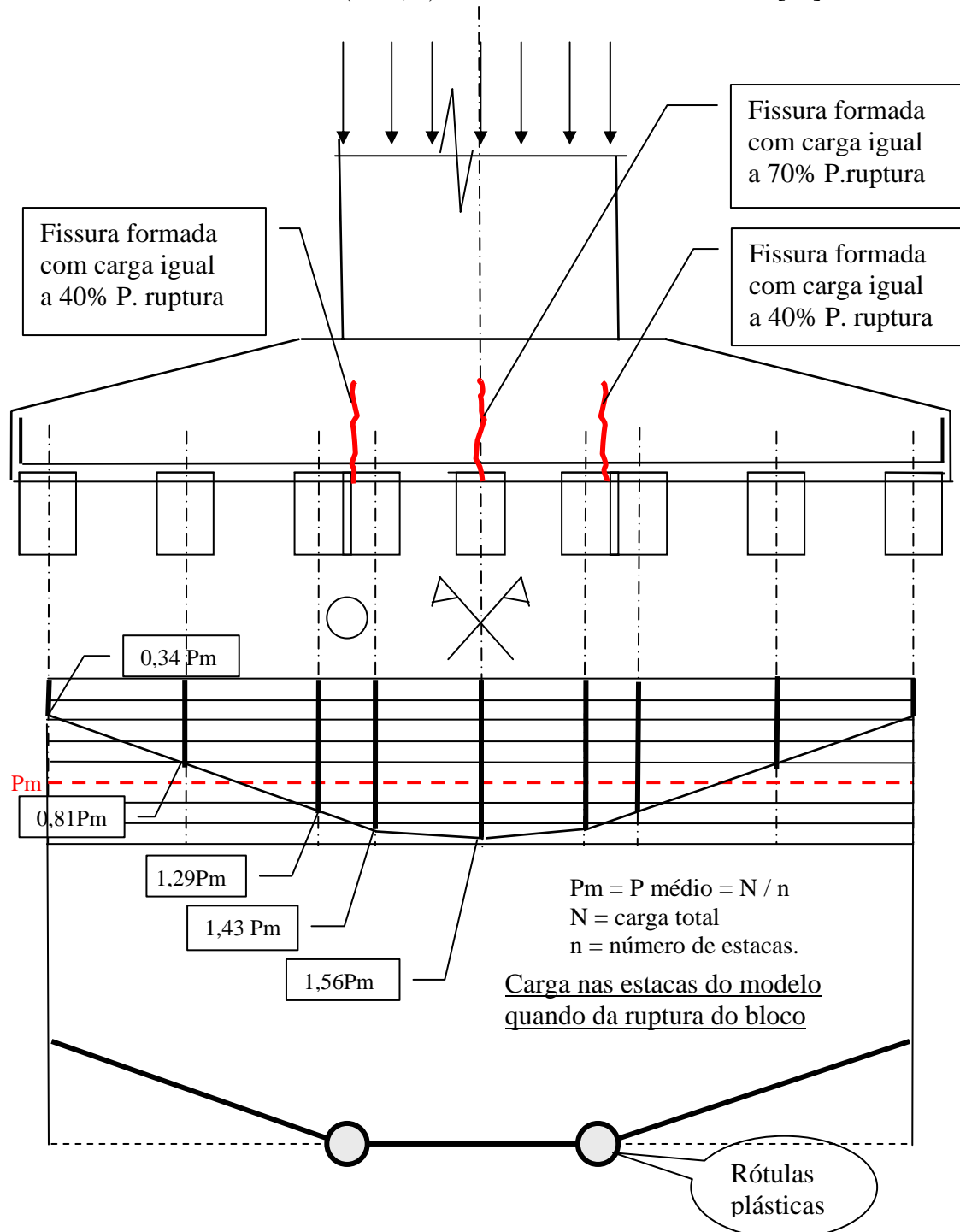
A carga total nas fundações ainda era muito pequena quando a falha foi detectada. Apenas os pilares estavam executados. Nenhuma fissura chegou a se formar.

### EXEMPLO Nº 127 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Bloco de estacas em concreto armado, fundação de um viaduto urbano

**FALHA ESTRUTURAL :** Armadura insuficiente no bloco de estacas. Bloco sem segurança.

**ENSAIOS:** Foram feitos ensaios em modelos reduzidos, para verificar a real distribuição de carga entre as estacas. A escala usada foi ( 1 : 5,5 ). Ver Fernando Lobo Carneiro [87].



Após a fissuração do bloco, junto à face do pilar, formam-se rótulas plásticas no bloco, o que causa uma redistribuição dos esforços nas estacas.

Segundo Lobo Carneiro [88], após a formação dessas rótulas plásticas ;

- os esforços nas estacas, que ficam embaixo do pilar, são maiores que o esforço médio  $P_m$ , calculado considerando o bloco como sendo rígido.
- os esforços nas estacas, fora do pilar, têm variação linear com a distância à rótula plástica.
- esse comportamento permite o cálculo na fase plástica.

Após a fissuração à flexão do bloco, forma-se uma rótula plástica, junto à face do pilar.

As cargas nas estacas podem ser determinadas usando um cálculo na fase plástica. Ver [88].

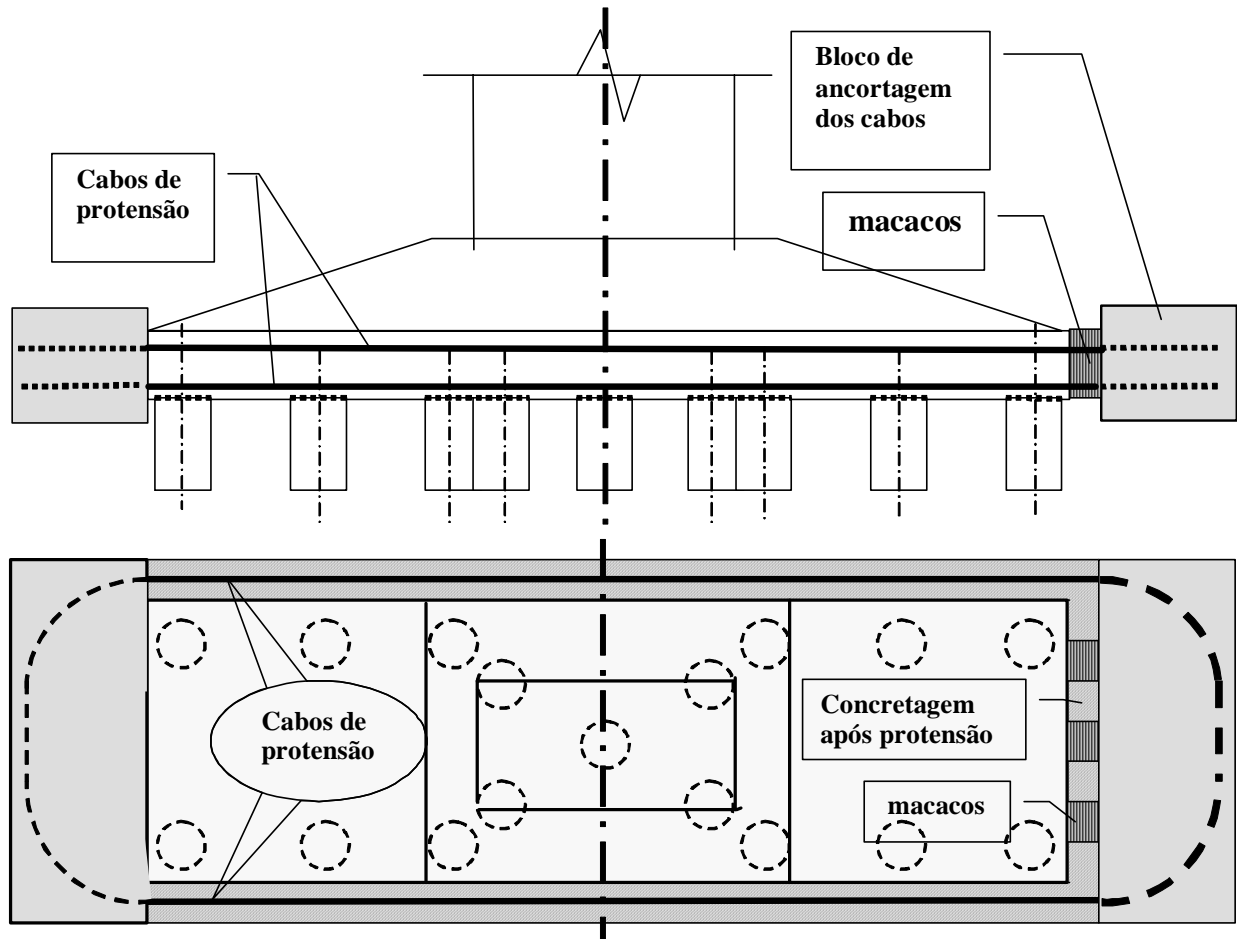
## EXEMPLO Nº 127 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Bloco de estacas em concreto armado, fundação de um viaduto urbano

**FALHA ESTRUTURAL :** Armadura insuficiente no bloco de estacas. Bloco sem segurança.

**SOLUÇÃO :** A solução mais simples para reforçar os 17 blocos, já executados, foi a protensão com cabos externos. Essa protensão foi feita com os cabos colocados lateralmente ao bloco.

**ESQUEMA DO REFORÇO :**



**EXECUÇÃO :** Etapas da execução do reforço.

- 1- Montagem dos cabos externos nos 2 lados do bloco, ancorados nos 2 blocos de ancoragem.
- 2- Concretagem e endurecimento desses 2 blocos.
- 3- Colocação dos macacos de protensão, nos nichos de protensão no bloco móvel.
- 4- Acionamento dos macacos para protender os cabos do reforço.
- 5- Os macacos, empurram o bloco móvel de concreto, onde estão ancorados os cabos, e comprimem o bloco de estacas.
- 6- O bloco de ancoragem dos cabos, ao ser empurrado, traciona os cabos de reforço.
- 7- Concretagem dos espaços entre o bloco de estacas e o bloco de ancoragem dos cabos.
- 8- Relaxamento da força nos macacos, transmitindo as forças dos macacos para o concreto novo.

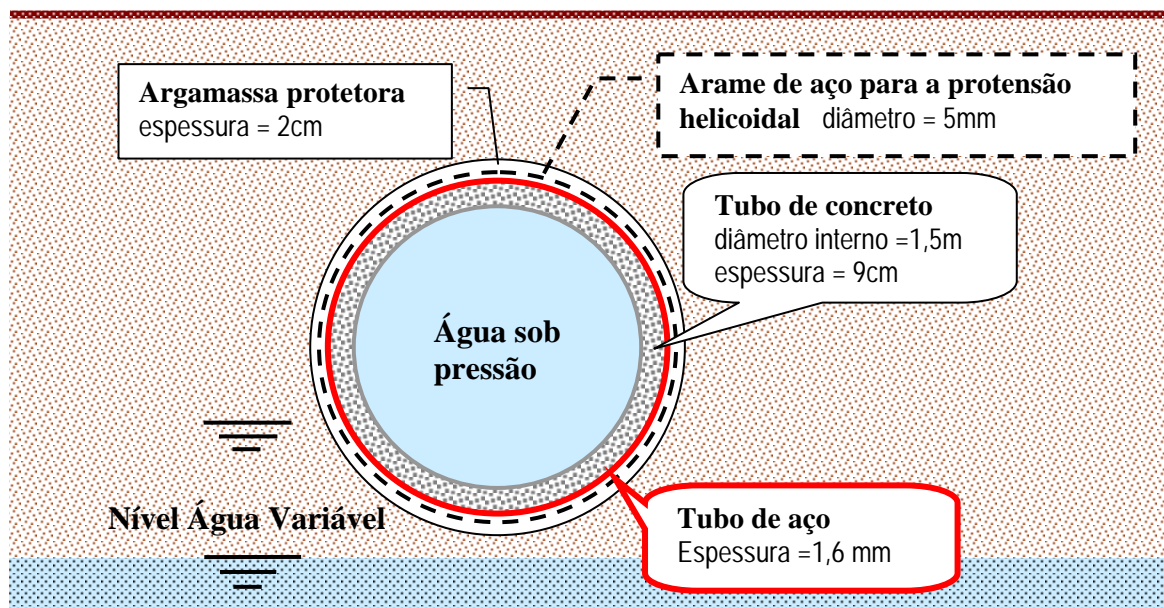
**OBSERVAÇÃO:** Após a execução do reforço, a obra foi concluída e entregue ao tráfego, estando em perfeito funcionamento há 40 anos.

### EXEMPLO Nº 128 :

**ESTRUTURA:** Adutora enterrada, fabricada com tubos de concreto protendido. A protensão foi feita em forma helicoidal em torno de um tubo de concreto revestido de camisa de aço.

**DEGRADAÇÃO:** Ruptura total da adutora em vários pontos.

**ESQUEMA:**



### CAUSA DA RUPTURA TOTAL : Corrosão sob tensão, dos arames de protensão

Segundo Fonseca Costa e Silveira Feijó, em [89] :

- “A corrosão sob tensão é uma corrosão penetrante e extremamente rápida que, partindo da superfície externa dos arames, se dirige para o interior, sob a forma de fissuras finas, freqüentemente bifurcadas”.  
“Concorreram para a corrosão sob tensão, a elevada tensão de tração nos arames e a grande permeabilidade da argamassa de revestimento, que permitiu a penetração da água, contendo matérias minerais em dissolução, apta, portanto, à condução de corrente elétrica”.  
As medições feitas no solo e na água do solo mostraram a presença de sulfetos ( $S^{--}$ ) e de nitratos ( $NO_3^-$ ). O solo da obra tinha um **pH** baixo;  $3.9 < \text{pH} < 5.1$ . Era portanto ácido e muito agressivo.

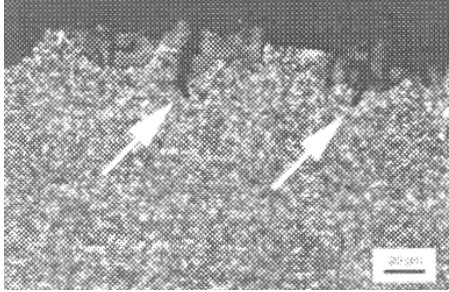

Segundo F.L.Lobo Carneiro [90] :

- “Não sendo pré-comprimida a camada protetora externa, torna-se inevitável a fissuração da mesma, quando atua a pressão interna da água, desaparecendo assim a impermeabilidade necessária, única defesa eficaz contra a stress corrosion”.
- A corrosão sob tensão causou uma grande redução da resistência à tração no arame de protensão dessa obra. Os ensaios mostraram que a tensão de ruptura dos arames de aço remanescentes da fabricação dos tubos, portanto sem “stress corrosion”, era de 1400 MPa. A tensão de ruptura de alguns arames retirados da adutora rompida era de apenas 540 MPa.
- A fissuração na corrosão sob tensão, (“Stress Corrosion Cracking”), é causada pela ação simultânea de um meio ambiente agressivo e de elevadas tensões de tração no aço. Essas tensões são, em geral, devidas às forças externas aplicadas. Podem também ser tensões internas residuais, devidas ao processo de fabricação. Podem ainda ser a combinação de ambas
- Na corrosão sob tensão, não há a conhecida formação intensa de ferrugem, e sim a propagação das fissuras a partir da superfície das barras de aço.
- O aço de protensão, usado na adutora, era um aço temperado ASTM A229-41, com teor de carbono igual a  $C = 0,68\%$ . A têmpera desse aço é feita aquecendo o aço até  $\approx 800$  graus centígrados e a seguir resfriando bruscamente o aço em óleo.








**EXEMPLO Nº 128 : ( CONTINUAÇÃO)**

**ESTRUTURA :** Adutora enterrada, fabricada com tubos de concreto protendido.

**OBSERVAÇÃO:** As cordoalhas, hoje usadas, não são encruadas pela têmpera e sim pela trefilação a frio. A trefilação, a frio, é um dos processos usados para aumentar a resistência dos arames de protensão. É realizada pela passagem do arame de aço, sob tração e a frio, através de vários orifícios com diâmetros decrescentes. Ver nas figuras abaixo as microestruturas dos aços temperados e dos aços trefilados.

	
<p>Aço de protensão temperado com microfissuras na superfície. <math>f_{p0,2\%}=1450\text{MPa}</math> e <math>f_p=1600\text{MPa}</math> Micro-estrutura de martensita. Ver [93]. Largura da micrografia = 220 micrômetros</p>	<p>Cordoalha de aço de protensão trefilado a frio. <math>f_{p0,2\%}=1570\text{MPa}</math> e <math>f_p=1770\text{MPa}</math> Micro-estrutura em filetes. Ver [93]. Largura da micrografia=220 micrômetros</p>

- Ensaios feitos por Krumbach, R. [93], mostram que o aços temperados têm baixa resistência à corrosão sob tensão e que os aços trefilados das cordoalhas usuais têm maior resistência à corrosão sob tensão.
- O ensaio de tração do aço, com corrosão sob tensão, é caracterizado pela ausência de patamar de escoamento. A ruptura ocorre sem estrição da seção da barra de aço. Ver figuras abaixo.

		 <p><math>\phi = 4\text{mm}</math></p>  <p><math>\phi = 4\text{mm}</math></p>	 <p><math>\phi = 4\text{mm}</math></p>  <p><math>\phi = 4\text{mm}</math></p>	 <p>Diâmetro do campo = 0,76 mm</p> <p>Ver [89].</p>
<p>Ruptura dútil em arame de aço doce, com estrição da barra.</p>	<p>Rupturas frágeis no arame de protensão usado na adutora, com <math>\phi = 4\text{mm}</math> e com “<u>stress corrosion</u>”. Nenhuma estrição do arame. Ver [89]</p>	<p>Microfotografia de fissuras de “<u>stress-corrosion</u>” em arame do acidente</p>		
<p>Aço doce sem corrosão Teor de carbono = 0,20%</p>	<p>Aço Temperado, com “<u>stress corrosion</u>” Teor de Carbono = 0,68 %</p>	<p>Aço Temperado, com “<u>stress corrosion</u>”</p>		

**RECOMENDAÇÕES:** 1. Usar aço de protensão não sensível à “stress-corrosion”.

2. Fazer ensaio para medir essa sensibilidade do aço de protensão à “stress-corrosion”.

Os testes FIP [96] ou DIBt [95] são feitos em solução aquosa fortemente agressiva. No ensaio DIBt, o aço, tensionado com 80% da tensão de ruptura, deve resistir pelo menos 2000 horas.

3. Corrigir o pH do solo nos trechos da obra onde ele for ácido.

4. Projetar os tubos de concreto protendido com tensões baixas no aço de protensão.

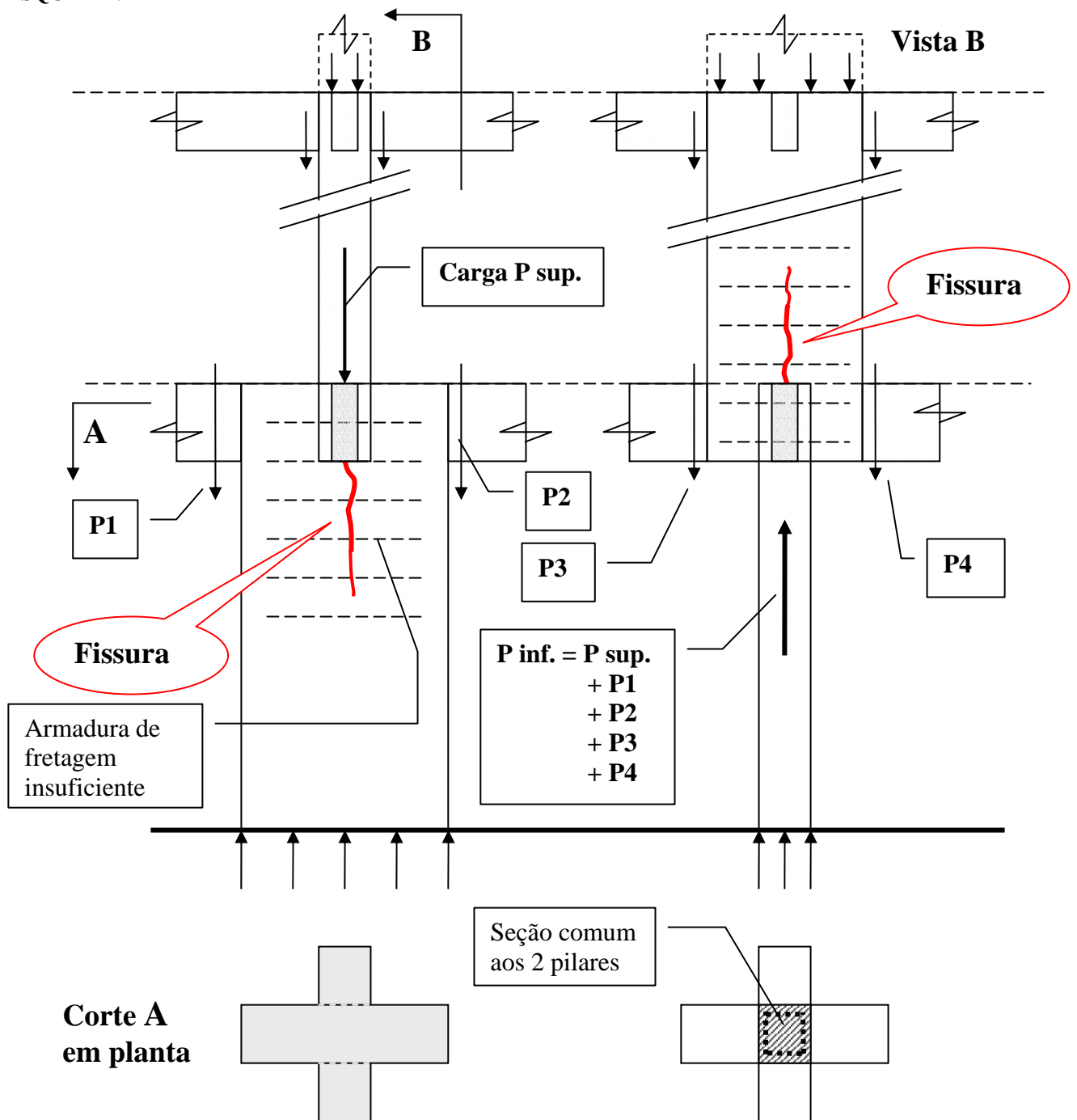
5. O concreto do cobrimento deve ser impermeável Ver [84] e [98 a100].

### EXEMPLO Nº 129

**ESTRUTURA :** Prédio de concreto armado. Transição de um pilar, que, no pavimento térreo, por razões de arquitetura, teve a seção transversal girada 90 graus em planta.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras verticais nos pilares, acima e abaixo da transição.

**ESQUEMA:**



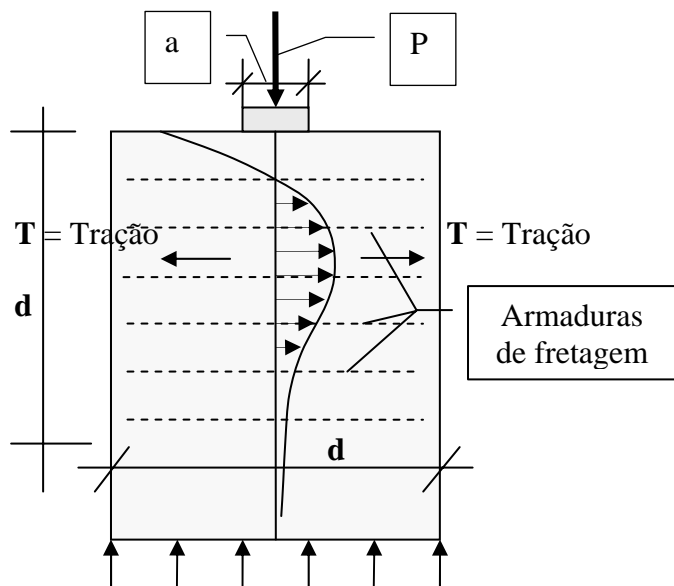
**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Fendilhamento devido à atuação da carga de um pilar estreito em um pilar largo. A armadura de fretagem era insuficiente. Ver a figura da próxima página, reproduzida de Fritz Leonhardt [4], vol. 2.

**SOLUÇÃO :**

- 1 - Dimensionar a armadura de fretagem para resistir à força de fendilhamento.
- 2 - Dimensionar a **seção comum** ao pilar inferior e ao pilar superior, para a carga  $P_{sup.}$ , como mostrado na figura acima. Essa armadura de compressão deve ser bem ancorada no pilar superior e no pilar inferior.
- 3 - Na obra em questão, foi feito o cintamento do pilar inferior e do pilar superior, com estribos horizontais funcionando como armadura de fretagem, para evitar a ruptura por fendilhamento.

**EXEMPLO Nº 129 ( CONTINUAÇÃO )**

**ESTRUTURA :** Prédio de concreto armado. Transição de um pilar, que, no pavimento térreo, por razões de arquitetura, teve a seção transversal girada 90 graus em planta.



Segundo Fritz Leonhardt , [4] vol. 2, a força de tração de fendilhamento vale:

$$T \cong 0,30 \times P \times \left( 1 - \frac{a}{d} \right)$$

No exemplo citado :

$$P = 1200 \text{ kN} , a = 25\text{cm} , d = 70\text{cm}$$

$$T \cong 0,30 \times 1200 \times \left( 1 - \frac{25\text{cm}}{70\text{cm}} \right) = 231,4\text{kN}$$

**Armadura de fretagem :**

No estado limite último,

$$A_{\text{aço}} = \frac{Td}{f_{yd}} = \frac{1,4 \times 231,4 \text{ (kN)}}{50 \left( \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)} = 7,5\text{cm}^2$$

1,15

No estado limite de utilização ( serviço ), conforme indicado pela DIN 1045-1/ 2002 :

- limitar a abertura de fissura a 0,2mm
- limitar a tensão no aço  $\sigma \leq 240 \text{ MPa}$
- usar barras com diâmetro máximo 12,5mm
- espaçamento máximo entre barras = 10cm

$$\bullet A_{\text{aço}} = \frac{T}{\sigma_{\text{aço}}} = \frac{231,4 \text{ (kN)}}{24 \left( \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)} = 9,6\text{cm}^2$$

- Uma armadura de fretagem composta por **6 estribos com  $\phi = 10\text{mm}$** , distribuídos na zona tracionada, satisfaz às exigências.

**Dimensionamento simplificado das armaduras para limitar a abertura das fissuras, segundo a norma DIN 1045 -1 / 2002 , Referência [106]**

Barras nervuradas de aço						
Tensão no aço, em serviço (MPa)	Abertura máxima wk da fissura (mm)					
	0,4mm	0,3mm	0,2mm	0,4mm	0,3mm	0,2mm
	Diâmetro máximo das barras da armadura (mm)			Espaçamento máximo entre barras da armadura (mm)		
160	40	32	25	300	300	200
200	32	25	16	300	250	150
<b>240</b>	20	16	<b>12,5</b>	250	200	<b>100</b>
280	16	12,5	8	200	150	50
320	12,5	10	6,3	150	100	-
360	10	8	5	100	50	-

**OBSERVAÇÃO :** A seção comum aos dois pilares deve ser dimensionada com a carga **P sup**. No exemplo acima, a armadura longitudinal necessária seria de 4 % da área da seção transversal comum aos 2 pilares. Como a armadura existente não era suficiente, foi feito reforço adicional.

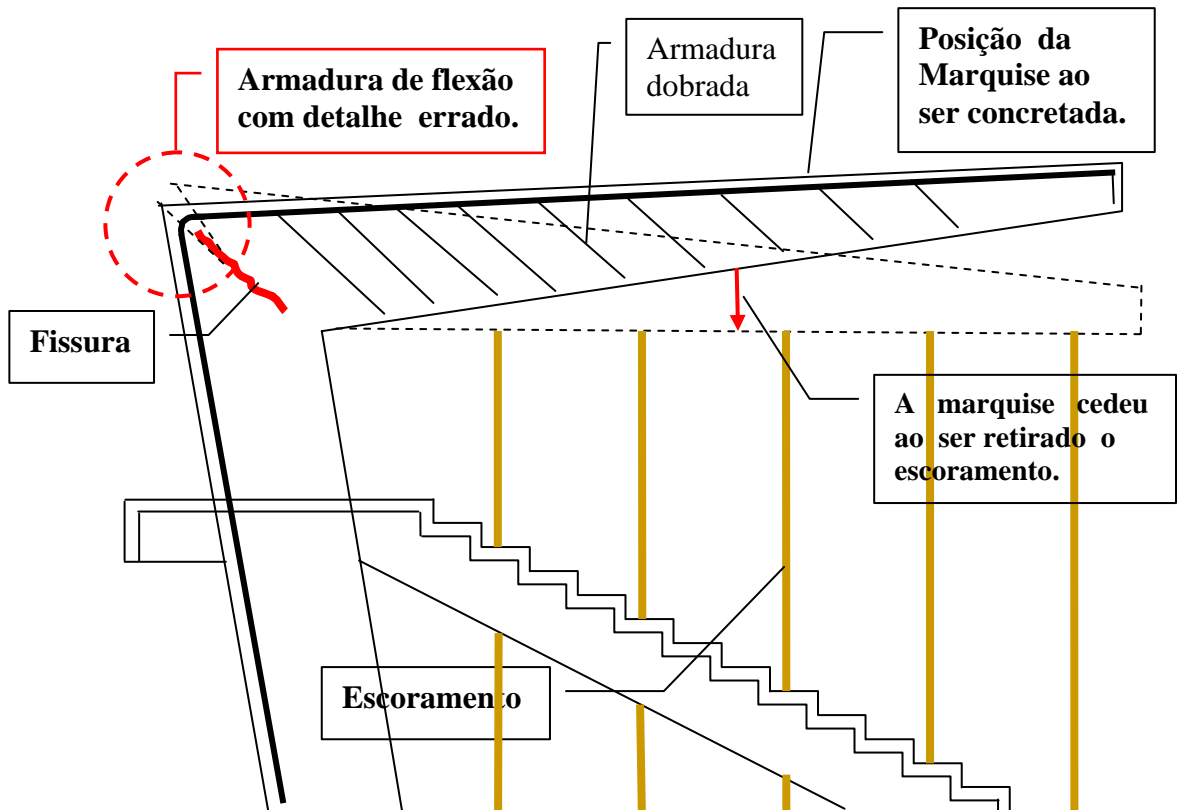


**EXEMPLO Nº 130**

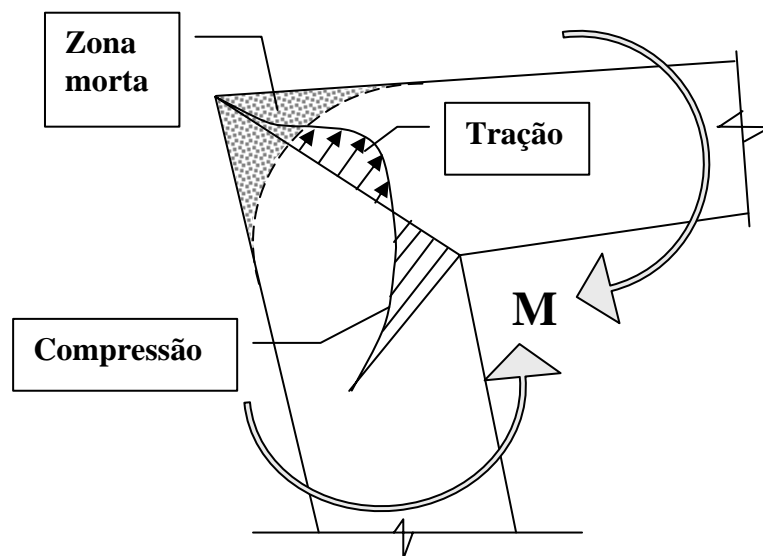
**ESTRUTURA :** Marquise de um estádio esportivo

**FISSURAÇÃO :** Fissura na linha bissetriz do canto da marquise. Queda da marquise ao ser retirado o escoramento.

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Detalhamento errado da armadura no canto da marquise. O raio de dobramento era muito pequeno. A armadura não deve ser colocada na zona morta, indicada na figura abaixo. Ver a recomendação do Prof. Areias Neto [ 107 ] .



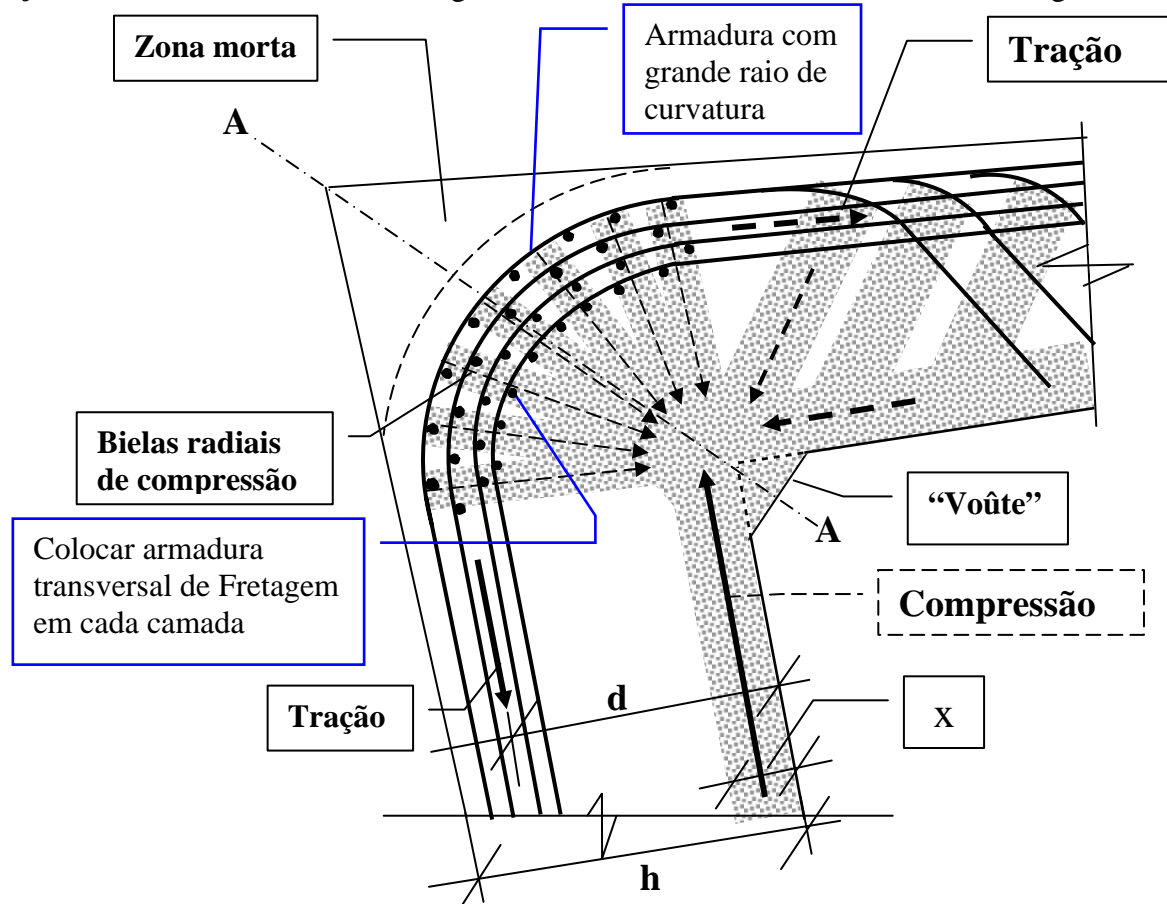
**OBSERVAÇÃO 1 :** Em uma marquise, não é possível a redistribuição de esforços, por ser esta uma estrutura isostática. Em pórticos hiperestáticos pode ocorrer alguma redistribuição. Estruturas isostáticas deveriam ser dimensionadas com coeficiente de segurança maior do que o usado em estruturas hiperestáticas. As falhas no detalhamento das armaduras serão sempre causas de fissuras ou rupturas, mesmo que o cálculo estrutural esteja correto. Foi isso o que aconteceu no caso aqui mostrado.

**EXEMPLO Nº 130 : ( CONTINUAÇÃO 1 )**

**ESTRUTURA :** Marquise de um estádio esportivo.

**FISSURAÇÃO :** Fissura na linha bissetriz do canto da marquise. Queda da marquise.

**SOLUÇÃO :** Detalhar a armadura com grande raio de curvatura , como mostrado na figura abaixo.



- O raio de dobramento das barras deve ser maior que **0,60 h**. Ver Schlaich [34].
- O raio de dobramento deve ser :  $R_{\text{dobramento}} \geq 1,15 \times n \times \frac{f_{yk}}{f_{ck}} \times \phi \times \sqrt{\frac{\phi}{e}}$ . Ver Leonhardt [4].
- Exemplo:  $n$  = número de camadas de armadura = 4;  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  ;  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$  ;  $\phi = 20 \text{ mm}$  ;  
 $e$  = espaçamento lateral entre os ferros de uma mesma camada ( entre eixos) = 60mm.

$$R_{\text{dobramento}} \geq 1,15 \times 4 \times \frac{500 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa}} \times \phi \times \sqrt{\frac{20 \text{ mm}}{60 \text{ mm}}} = 44\phi = 88 \text{ cm}$$

- Caso o raio de dobramento acima não possa ser usado, detalhar uma armadura transversal de fretagem, para cada uma das camadas, como indicado na figura.

$$A_s \left( \begin{array}{l} \text{total de fretagem} \\ \text{por camada} \end{array} \right) = 20\% \times \frac{\left( \frac{A_s \text{ long.} \times f_{yd}}{R.\text{dobr.}} \right)}{f_{yd}} \times \left( \frac{\pi R.\text{dobr.}}{2} \right) = \left( \frac{\pi}{10} \right) \times (A_s.\text{long. de 1 barra.})$$

- Exemplo:  $\phi_{\text{longitudinal}} = 20 \text{ mm}$  ;  $A_s \text{ fretagem} = \left( \frac{\pi}{10} \right) \times \left( \frac{\pi \times (20 \text{ mm})^2}{4} \right) = \dots = 0,99 \text{ cm}^2$

Usar 8 ferros com diâmetro de 4,2mm = 1,1 cm<sup>2</sup> em cada camada. Ver figura acima.

- A largura da zona comprimida  $x$ , calculada no estado limite último, deve ser menor que 0,30 d.

$$\text{Isso corresponde a : } \frac{M_d}{b d^2 f_{cd}} = \frac{1,4 \times M}{b \times d^2 \times \left( \frac{f_{ck}}{1,4} \right)} \leq 0,18.$$

A condição acima,  $x < 0,30d$ , deve ser verificada também na seção AA, na bissetriz do ângulo do canto. Pode ser necessário, para isso, projetar uma “voûte”, como indicado na figura acima.

**EXEMPLO Nº 130 : ( CONTINUAÇÃO 2 )**

**ESTRUTURA :** Marquise de um estádio esportivo.

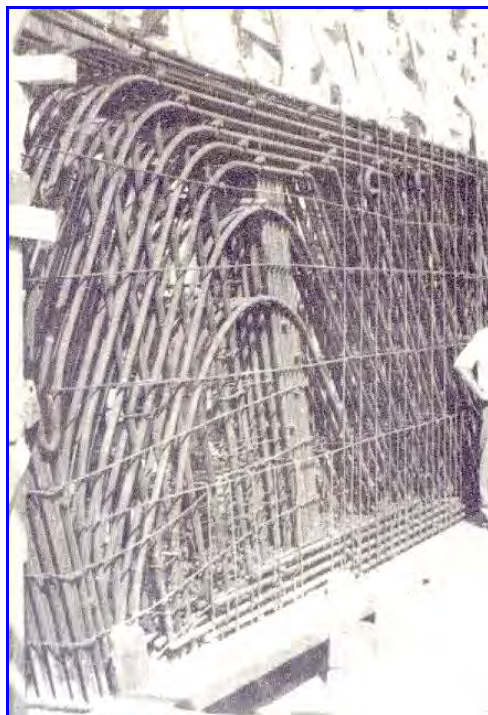
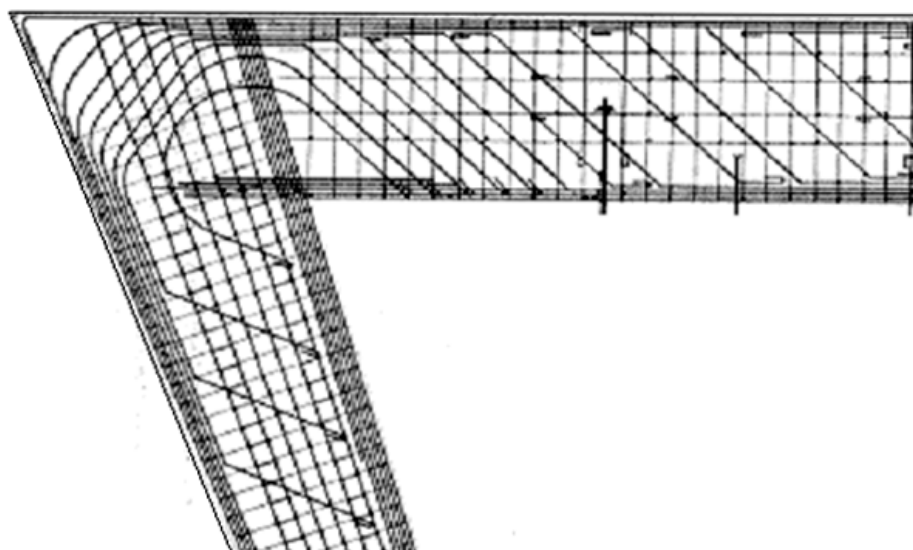
**FISSURAÇÃO :** Fissura na linha bissetriz do canto da marquise. Queda da marquise.

**SOLUÇÃO :** Detalhar a armadura com grande raio de curvatura.

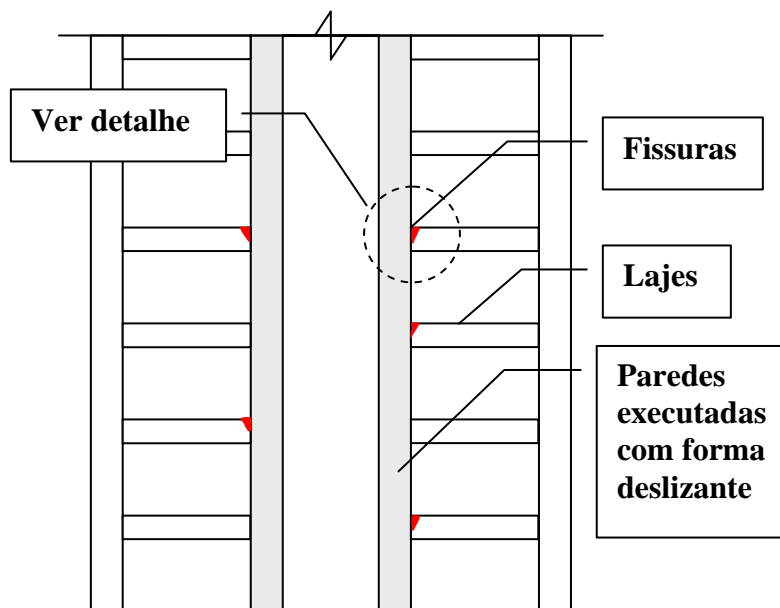
No exemplo Nº 29, é sugerida a colocação de armadura adicional a 90 graus com a fissura. Para pórticos pequenos isso é possível. Para grandes marquises, devem ser usadas barras de armadura com grandes raios de dobramento.

O detalhe e a foto, mostrados abaixo, são do canto de um quadro hiperestático, e não da marquise isostática citada nesse exemplo Nº 130.

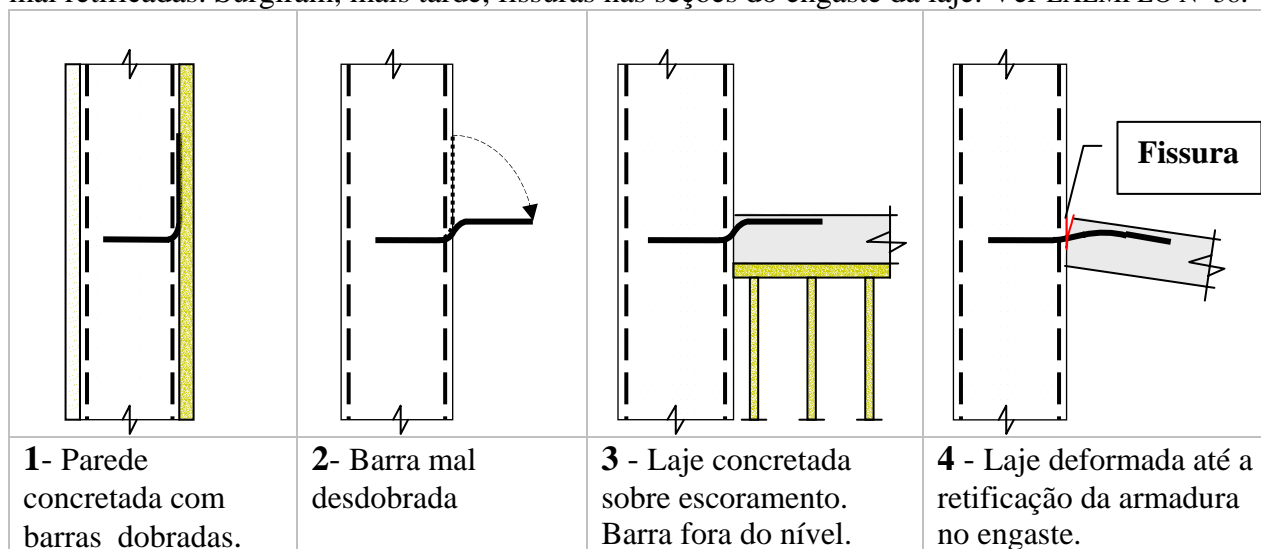
Eles servem, no entanto, para ilustrar o critério básico de detalhamento das armaduras do canto de uma marquise isostática. Ver Flávio T. Ribeiro de Castro [108]



**OBSERVAÇÃO 2 :** No detalhe acima, as barras da armadura, com  $\phi=32\text{mm}$  de aço CA-T 40, foram detalhadas com 2 trechos curvos e um trecho reto entre os 2 trechos curvos. Melhor seria usar um único e grande trecho curvo, abrangendo todo o canto. Ver [108].

**EXEMPLO Nº 131****ESTRUTURA :** Edifício em concreto armado, com paredes executadas com formas deslizantes.**FISSURAÇÃO :** Fissuras na ligação das lajes com as paredes.**ESQUEMA :****CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Barras de ligação mal niveladas, mal desdobradas e mal retificadas.

Para facilitar a execução das paredes com as formas deslizantes, as barras de ligação com as lajes foram deixadas dobradas dentro das paredes. Após a concretagem das paredes, as formas foram deslocadas para cima. A seguir, as armaduras foram desdobradas e retificadas. Várias barras foram mal retificadas. Surgiram, mais tarde, fissuras nas seções do engaste da laje. Ver EXEMPLO Nº 58.



**SOLUÇÃO :** No cálculo estrutural da laje: Foi feita a verificação do estado limite último considerando um engaste na parede com momento fletor resistente reduzido, redistribuindo os momentos de flexão e aumentando a armadura do vão da laje.

**RECOMENDAÇÃO:** Na execução da parede: Usar barras emendadas com luvas prensadas, com roscas ou com metal fundido. Para as barras dobradas, que posteriormente serão desdobradas :

- O diâmetro da barra deve ser menor que 12,5mm, pois barras com 16mm, ou maiores, são difíceis de desdobrar a frio na obra. Se uma barra for desdobrada a quente, considerar sua resistência como sendo a de uma barra CA 25.
- Em estruturas com cargas predominantemente estáticas, como em edifícios:
  - O diâmetro de dobramento, para posterior desdobramento, deve ser  $\geq 9\phi$  barra .
  - A armadura só deve ser considerada no cálculo com um grau de eficiência de até 80%.
- Para barras fora do nível, usar broca para furar a parede e “chumbar” nova barra na posição correta. Usar resina epóxi ou “groute” para garantir a aderência da barra ao concreto da parede.

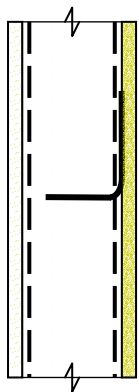
### EXEMPLO Nº 132

**ESTRUTURA :** Galeria subterrânea de Metrô, em concreto armado executada com paredes diafragma.

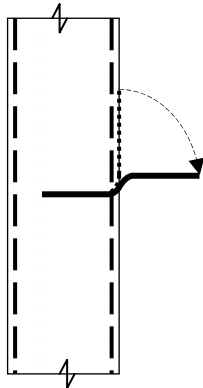
**FISSURAÇÃO :** Fissura na ligação Laje x Parede diafragma.

**ESQUEMA:**

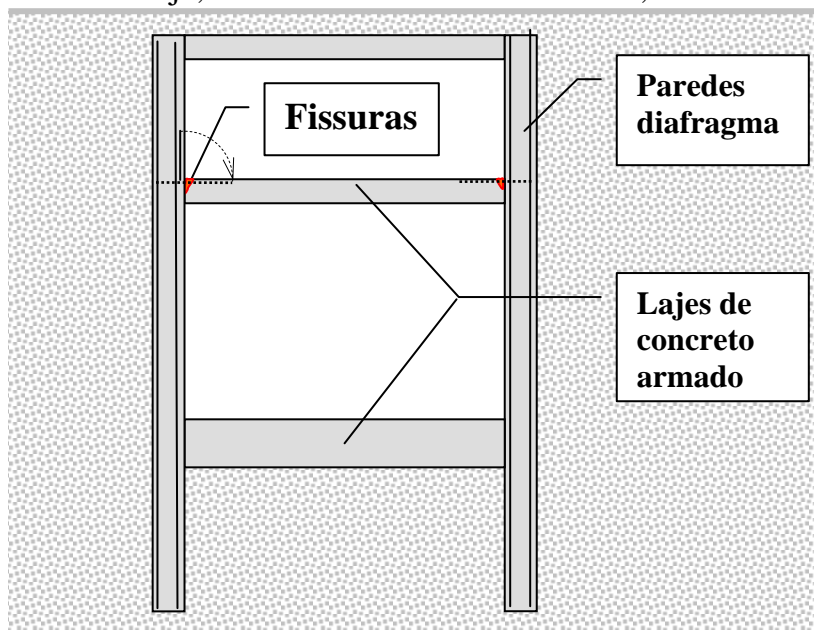
1- Parede concretada com barras dobradas.



2- Barra mal desdobrada.



3- A laje, com armadura mal desdobrada, fissura.

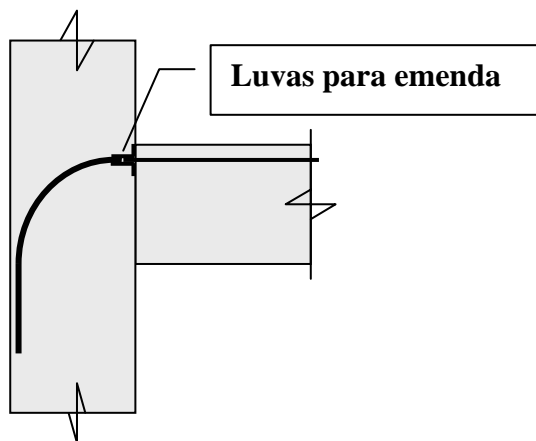


**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Barras de ligação mal desdobradas e mal retificadas.

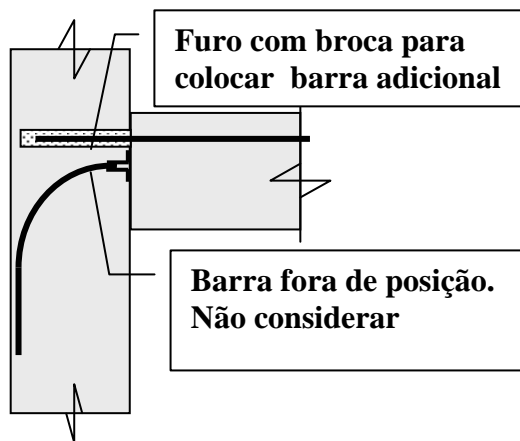
Na parede diafragma, a armadura foi pré-montada e colocada dentro da escavação no solo.

As barras de ligação com a laje foram deixadas dobradas dentro das paredes. Após a concretagem da parede foi feita a escavação do terreno. A seguir, as armaduras de ligação foram desdobradas e retificadas. Em um grande trecho da parede, várias barras foram mal retificadas. Mais tarde, surgiu uma fissura na seção do engaste da laje. Ver também EXEMPLO Nº 131.

**SOLUÇÃO :** No cálculo estrutural da laje: Foi feita a verificação do estado limite último considerando um engaste na parede com momento fletor resistente reduzido, redistribuindo os momentos de flexão e aumentando a armadura do vão da laje.



Posicionamento correto da luva de emenda.



Posicionamento incorreto da luva de emenda.

**RECOMENDAÇÃO:** Na execução da parede: Prever emendas de barras com luvas prensadas, emendas com roscas, ou ainda emendas com metal fundido. Para barras dobradas, que posteriormente sejam desdobradas o diâmetro da barra deve ser menor que 12,5mm.

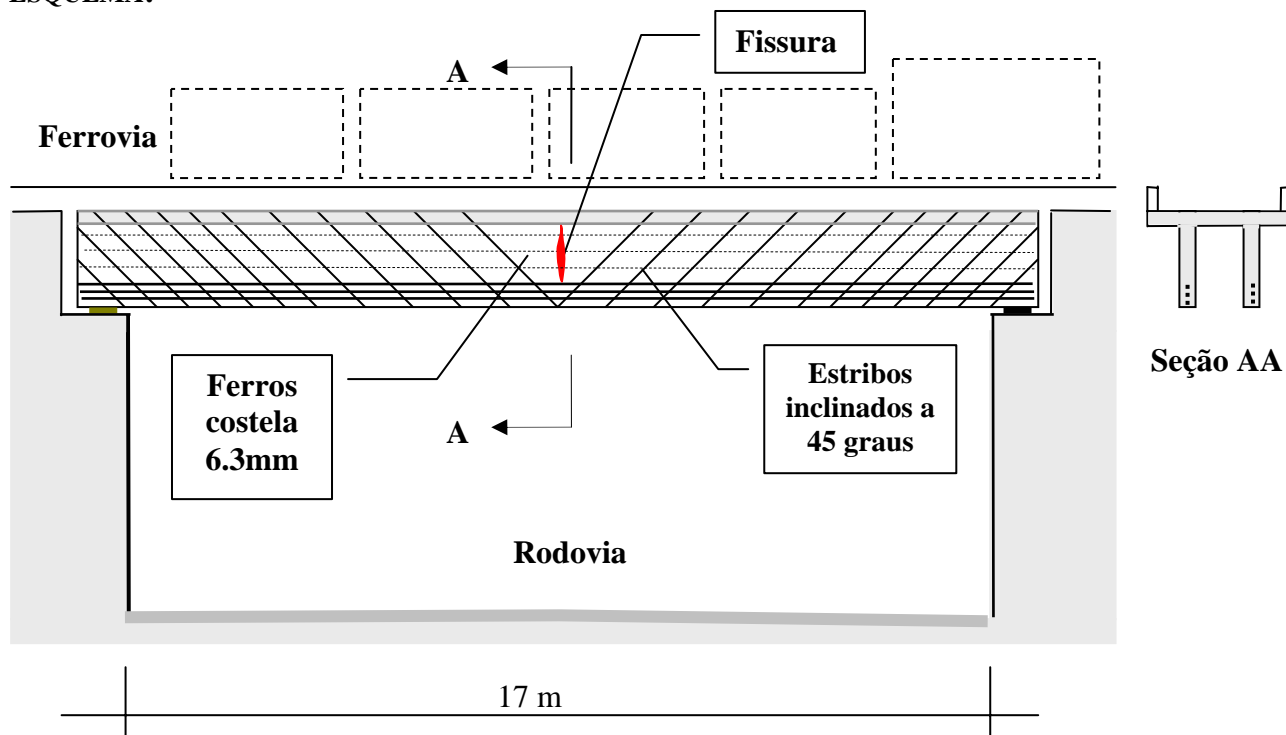
- Em estruturas com cargas predominantemente estáticas, como em edifícios:
  - O diâmetro de dobramento, para posterior desdobramento, deve ser  $\geq 9\phi$  barra .
  - A armadura só deve ser considerada no cálculo com um grau de eficiência de apenas 80%.
- Em estruturas com cargas não estáticas:
  - O diâmetro de dobramento, para posterior desdobramento, deve ser  $\geq 15\phi$  barra .
  - A amplitude total da variação de tensão no aço deve ser no máximo 50 MPa.

### EXEMPLO Nº 133

**ESTRUTURA :** Ponte ferroviária, em concreto armado com estribos inclinados.

**FISSURAÇÃO :** Uma única fissura na alma da viga, no centro do vão isostático. A fissura começava pouco acima da armadura principal de flexão e terminava embaixo da laje superior comprimida. A fissura tinha forma de uma lente convexa. A abertura máxima da fissura era de **0,6mm**, a meia altura da alma da viga. A fissura podia ser vista por uma pessoa dentro de um carro na rodovia.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** Ferro costela insuficiente. Praticamente inexistente.

Em vigas T a linha neutra fica muito alta, próxima da laje comprimida. A alma da viga fica toda tracionada, sem uma armadura adequada.

Na parte inferior da viga a fissura é muito pequena e quase invisível a olho nu.

**SOLUÇÃO :** Na fase de projeto: Usar armadura de ferro costela em quantidade suficiente.

Em obra já pronta: Em uma ponte ferroviária como esta, a abertura da fissura aumenta durante a passagem do trem de carga. A fissura é ativa.

- No meio do vão, o momento de flexão, devido à carga móvel, é grande e a fissura volta a abrir quando da passagem do trem de carga. A fissura no entanto, não reduz a resistência ao momento de flexão.
- Na seção meio do vão, a força cortante devida à carga móvel é muito pequena. A alma da viga, porém, com uma fissura de grande abertura, perde parte da sua capacidade de transmitir a força cortante.
- Na obra em questão optou-se por fazer uma injeção de resina epóxi e em seguida aplicar um revestimento elástico, sem função estrutural, com a finalidade de evitar a penetração dos agentes agressivos provenientes da atmosfera e das descargas dos veículos da rodovia.

**OBSERVAÇÃO:** A armadura de flexão, composta de barras retas, era correta e não havia fissura visível no bordo inferior tracionado. Não haviam fissuras inclinadas visíveis.

A armadura de estribos inclinados também estava correta. Segundo Fritz Leonhardt, [4] e [6], o comportamento de vigas com estribos inclinados é muito bom, pois as barras ficam colocadas ortogonalmente às eventuais fissuras inclinadas, reduzindo a abertura dessas fissuras.

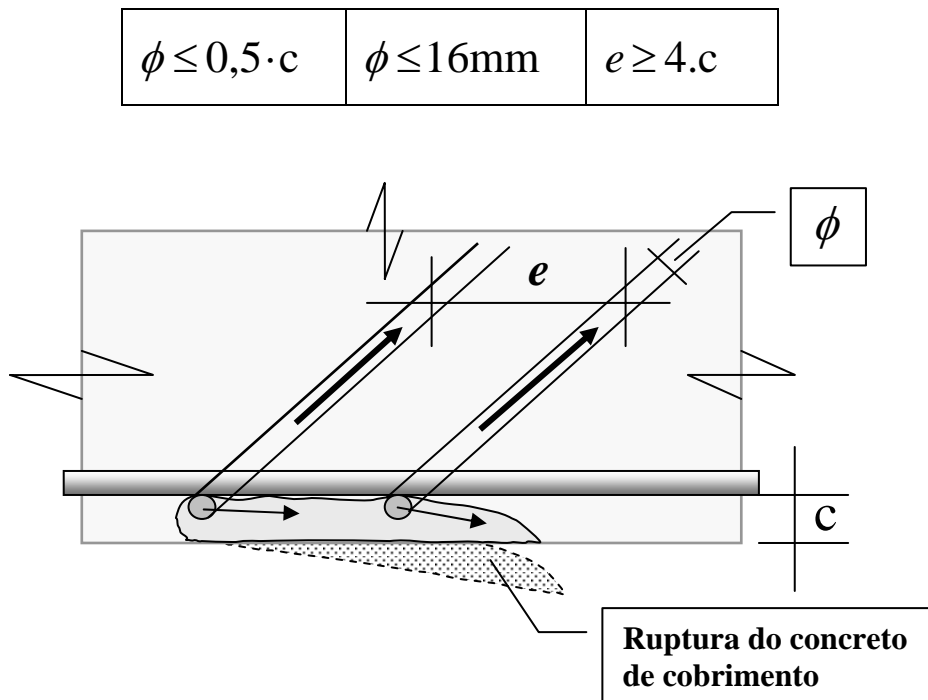
### EXEMPLO Nº 133 ( CONTINUAÇÃO )

**ESTRUTURA :** Ponte ferroviária , em concreto armado com estribos inclinados.

**FISSURAÇÃO :** Uma única fissura na alma da viga, no centro do vão isostático.

#### COMENTÁRIOS:

1. Essa obra é uma das poucas obras com estribos inclinados, executadas no Brasil.
2. Até 1960 usavam-se barras dobradas para resistir às forças de tração na flexão e também para resistir parte dos esforços transversais. Os esforços transversais eram resistidos, em conjunto, pelas barras dobradas e pelos estribos a 90 graus.
3. A partir dos ensaios de Fritz Leonhardt [6], em 1960, o detalhe mudou : barras retas para a tração na flexão e estribos, a 90 graus ou inclinados, resistindo a todos os esforços transversais.
4. Estribos inclinados, embora estruturalmente eficientes, não são de fácil execução. Por esse motivo poucas obras usaram esse tipo de armadura.
5. Em vigas com estribos inclinados é preciso evitar a ruptura do concreto do cobrimento, devida ao escorregamento dos estribos ao longo das barras longitudinais.  
Fritz Leonhardt, [109], recomenda o uso de estribos com pequenos diâmetros e com grandes espaçamentos entre eles ( ver figura abaixo).



Na ponte em questão foram usados estribos com 4 pernas em cada viga.

$$C = 4\text{cm} ; \quad e = 20\text{cm} ; \quad \phi = 12,5\text{mm}$$

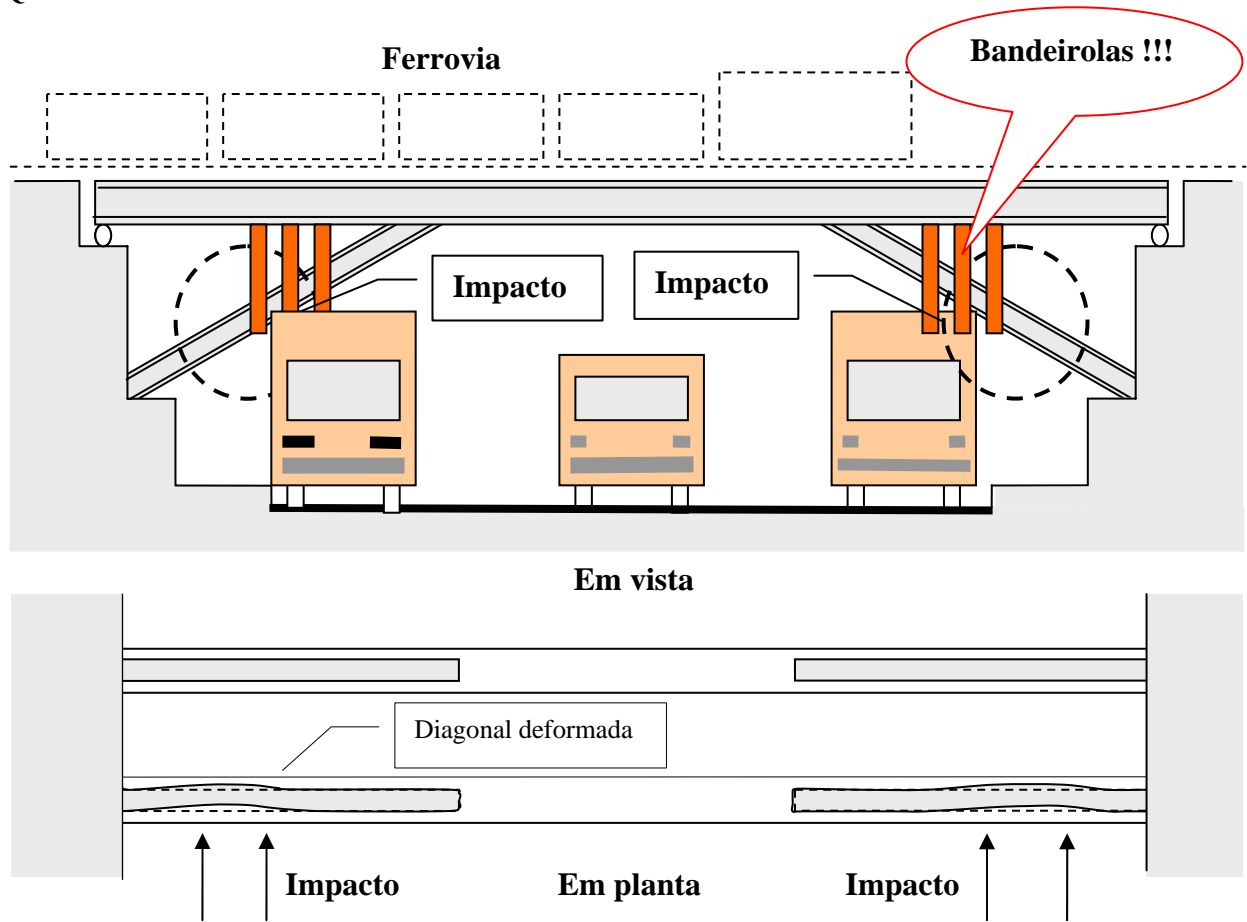
- $\phi = 12,5\text{mm} \leq 0,5 \times C = 0,5 \times 40\text{mm} = 20\text{mm}$  OK
- $\phi = 12,5\text{mm} \leq 16\text{mm}$  OK
- $e = 20\text{cm} \geq 4 \cdot c = 4 \times 4\text{cm} = 16\text{cm}$  OK
- A inspeção visual ao longo da obra, não detectou qualquer sinal de ruptura do cobrimento **C**, mesmo sendo ela uma ponte ferroviária com cargas dinâmicas muito intensas.

**EXEMPLO Nº 134**

**ESTRUTURA :** Ponte ferroviária de aço sobre rodovia urbana.

**DANO ESTRUTURAL :** Redução da área útil e da inércia da seção transversal e portanto da segurança à flambagem da diagonal comprimida.

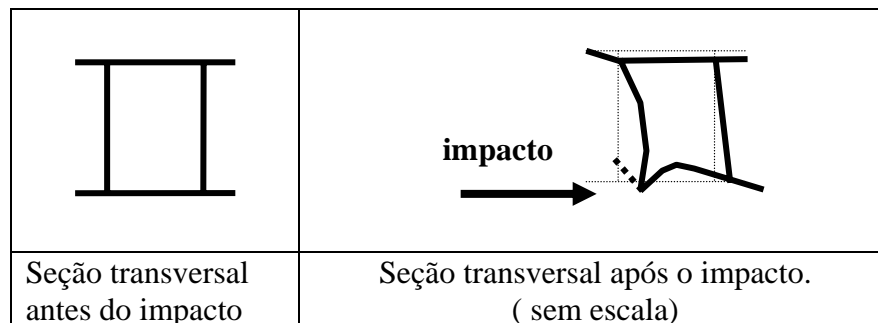
**ESQUEMA :**



**DANO ESTRUTURAL :** : Rasgamento da chapa de aço. Amassamento da diagonal comprimida.

**CAUSA:** Projeto geométrico incorreto, interferindo com o gabarito rodoviário. A consequência é o impacto freqüente de caminhões Baú nas diagonais comprimidas do pórtico.

**OBSERVAÇÃO:** O CONTRAN autoriza veículos a trafegar livremente se tiverem altura até 4,70m. Veículos com trajeto pré-definido e com movimentação fiscalizada podem circular com até 4,95m. Alguns DER's autorizam tráfego controlado de veículos com altura até 5,10m em alguns trechos de certas rodovias.



**SOLUÇÃO :** Projetar a estrutura com folga, em relação aos gabaritos dos veículos rodoviários.

Em obras existentes: Reparar a estrutura de aço e colocar anteparos rígidos na pista, que evitem o impacto. A melhor solução seria mudar a estrutura e substituí-la por estrutura com geometria correta.

**COMENTÁRIO:** O uso de bandeirolas vermelhas ( !!! ), como observado na obra acima , não reduz o número de impactos de caminhões Baú na estrutura. A obra permanece com a segurança reduzida.

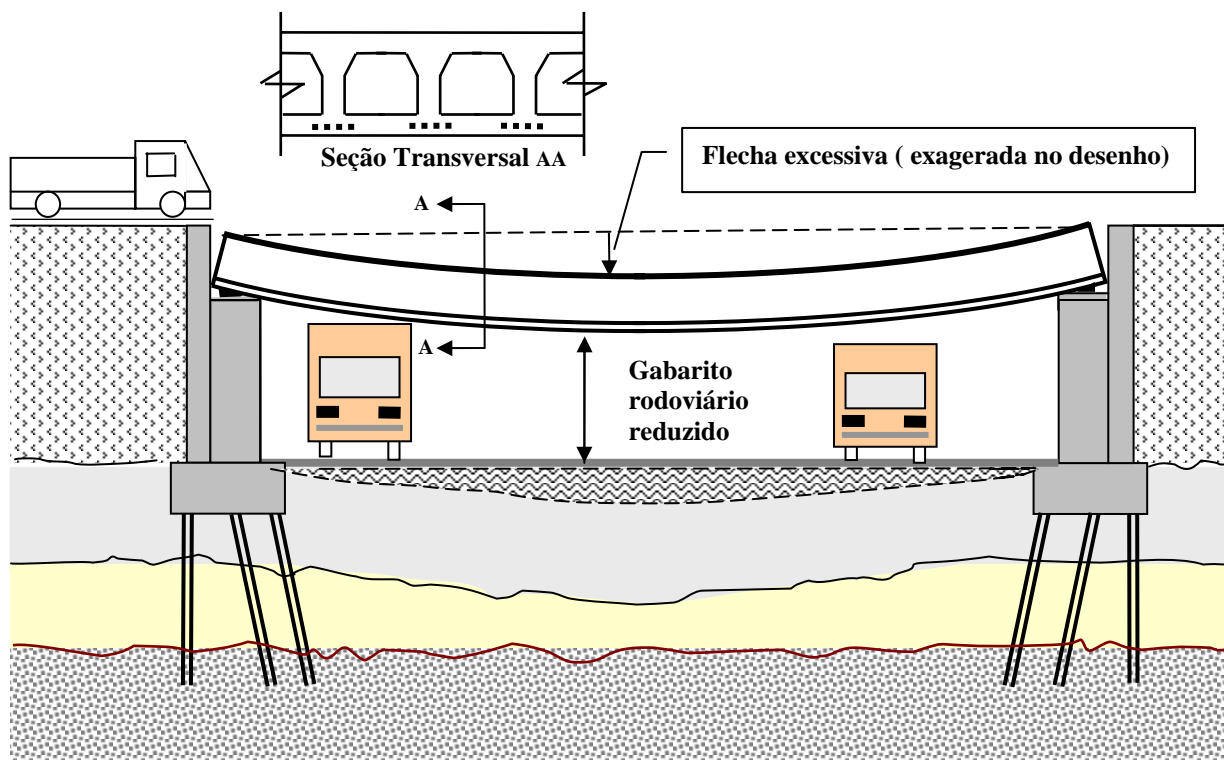


**EXEMPLO Nº 135 :**

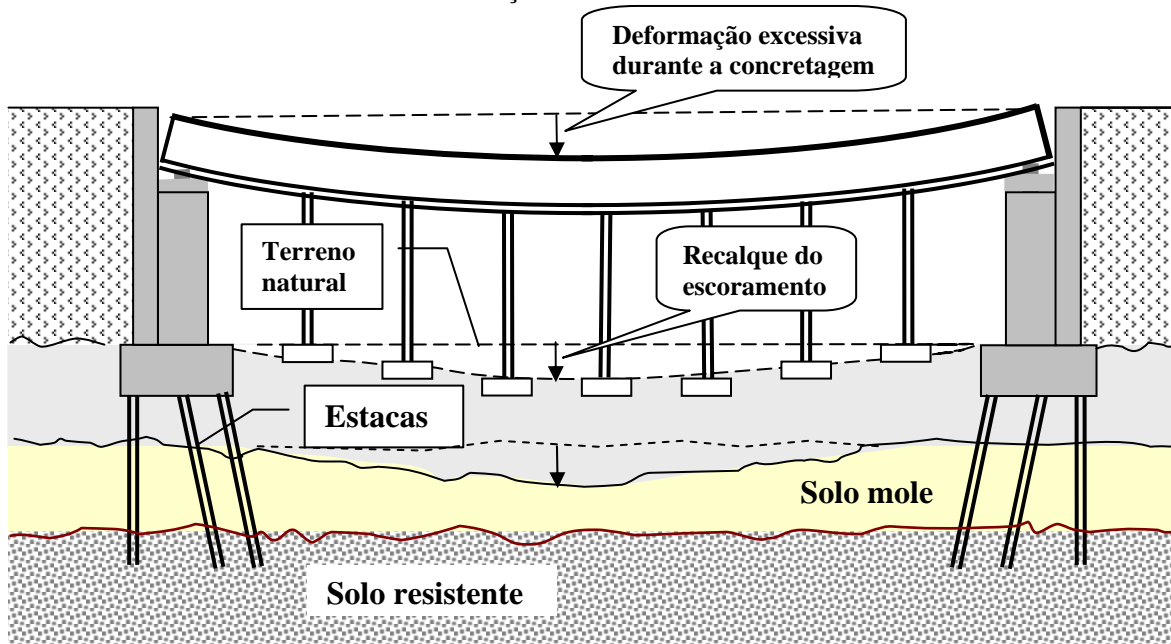
**TIPO DE ESTRUTURA:** Viaduto urbano em concreto armado, com tabuleiro celular, apoiado em fundações sobre estacas.

**FALHA ESTRUTURAL:** Flecha excessiva na pista do viaduto. Gabarito rodoviário não satisfeito na pista sob o viaduto. Receio dos motoristas. Desconforto para o motorista na pista superior do viaduto.

**ESQUEMA:**



**CAUSA DA FLECHA :** Recalque do escoramento durante a concretagem do viaduto. O escoramento era apoiado diretamente sobre uma camada de solo superficial, que era assente sobre espessa camada de solo mole. As bases do escoramento eram blocos de concreto, executados na superfície do terreno natural. O peso do concreto do viaduto causou a deformação do solo mole.



**SOLUÇÃO:** Na obra pronta : Reparo impossível, a não ser com a demolição para refazer a obra.

Durante a execução: Apoiar o escoramento sobre estacas cravadas até o solo resistente.

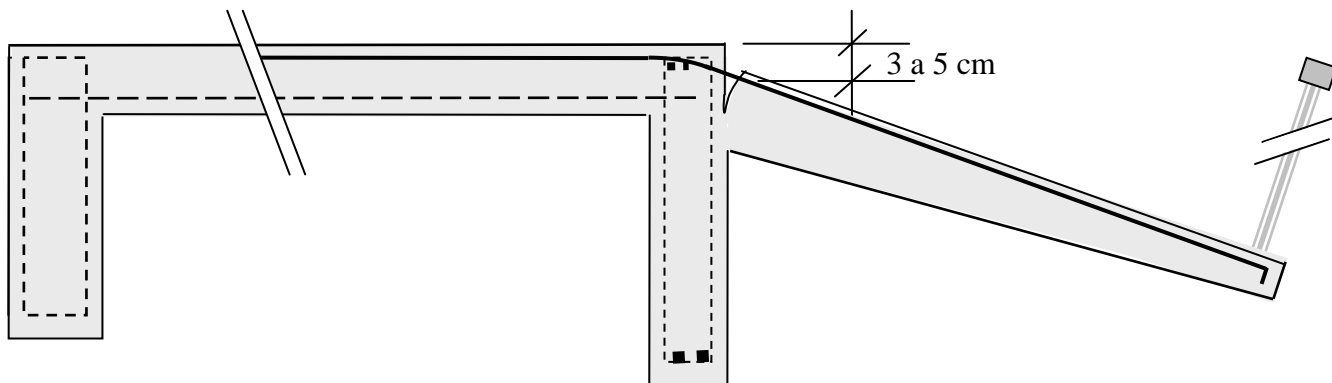
**OBSERVAÇÃO:** Em geral, sendo a fundação de uma obra apoiada sobre estacas, o escoramento do tabuleiro também deve ser apoiado em estacas. Também podem ser usadas, como escoramento, algumas treliças rígidas apoiadas em poucos apoios estaqueados.

### EXEMPLO Nº 136

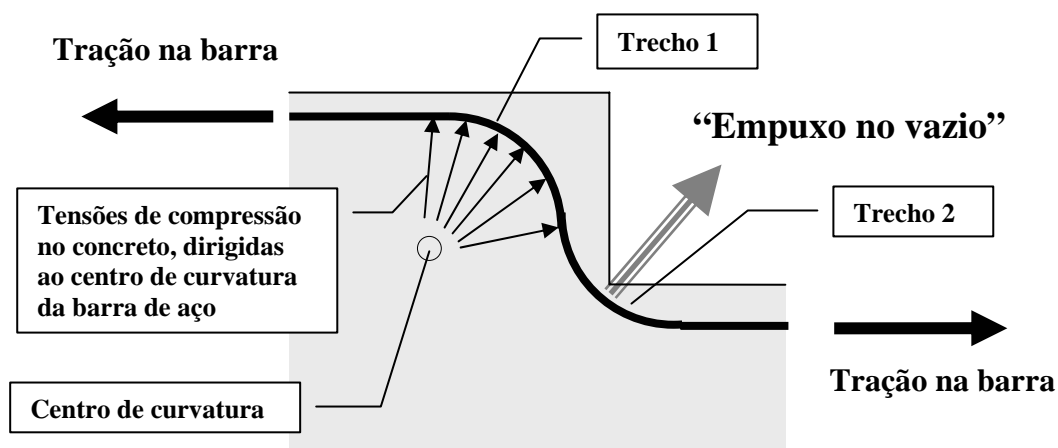
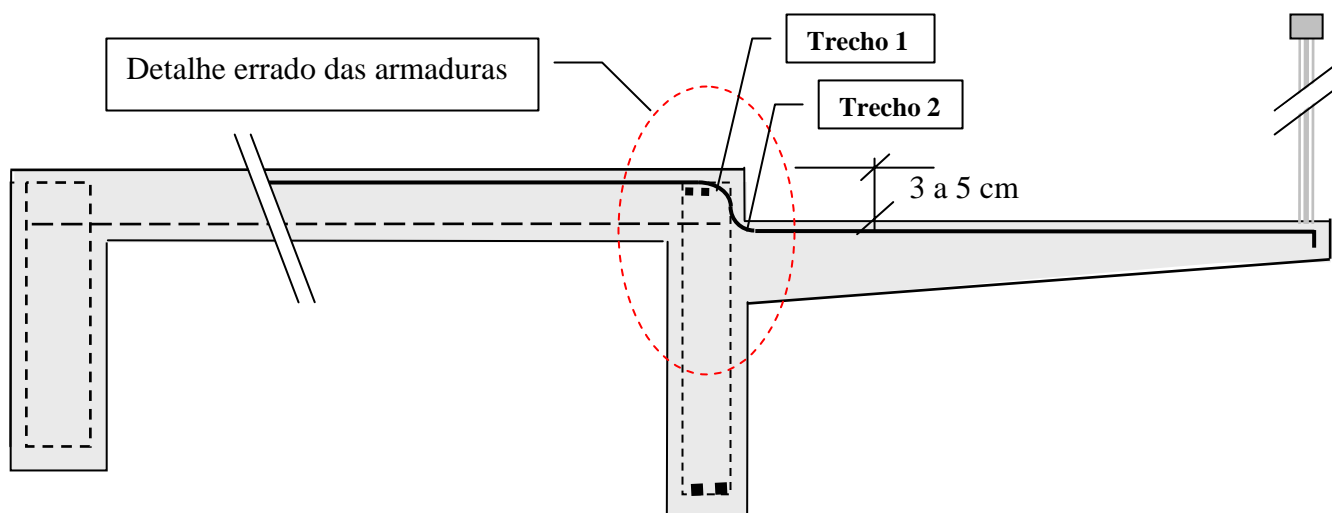
**ESTRUTURA :** Edifício em concreto armado, com varandas rebaixadas de 3cm a 5cm.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras na ligação das lajes da varanda com a laje que serve para engastá-la. Grande rotação da varanda. Ver reportagem no jornal JB [114]

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA RUPTURA :** Retificação da barra mal detalhada no projeto. É o chamado empuxo no vazio. Ao ser tracionada, a barra tende a retificar. No trecho 1 da barra, com centro de curvatura dentro do concreto, surgem tensões de compressão, como mostrado na figura abaixo. No trecho 2, com centro de curvatura fora do concreto, surgem forças dirigidas para fora do concreto. Nesse trecho 2, a barra arranca o concreto de cobrimento e se torna reta. É o conhecido efeito “empuxo no vazio”. Ver também o exemplo Nº 50. Ver também Nelson A. Lima [113].

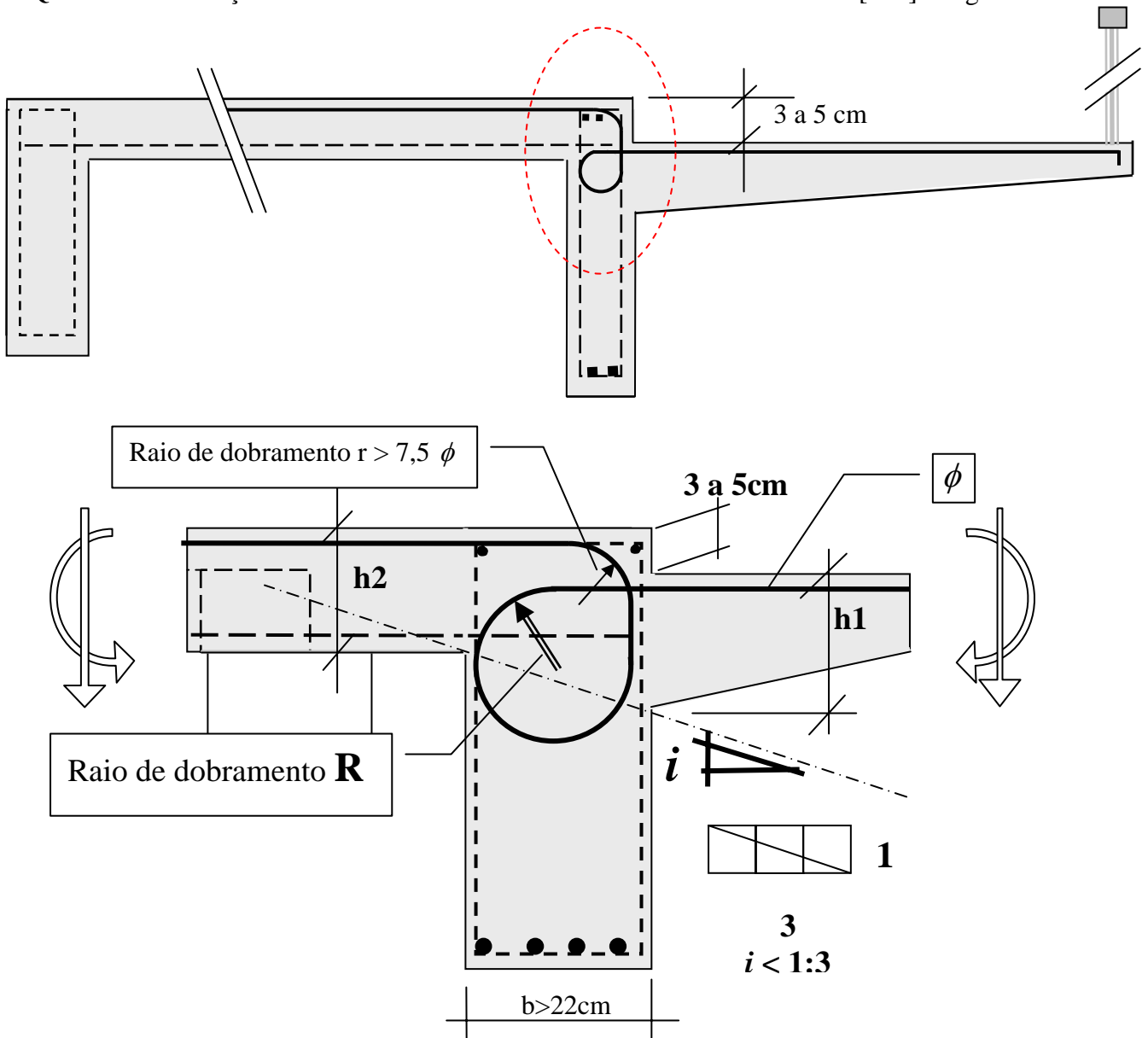


**EXEMPLO Nº 136 ( CONTINUAÇÃO )**

**ESTRUTURA :** Edifício em concreto armado, com varandas rebaixadas de 3cm a 5cm

**FISSURAÇÃO :** Fissuras na ligação das lajes da varanda com a laje que serve para engastá-la.

**ESQUEMA DA SOLUÇÃO:** Detalhes corretos da armadura. ALTERNATIVA 1-Ver [116]: Jorg Schlaich.



**COMENTÁRIOS :**

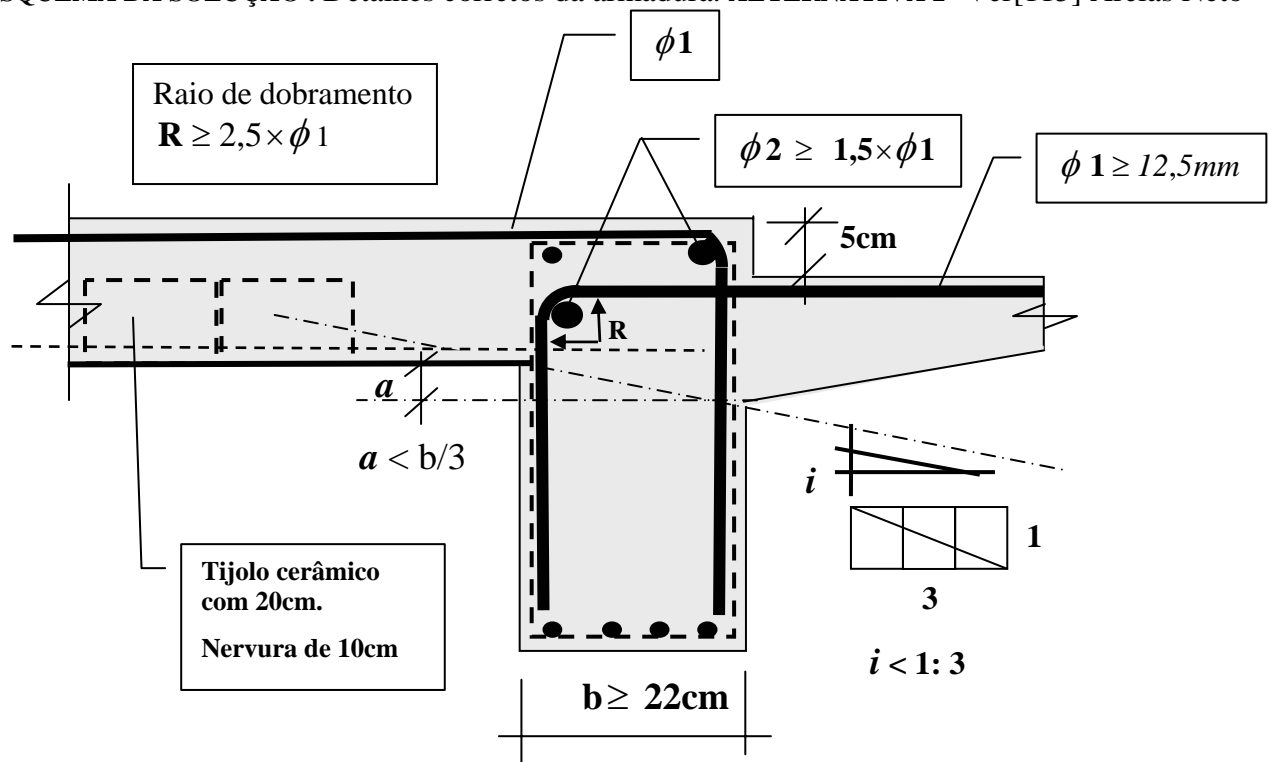
- O raio de dobramento **R** da barra deve ser o maior possível dentro da largura da viga.  
 $b = 2R + 2\phi + 2c$ , sendo  $c$  = cobrimento da armadura.
- Os raios de dobramento deve ser maiores que os exigidos pela norma.  $R \geq 7,5 \times \phi$  ;  $r \geq 7,5 \times \phi$
- O raio de dobramento do “laço” **R** deve ser maior que  $\left( \frac{h1}{2} \right)$  para que o “laço” envolva toda a espessura da laje do balanço.  $R \geq \left( \frac{h1}{2} \right)$
- Exemplo:  $\phi = 12,5\text{mm}$  obtemos: Dobramento da parte superior :  $r \geq 7,5 \times 1,25 = 9,4\text{cm}$
- Dobramento do “laço”:  $R \geq 7,5 \times 1,25 = 9,4\text{cm}$  ;  $\left( \frac{h1}{2} \right) \leq R = 9,4\text{cm}$  ;  $h1 < 19\text{cm}$
- $b = 2R + 2\phi + 2c = 2 \times 9,4 + 2 \times 1,25 + 2 \times 2 = 25,3\text{cm}$
- A viga não é dimensionada para engastar a varanda, isto é, não é dimensionada com torção.
- Todo o momento de flexão da laje da varanda deve ser transmitido para a laje anexa.
- A laje anexa à varanda deve ter uma grande espessura. Em geral, a laje é feita com nervuras de tijolos cerâmicos. Junto ao engaste da varanda não devem ser colocados tijolos.

**EXEMPLO Nº 136 (CONTINUAÇÃO)**

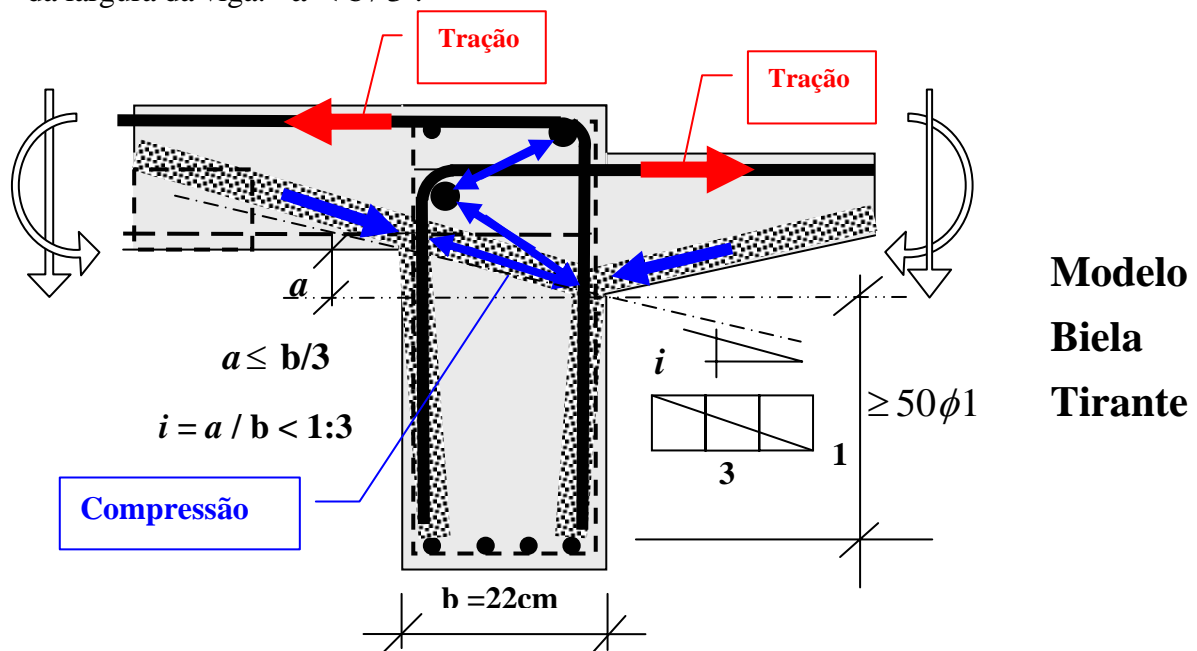
**ESTRUTURA :** Edifício em concreto armado, com varandas rebaixadas de 3cm a 5cm.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras na ligação das lajes da varanda com a laje que serve para engastá-la.

**ESQUEMA DA SOLUÇÃO :** Detalhes corretos da armadura. **ALTERNATIVA 2-** Ver[115] Areias Neto



- A colocação das barras  $\phi 2 \geq 1,5 \times \phi 1$  é de grande importância para transmissão do momento fletor do balanço para a laje adjacente..
- O raio  $R$ , de dobramento das barras  $\phi 1$ , deve ser maior que  $1,5 \times \phi 1$ .
- A viga deve ter uma largura de 22cm para facilitar a concretagem.
- A viga deve ter 22cm para ficar embutida na parede externa de 25cm, onde existir essa parede.
- O desnível entre o fundo da laje em balanço e o fundo da laje vizinha não deve ser maior que 1/3 da largura da viga.  $a < b/3$ .



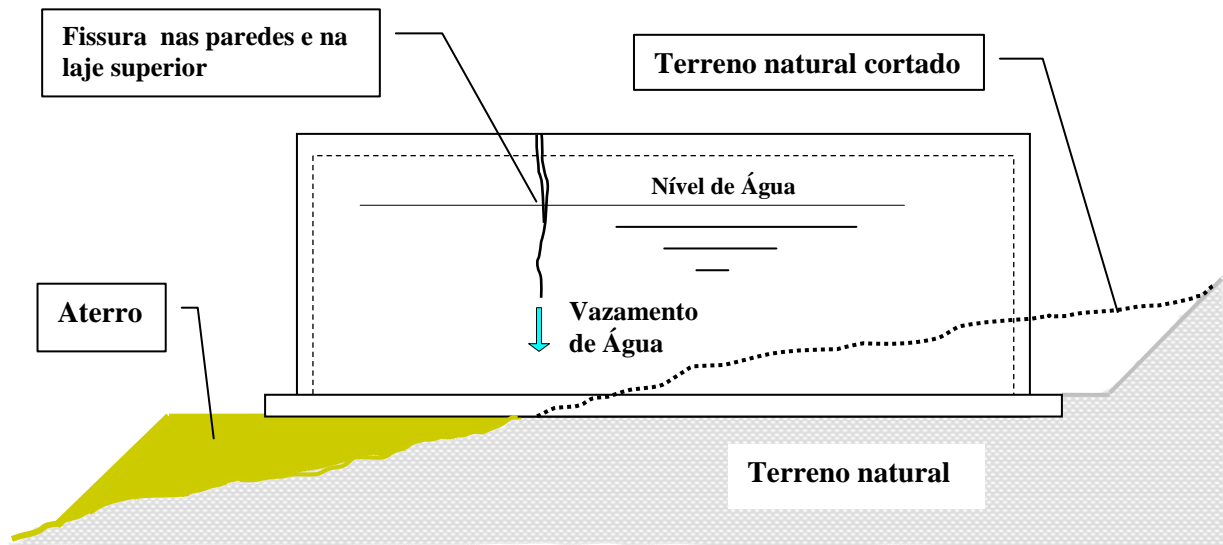
**OBSERVAÇÃO:** Essas vigas, que suportam varandas, têm grande carga e podem ter grandes flechas, após algum tempo. É recomendável o uso de armadura de compressão. Ver exemplos Nº 141 e 142.

### EXEMPLO Nº 137

**ESTRUTURA :** Reservatório em concreto armado, executado em um terreno corte - aterro.

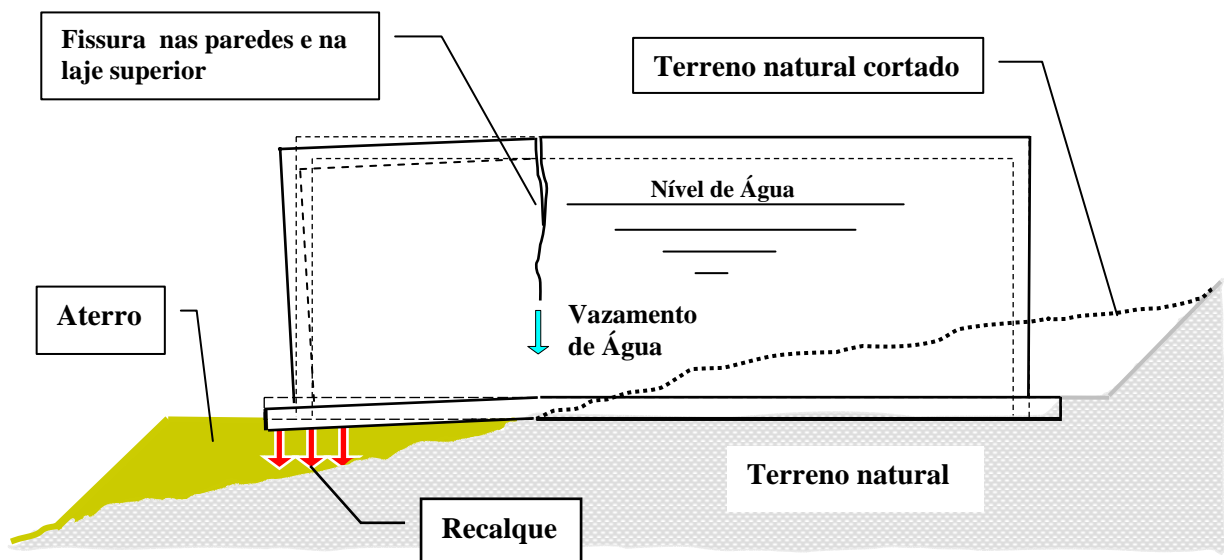
**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas paredes e na laje superior. Vazamento de água nas paredes.

**ESQUEMA :**



### CAUSA DA FISSURAÇÃO :

- Parte do reservatório está assente no terreno natural cortado e parte está assente no aterro.
- Sob a ação do peso da água, o aterro recalca. O terreno natural pouco recalca.
- O reservatório tende a se deformar apenas na parte assente sobre o aterro.
- A parte do reservatório sobre o terreno natural cortado se deforma muito pouco.
- A parede sobre o aterro gira e fissa.



### SOLUÇÃO:

Obra em fase de execução:

- Executar o aterro sob o reservatório com solo cimento ou com concreto magro ou ,
- Assentar toda a base do reservatório no terreno natural cortado.

Obra já executada:

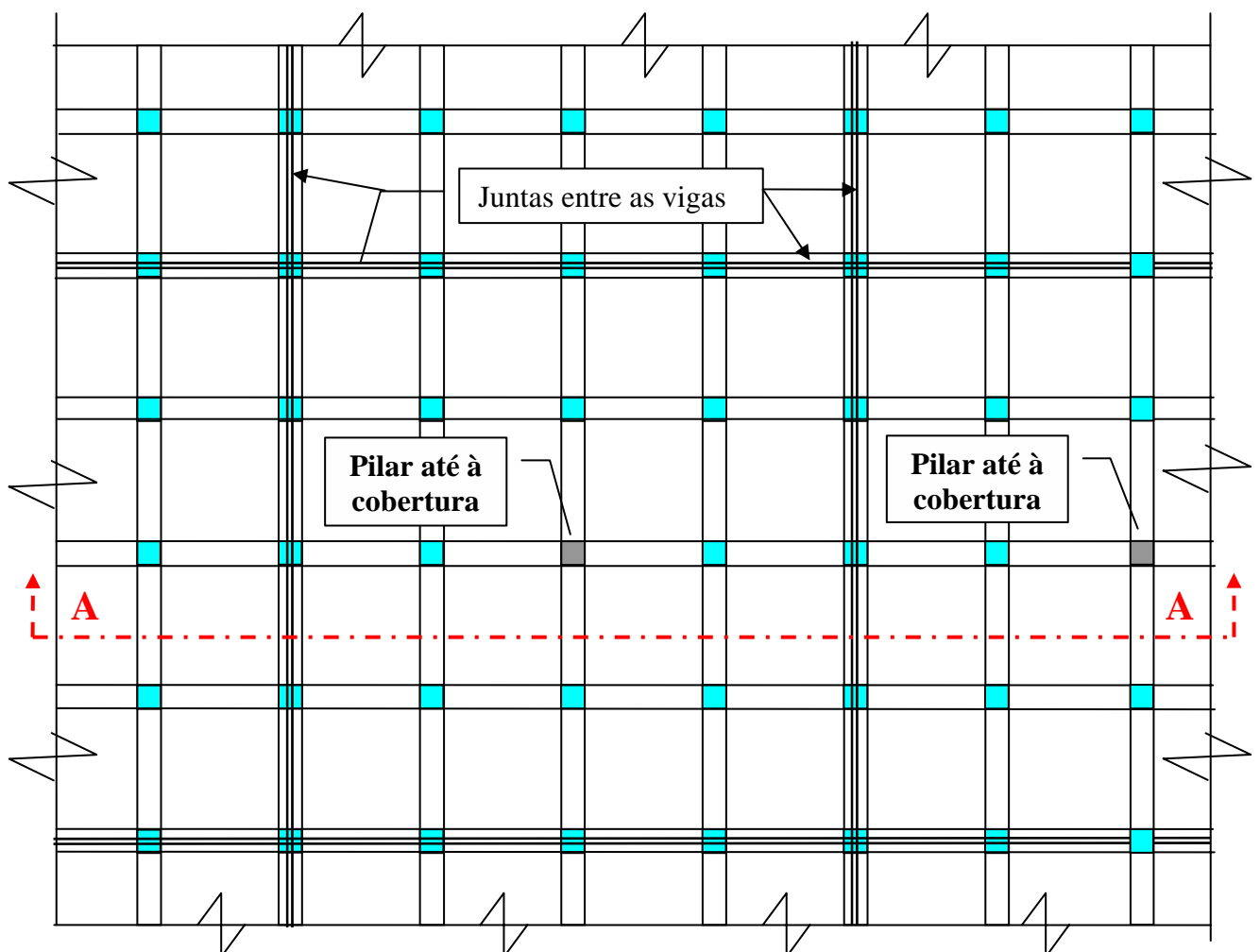
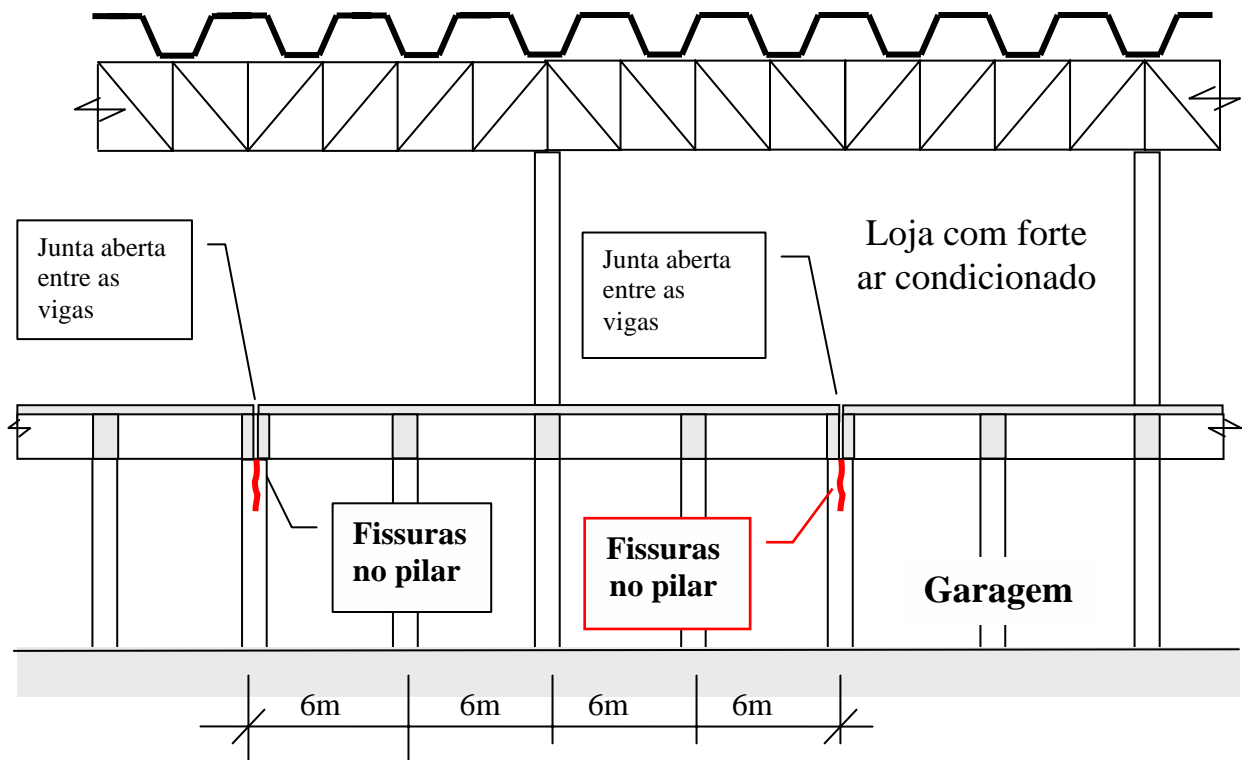
- Se o recalque estiver estabilizado, fazer a injeção para vedar as fissuras.
- Se o recalque do aterro ainda estiver aumentando, executar várias pequenas estacas através da laje de fundo ou enrijecer o solo do aterro com injeções .

**EXEMPLO Nº 138**

**ESTRUTURA :** Construção em concreto armado com 2 pavimentos. Piso com vigas e lajes. Loja com forte refrigeração.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras em todos os pilares das “juntas de dilatação”.

**ESQUEMA :**

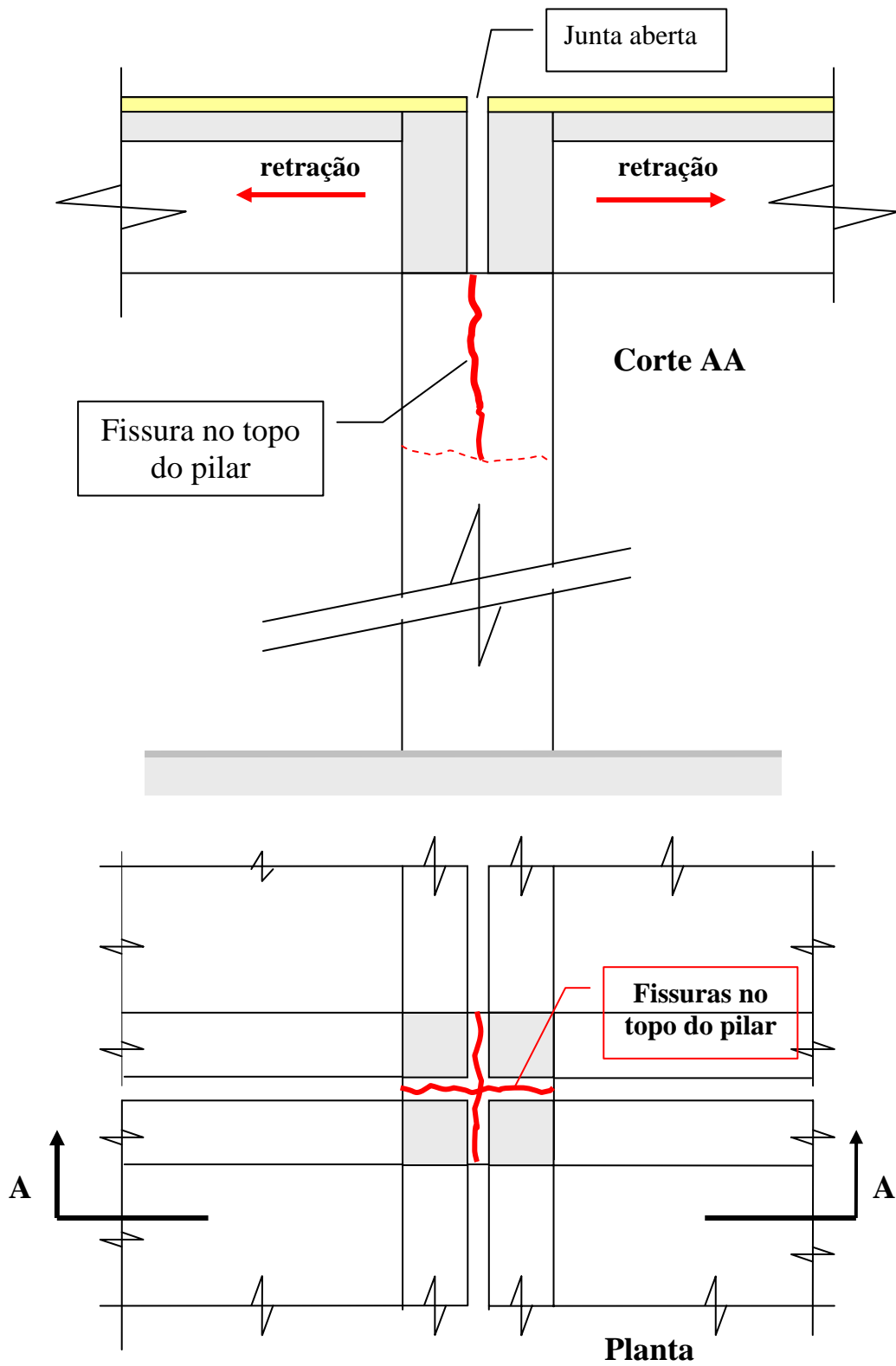


**EXEMPLO Nº 138 : Continuação**

**ESTRUTURA :** Construção em concreto armado com 2 pavimentos. Piso com vigas e lajes. Loja com forte refrigeração.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras no topo ds pilares, nas “ juntas de dilatação”.

**ESQUEMA :** Pilares com duas juntas “de dilatação”.

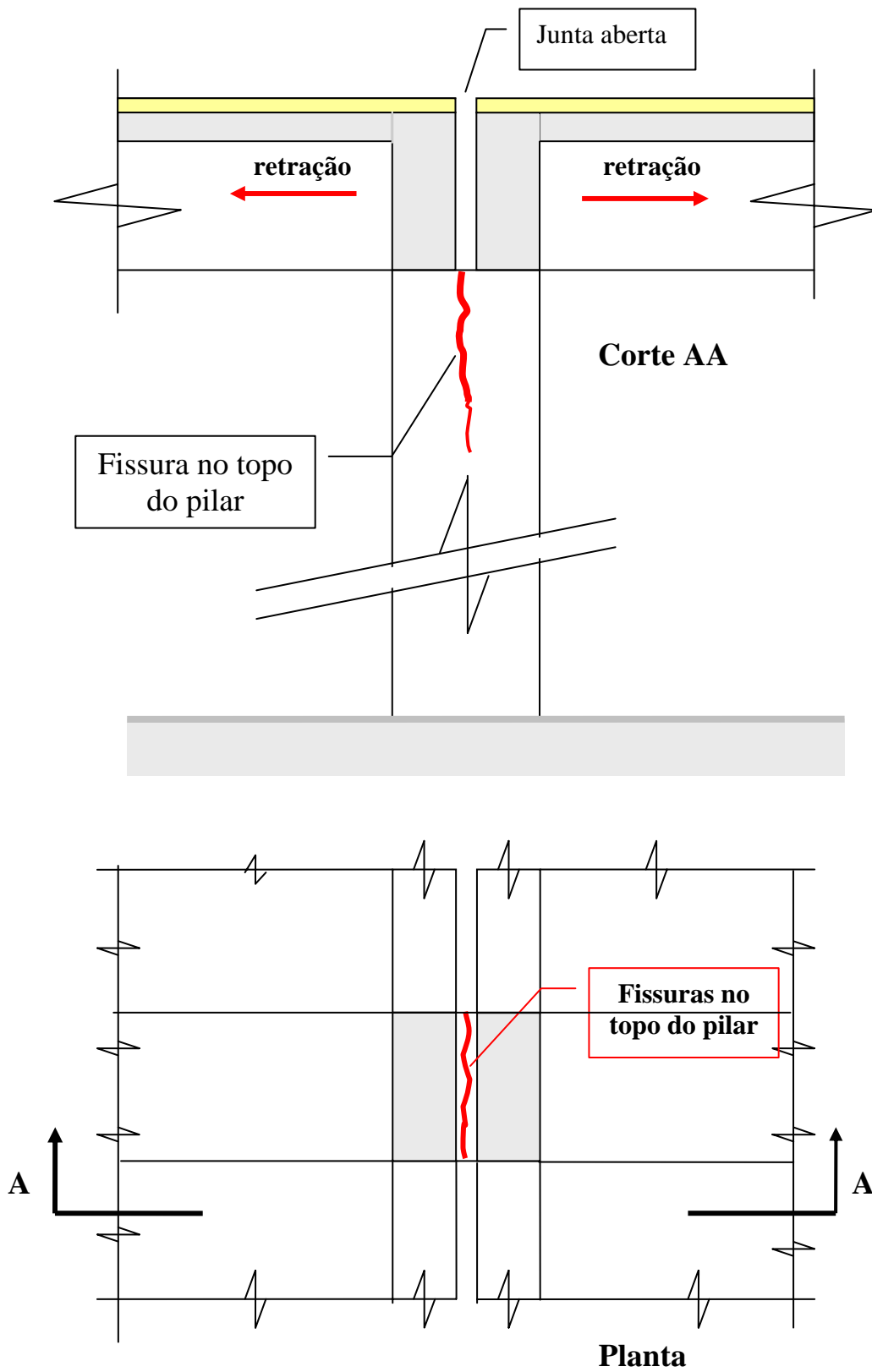


**EXEMPLO Nº 138 : Continuação**

**ESTRUTURA :** Construção em concreto armado com 2 pavimentos. Piso com vigas e lajes. Loja com forte refrigeração.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nos pilares das “juntas de dilatação”.

**ESQUEMA :** Pilares com uma junta “de dilatação”.





### EXEMPLO Nº 138 : Continuação

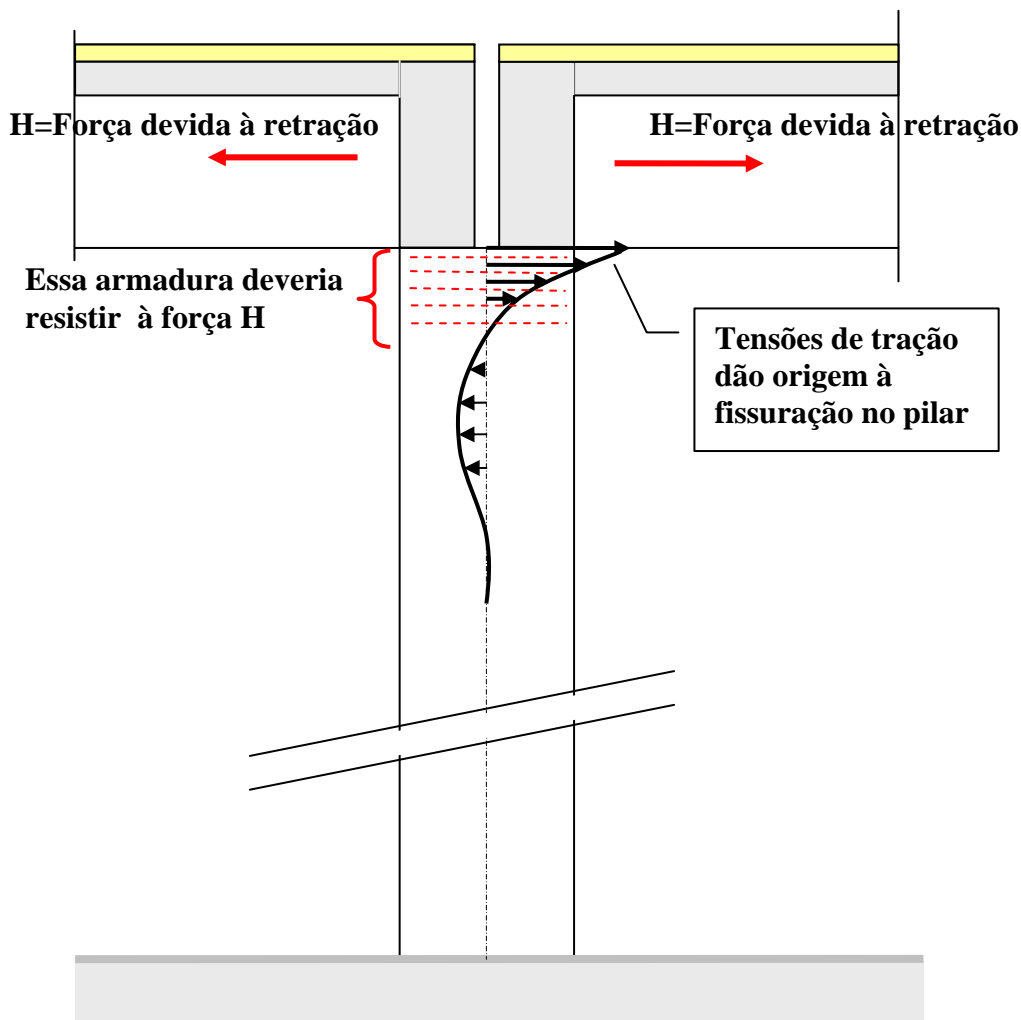
**ESTRUTURA :** Construção em concreto armado com 2 pavimentos. Piso com vigas e lajes. Loja com forte refrigeração.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nos pilares das “ juntas de dilatação”.

**CAUSA DA FISSURAÇÃO:** A causa das fissuras é a armadura insuficiente no topo dos pilares. A armadura deveria resistir às forças horizontais atuantes nos pilares das juntas. Essas forças têm como origem a retração impedida do concreto do piso.

Essa retração do piso, na realidade tem várias parcelas, a saber:

1. Retração térmica do concreto devida ao resfriamento logo após a concretagem.
2. Retração hidráulica ao longo do tempo. Essa retração por perda de água para a atmosfera ocorre lentamente.
  - Como a região onde se encontra a construção é uma zona litorânea, com elevada umidade relativa da atmosfera, essa causa deveria ser a menos importante.
  - Ocorre que, tendo a loja eficiente sistema de ar condicionado, a umidade relativa do ar não é elevada.
3. Retração térmica devida ao resfriamento do ar pelo eficiente sistema de ar condicionado central. A temperatura ambiente é baixa e permanece baixa durante as 24 horas do dia.

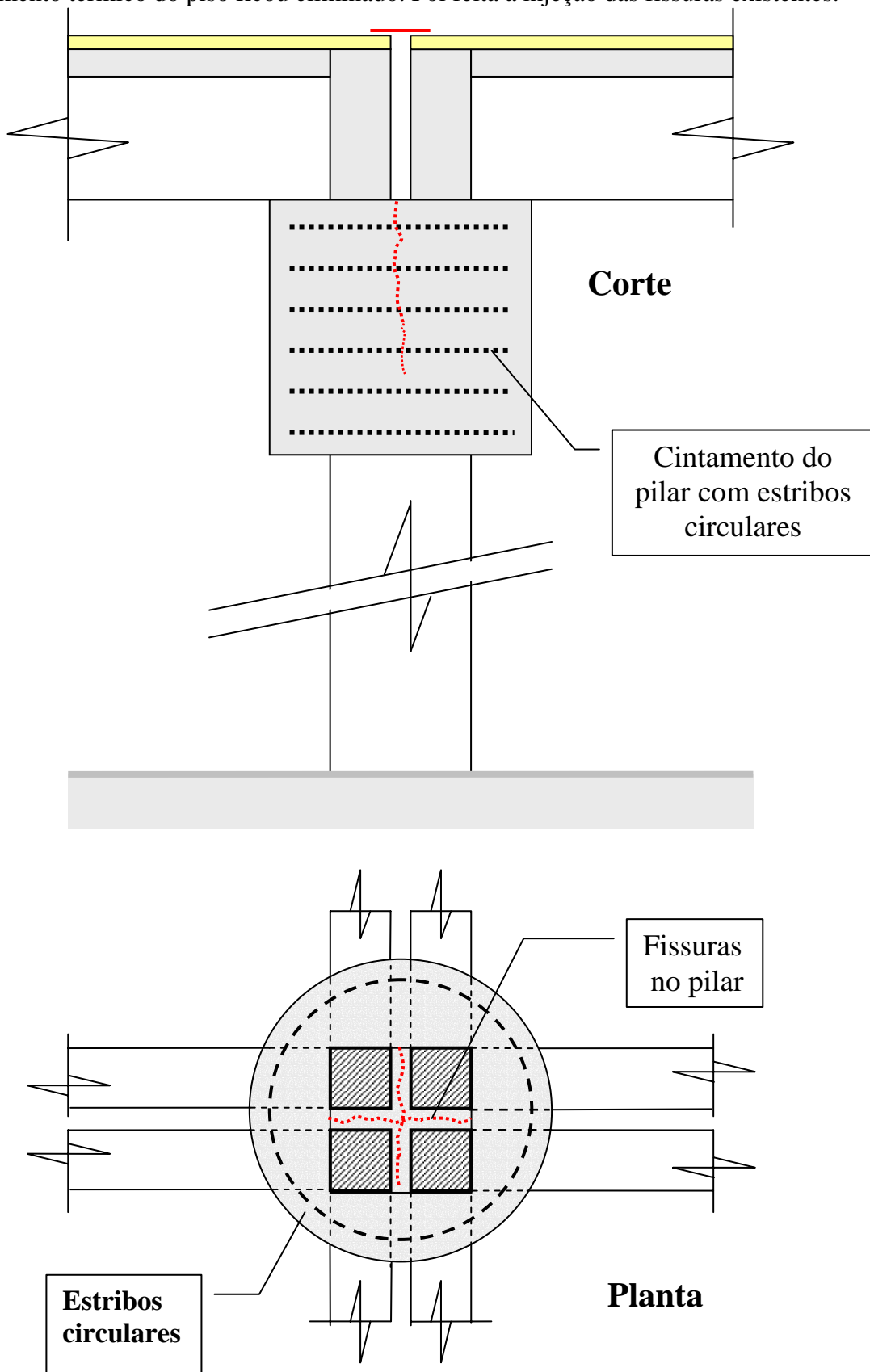


**EXEMPLO Nº 138 : Continuação**

**ESTRUTURA :** Construção em concreto armado com 2 pavimentos. Piso com vigas e lajes

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nos pilares das “ juntas de dilatação”.

**ESQUEMA DA SOLUÇÃO:** Na obra já existente, foi feito um reforço do pilar, com um cintamento ao redor das fissuras. O cintamento do pilar foi executado com o ar condicionado funcionando. O efeito do movimento térmico do piso ficou eliminado. Foi feita a injeção das fissuras existentes.

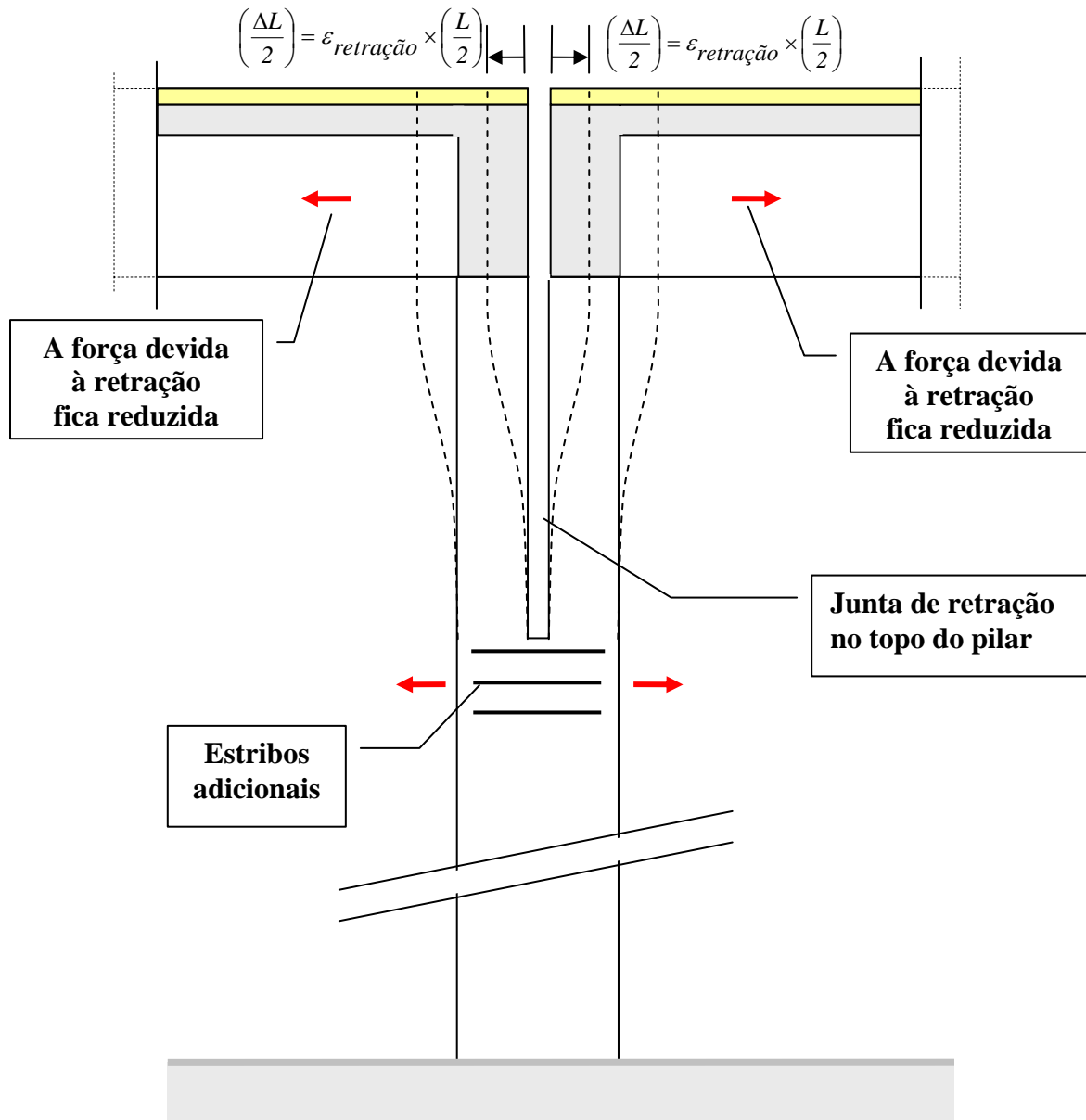


### EXEMPLO Nº 138 : Continuação

**ESTRUTURA :** Construção em concreto armado com 2 pavimentos. Piso com vigas e lajes.  
Ambiente com forte refrigeração.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nos pilares das “ juntas de dilatação”.

**SOLUÇÃO :** Em fase de projeto : Uma alternativa é criar uma junta de retração no topo do pilar:



### OBSERVAÇÕES :

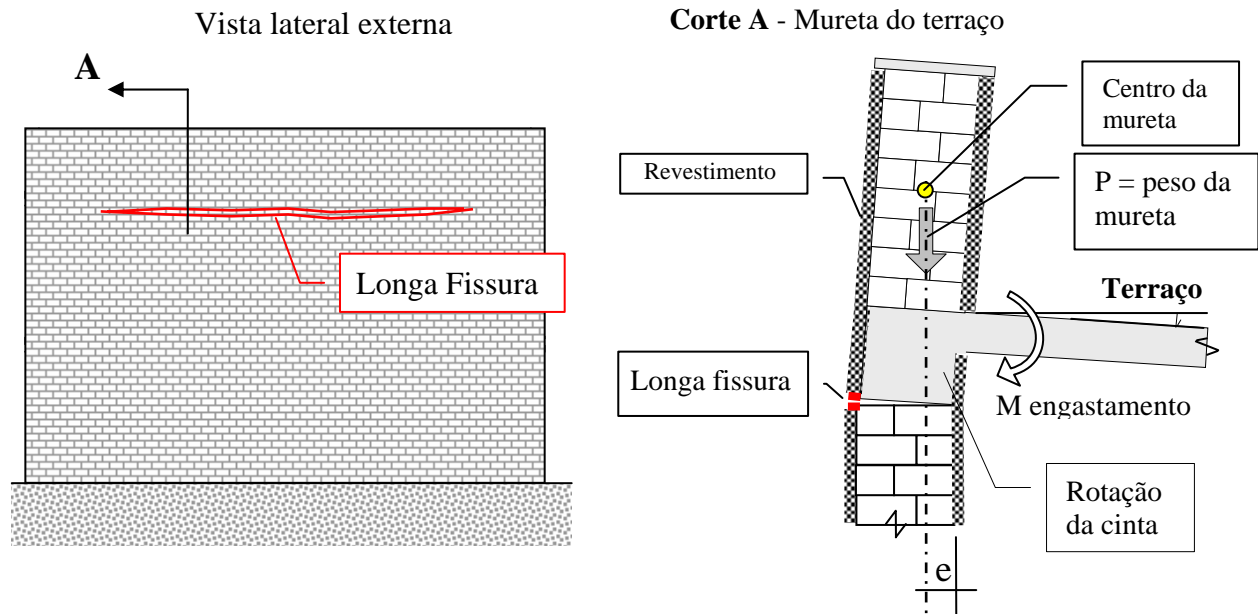
- A junta na parte superior do pilar permite os deslocamentos horizontais. O pilar fica deformável.
- A força horizontal fica reduzida, mas surgem, no pilar, momentos de flexão, devidos aos deslocamentos horizontais.
- Considerando um resfriamento de 10 graus Celsius e um vão L, entre as juntas, de 24m, obtemos um deslocamento horizontal : 
$$\left(\frac{\Delta L}{2}\right) = \epsilon_{retração} \times \left(\frac{L}{2}\right) = 10^{\circ C} \times \left(\frac{10^{-5}}{^{\circ}C}\right) \times \left(\frac{24m}{2}\right) = \dots = 1,25mm$$
- A parte superior do pilar deve ser dimensionada para uma flexo-compressão.
- É necessário dimensionar os estribos na base da junta do pilar, pois continua existindo uma tendência à fissuração, ainda que reduzida.
- A junta no topo do pilar deve ter o comprimento necessário para reduzir as forças horizontais a valores aceitáveis. Fazer a junta até à base do pilar criaria uma grande esbeltez. Poderia reduzir a segurança à flambagem.

### EXEMPLO Nº 139

**ESTRUTURA :** Residência de alvenaria com lajes apoiadas nas alvenarias.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas paredes externas, na altura das cintas de amarração do terraço.

**ESQUEMA :** Deformação muito ampliada na figura, para bem caracterizá-la.



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Rotação das cintas de apoio ( de amarração) das lajes do terraço.

A estrutura do terraço deve ser bastante rígida para reduzir as rotações nos apoios.

O vão da laje do terraço sendo grande, as cintas não têm como engastar essa laje.

A mureta do terraço sendo leve não equilibra o momento de engastamento da laje.

$$P \cdot e < M \text{ de engastamento da laje}$$

**SOLUÇÃO :** A rigidez da laje do terraço deve ser grande para evitar a grande rotação nos apoios.

Para isso deve-se:

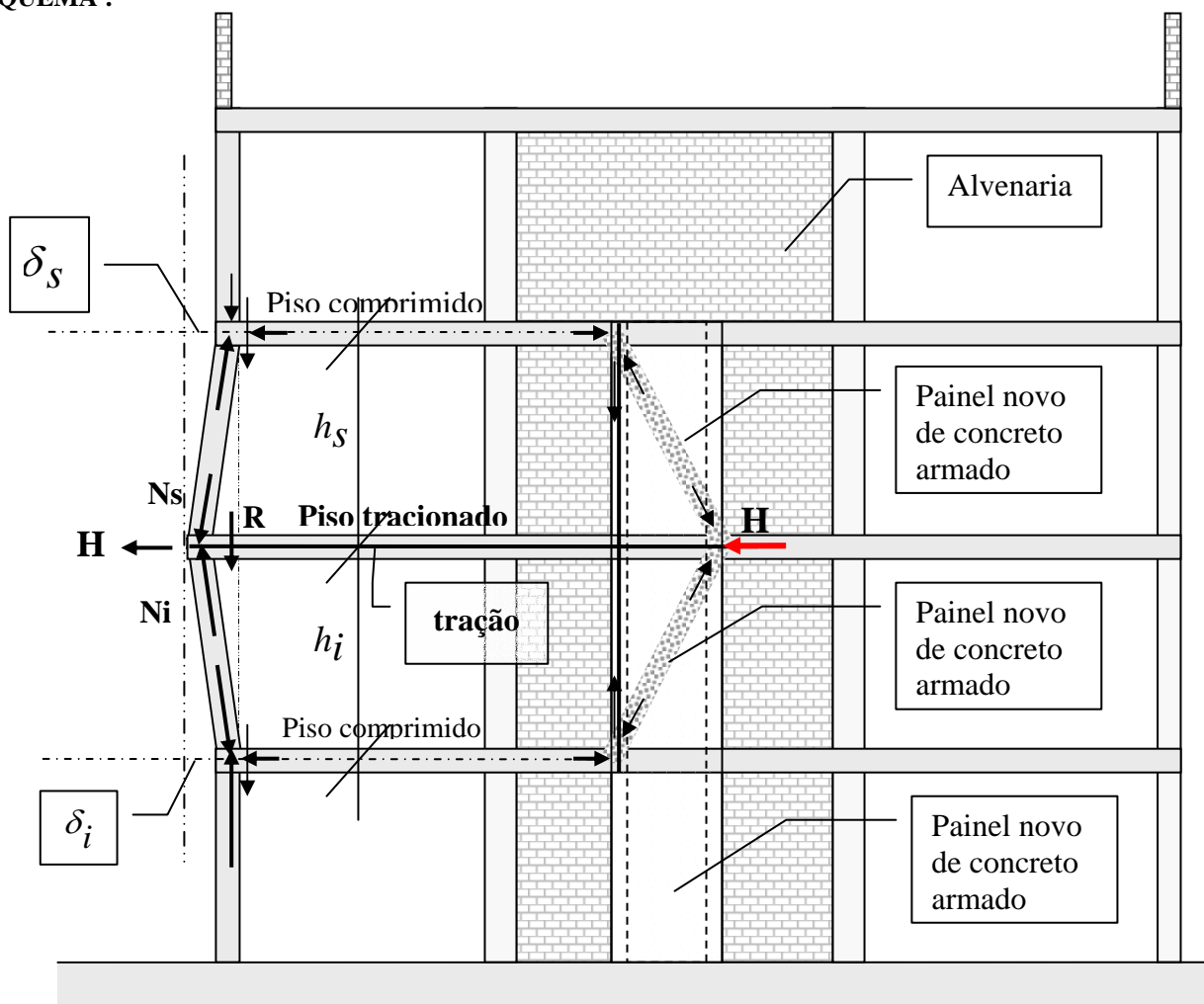
- reduzir os vãos
- aumentar o peso das muretas do terraço, usando tijolos maciços.

Nas construções existentes, a fissura deve ser reparada com o refazimento dos revestimentos nas regiões fissuradas.

Com o passar do tempo, a deformação lenta ( fluência ) da laje do terraço aumenta a rotação dos apoios e a fissura reabre, e aumenta. Novo reparo deve ser feito. O intervalo entre os reparos vai aumentando até que a deformação lenta da laje cesse.

**OBSERVAÇÃO:** Melhor solução é executar lajes com grande espessura como as lajes mistas, usando tijolos como enchimento nas nervuras.

As paredes de alvenaria portante por estruturas de concreto armado, com pilares, vigas e lajes.

**EXEMPLO Nº 140****ESTRUTURA :** Edifício residencial em concreto armado, com 4 pavimentos.**FISSURAÇÃO :** Desaprumo acentuado de um pilar externo. **Imperfeição local.****ESQUEMA :**

**CAUSA DO DESAPRUMO:** Erro de execução nas formas de madeira do pilar. Os pilares no perímetro do prédio, em geral, apresentam maiores dificuldades para se obter uma execução correta.

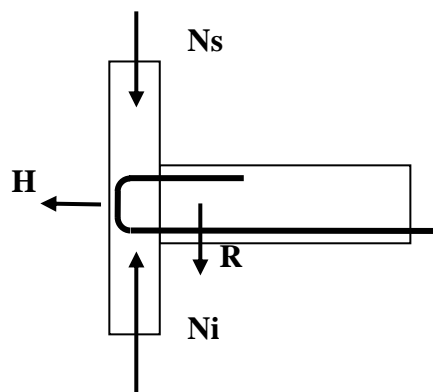
**OBSERVAÇÃO :** O equilíbrio das forças horizontais deve ser restaurado no pavimento superior e no pavimento inferior. No caso de uma imperfeição local, o desequilíbrio não se propaga para a fundação.

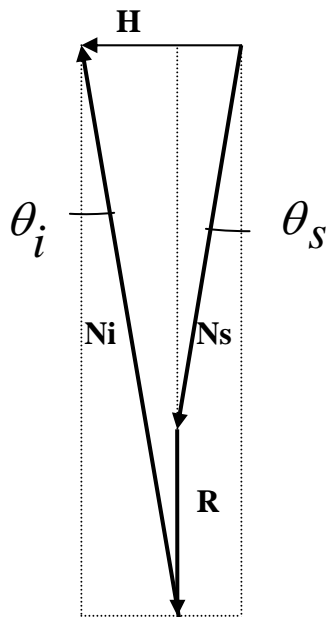
**SUGESTÃO:** O limite para aceitação da qualidade da execução da estrutura de um piso deve ser :

$$\frac{\delta}{h} \leq \frac{1}{200} = 0,5 \% .$$

**SOLUÇÃO:**

- No cálculo de cada piso deve ser considerada uma força horizontal  $H = \frac{Ni + Ns}{200}$  nos pavimentos, junto aos pilares da periferia do prédio.
- A força H deve ser equilibrada no pavimento superior e no pavimento inferior.



**EXEMPLO Nº 140****ESTRUTURA :** Edifício residencial em concreto armado, com 4 pavimentos.**FISSURAÇÃO :** Desaprumo acentuado de um pilar externo.**ESQUEMA :** $N_s$  = Força normal no pilar do pavimento superior $\theta_s$  = inclinação do pilar do pavimento superior $N_i$  = Força normal no pavimento inferior $\theta_i$  = inclinação do pilar do pavimento inferior

R = Reação de apoio da viga sobre o pilar

$$H \cong N_s \cdot \tan \theta_s + N_i \cdot \tan \theta_i =$$

$$H \cong N_s \cdot \left( \frac{\delta_s}{h_s} \right) + N_i \cdot \left( \frac{\delta_i}{h_i} \right)$$

**No exemplo** citado acima os dados eram os seguintes: $N_s = 250 \text{ kN}$  = Força normal no pilar do pavimento superior

R = 140kN = Reação de apoio da viga sobre o pilar

 $N_i = 390 \text{ kN}$  = Força normal no pavimento inferior

$$\delta_s = \delta_i \approx 5 \text{ cm}$$

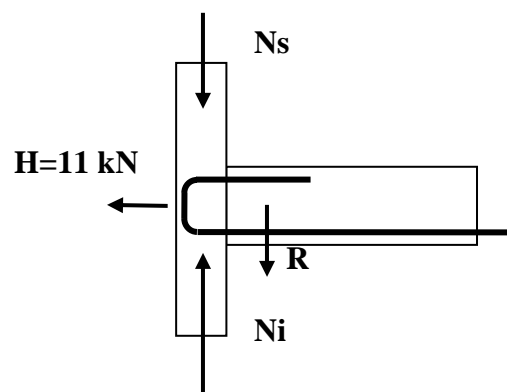
 $h_s = h_i = 3 \text{ m}$ 

$$H \cong N_s \cdot \left( \frac{\delta_s}{h_s} \right) + N_i \cdot \left( \frac{\delta_i}{h_i} \right) =$$

$$H = 250 \text{ kN} \cdot \left( \frac{5 \text{ cm}}{300 \text{ cm}} \right) + 390 \text{ kN} \cdot \left( \frac{5 \text{ cm}}{300 \text{ cm}} \right) = 11 \text{ kN}$$

**SOLUÇÃO:**

- No caso real citado, a armadura da viga era suficiente para resistir à força **H**, além dos momentos de flexão da viga.
- Foi feito o preenchimento com concreto armado de um painel de alvenaria interno.
- A força horizontal ficou então equilibrada pelo pavimento superior e pelo pavimento inferior, como mostrado na figura da página anterior.

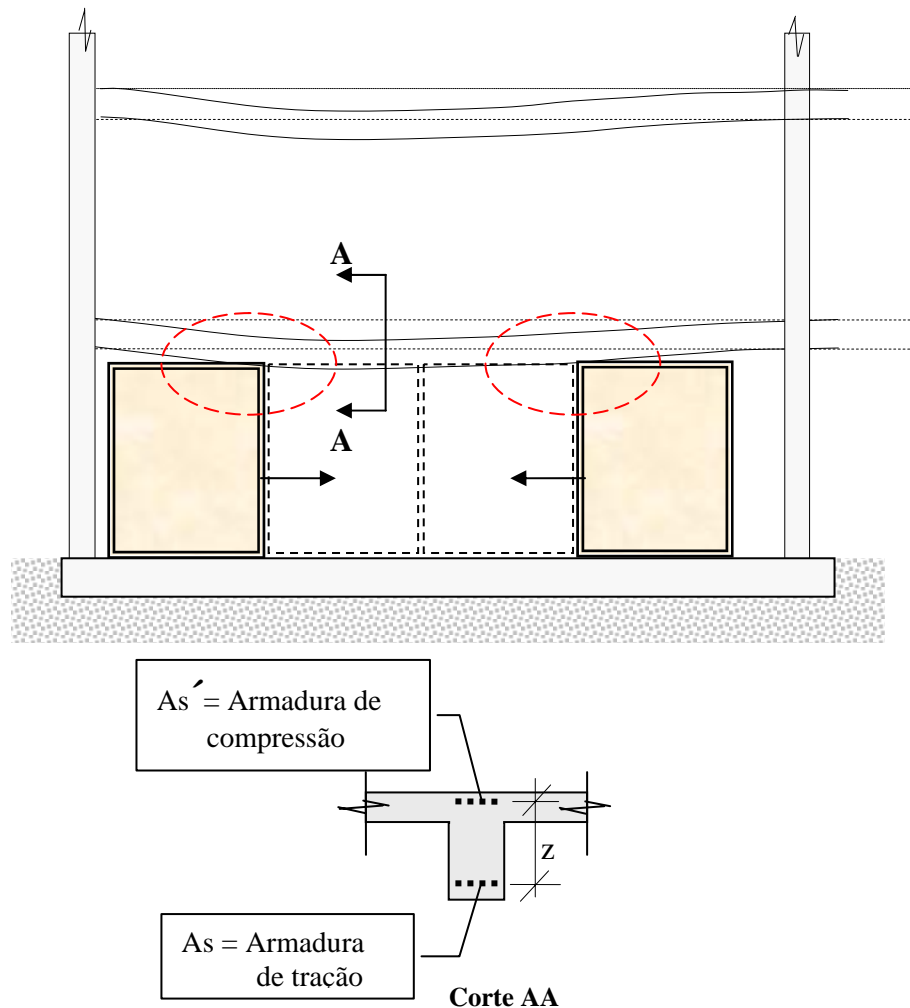


### EXEMPLO Nº 141

**ESTRUTURA:** Edifício em concreto armado. Vigas com grandes vãos.

**DEFORMAÇÃO:** Flechas exageradas das vigas de concreto armado. As portas sob as vigas ficam travadas. Não correm nem fecham. Ver também os exemplos Nº 106 e Nº 142.

**ESQUEMA:**



**CAUSA:** Grandes flechas das vigas, devidas à deformação lenta (fluência) do concreto na zona comprimida pela flexão. No início da obra, essa deformação exagerada ainda não aconteceu. Com o passar do tempo, a flecha da viga vai aumentando, até que as portas de correr fiquem “travadas” pela viga do pavimento superior.

**SOLUÇÃO:** Usar armadura de compressão (armadura dupla) para evitar a “flecha lenta”.

- Se for usada uma armadura de compressão igual à armadura de tração, fica eliminada a deformação lenta. Essa deformação lenta ocorreria no concreto da zona comprimida pela flexão.
- Limitar a tensão no aço, em serviço, para as cargas permanentes:

$$As = As' \geq \frac{Mk_{permanente}}{z \times \sigma_{aço}^{permanente}} ; \text{ com } \left( \sigma_{aço}^{permanente} \right) \leq 150 \text{ MPa}$$

onde :  $Mk_{permanente}$  = momento fletor devido à carga permanente

$z$  = distância entre as armaduras de tração e de compressão.

- Usar uma armadura dupla tanto nos vãos como nas zonas sobre os apoios da viga.
- Restará apenas a deformação lenta devida aos esforços tangenciais. Para diminuir essa deformação, reduzir a tensão de compressão nas bielas inclinadas de concreto, na zona de grandes forças cortantes. Para isso, aumentar a largura da viga.
- Para pequenas deformações das vigas pode ser feito um re-nivelamento do trilho superior da esquadria.

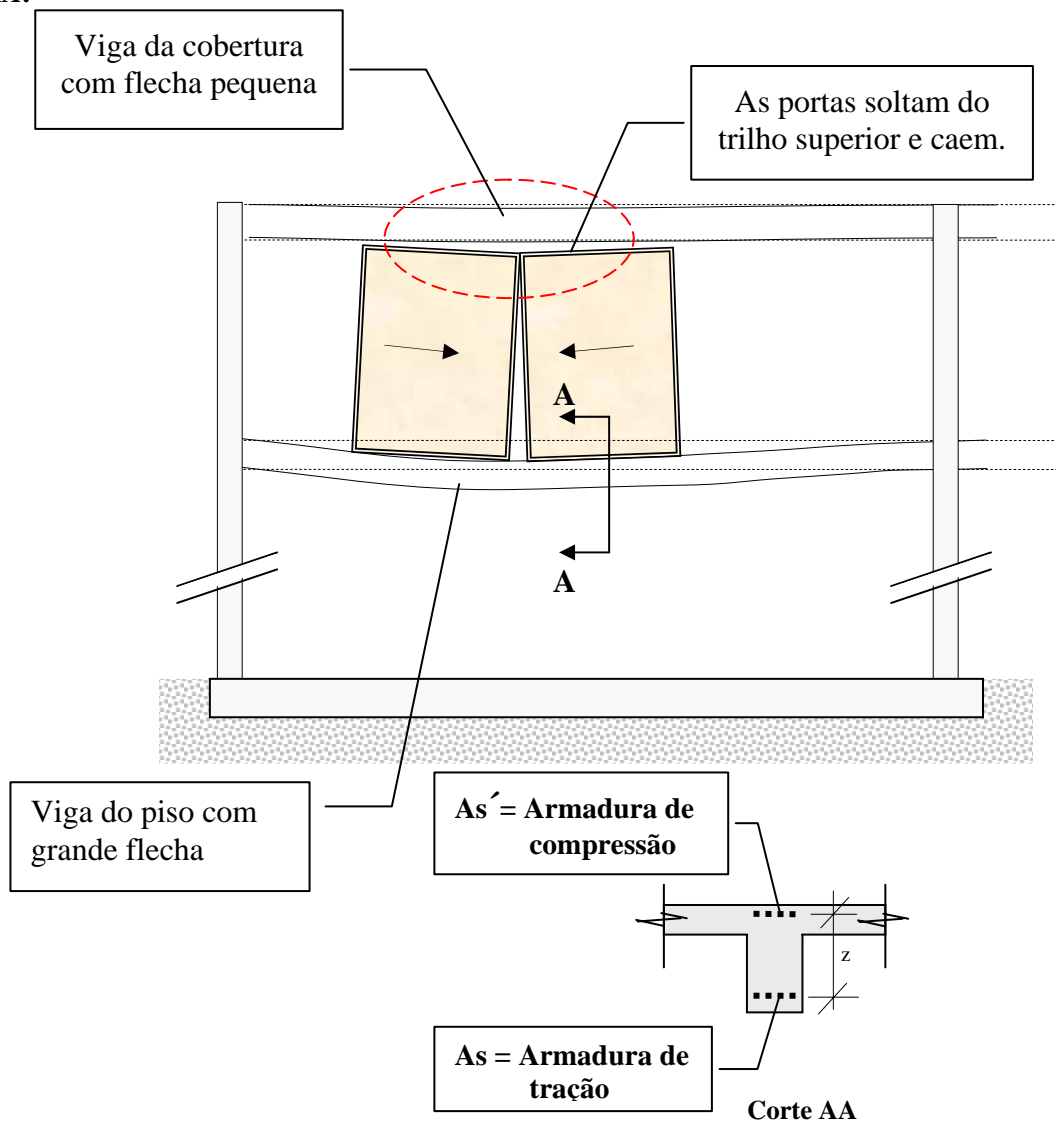
**OBSERVAÇÃO:** O que foi mostrado acima, para portas de correr, ocorre também em janelas de correr.

### EXEMPLO Nº 142

**ESTRUTURA:** Edifício em concreto armado. Vigas com grandes vãos.

**DEFORMAÇÃO:** Flecha exagerada das vigas de concreto armado. As portas sobre as vigas soltam dos trilhos e caem. Ver também os exemplos Nº 106 e Nº 141.

**ESQUEMA:**



**CAUSA:** Grandes flechas das vigas, devidas à deformação lenta (fluência) do concreto na zona comprimida pela flexão. No início da obra, essa deformação exagerada ainda não aconteceu. Com o passar do tempo, a flecha da viga do piso vai aumentando até que as portas sobre as vigas soltem do trilho superior e caiam.

**SOLUÇÃO:** Para evitar a “flecha lenta”, usar armadura de compressão (armadura dupla). Sugestão:

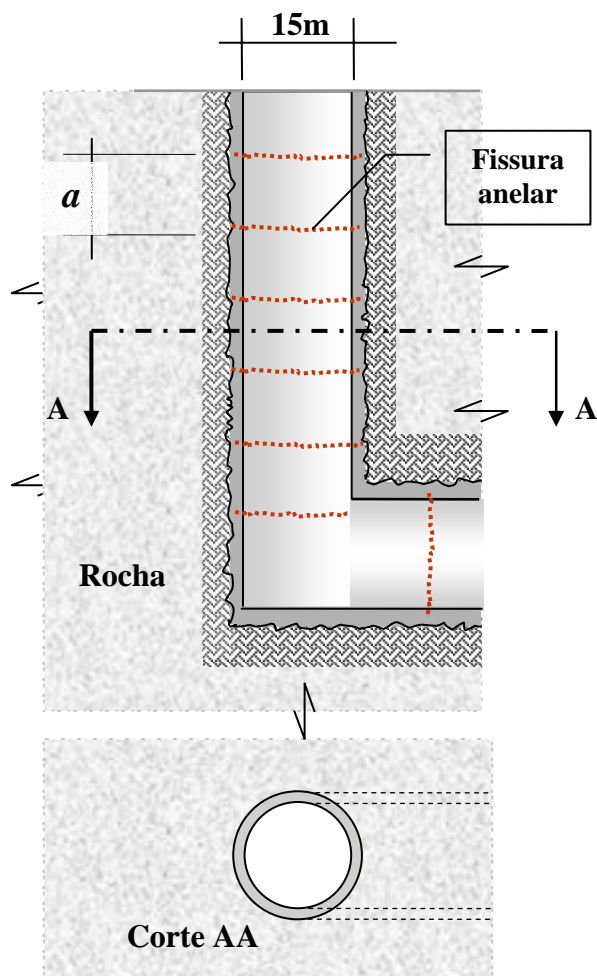
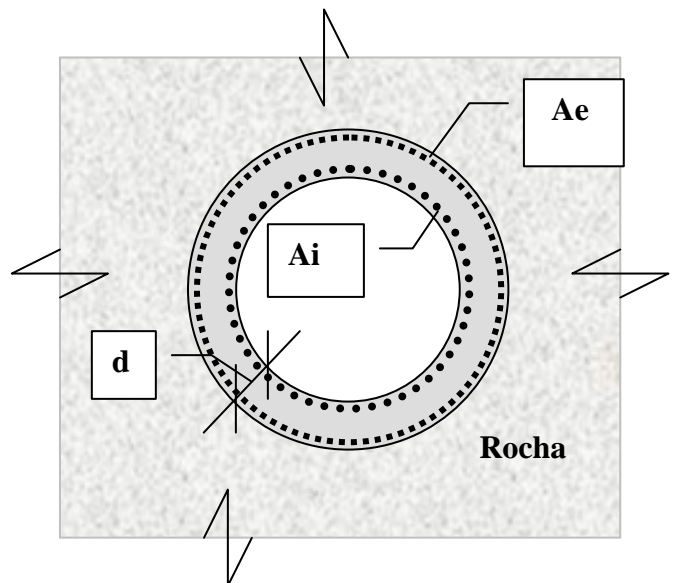
- Se for usada uma armadura de compressão igual à armadura de tração, fica eliminada a deformação lenta. Essa deformação lenta ocorreria no concreto da zona comprimida pela flexão.
- Limitar a tensão no aço, em serviço, para as cargas permanentes:

$$A_s = A_s' \geq \frac{M_k \cdot permanente}{z \times \sigma_{aço}^{permanente}} ; \text{ com } \left( \sigma_{aço}^{permanente} \right) \leq 150 \text{ MPa}$$

**OBSERVAÇÃO:** Em obra existente é necessário re-nivelar o piso para que as portas corram sobre os trilhos inferiores. A solução é trabalhosa, pois envolve uma grande área do revestimento do piso.

**OBSERVAÇÃO:** O que foi mostrado acima, para portas de correr, ocorre também em janelas de correr.



**EXEMPLO N° 143 :****TIPO DE ESTRUTURA :** Poço em rocha com revestimento de concreto armado.**FISSURAÇÃO :** Fissuração horizontal no concreto das paredes.**ESQUEMA :****SOLUÇÃO:** Colocar armadura na superfície (**Ai**) e também junto à rocha (**Ae**). Ver [125] e [126]

$$A_i (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,25\% \times d(\text{cm}) \times 100(\text{cm})$$

$$A_e (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,12\% \times d(\text{cm}) \times 100(\text{cm})$$

Exemplo :  $d = 40\text{cm}$ 

$$A_i (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,25\% \times 40(\text{cm}) \times 100(\text{cm}) = 10\text{cm}^2/\text{m}$$

Usar ferro 12,5mm cada 10cm

$$A_e (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,12\% \times 40(\text{cm}) \times 100(\text{cm}) = 4,8\text{cm}^2/\text{m}$$

Usar ferro 12,5mm cada 25cm

**CAUSAS :**

1- Resfriamento rápido da superfície do concreto de revestimento. A hidratação do cimento libera calor. O concreto fica quente. Se ocorrer um resfriamento rápido, o concreto retrai. Como a rocha não se deforma, o concreto fica tracionado e fissura.

Essa fissuração ocorre normalmente depois de 1 a 3 dias após a concretagem.

2- Retração hidráulica do concreto devida à perda de água para o meio ambiente. Como a rocha não se deforma, o concreto fica tracionado e fissura. Essa fissuração ocorre depois de 100 a 300 dias após a concretagem. O vento soprando dentro do poço, quando aberto nas duas extremidades, acelera a retração hidráulica e resfria a superfície do concreto, aumentando também a retração térmica.

**OBSERVAÇÃO:** A distância média entre as fissuras foi de 8m, semelhante à do exemplo N° 5.

**SOLUÇÃO :** Limitar a abertura das fissuras a 0,15mm. Para isso :

- Usar concreto com baixo calor de hidratação. A temperatura do concreto, após a hidratação do cimento, não pode ultrapassar, em 20°C, a temperatura ambiente. Esse cuidado reduz as tensões de origem térmica.
- Prever uma armadura longitudinal na superfície. Usar barras  $\phi \geq 12,5\text{mm}$  cada 10cm .
- Prever uma armadura longitudinal junto à rocha. Usar barras  $\phi \geq 12,5\text{mm}$  cada 25cm .
- Realizar uma cura cuidadosa do concreto.
- Evitar a ação do vento dentro do poço, pois o vento aumenta a retração hidráulica do concreto.

**COMENTÁRIO:** A armadura anelar, usualmente colocada, é suficiente para reduzir a fissuração segundo a geratriz das paredes cilíndricas do túnel..

### EXEMPLO Nº 144

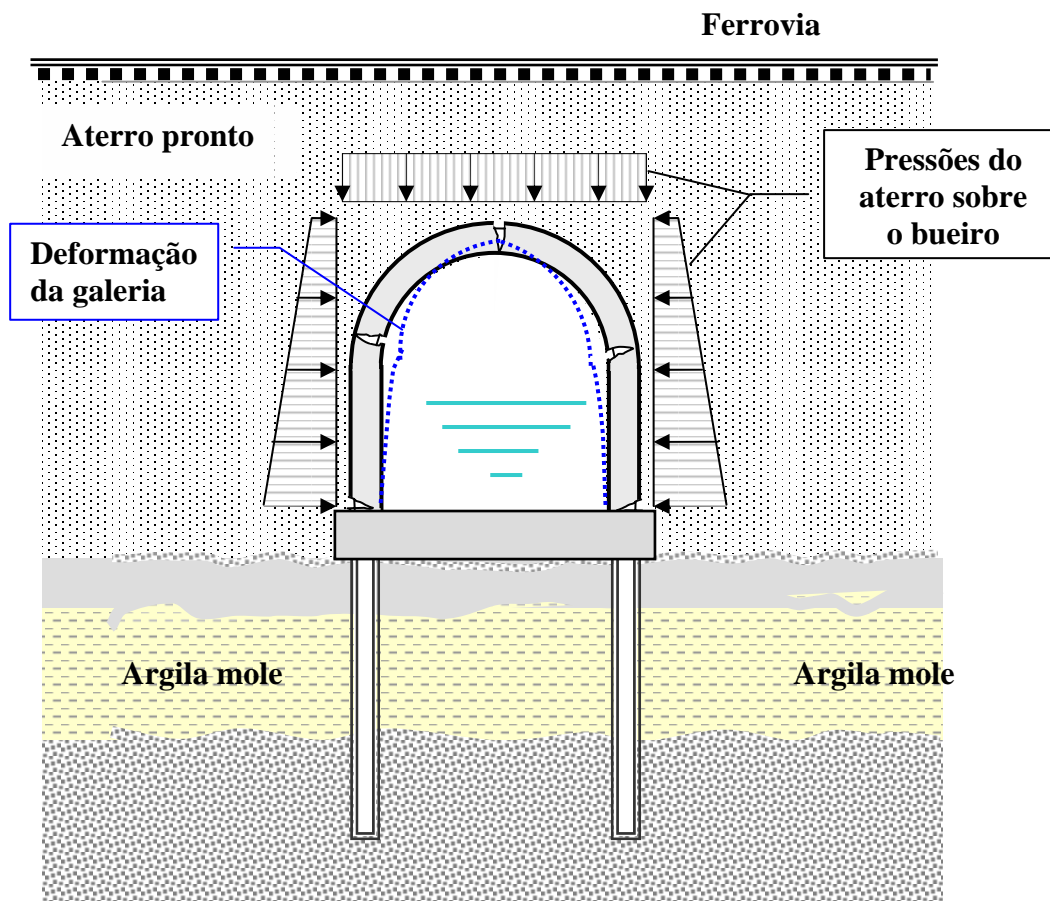
**ESTRUTURA:** Bueiro em concreto armado.

**DEFORMAÇÃO:** Fissuras longitudinais nas paredes do bueiro.

Fissuras com grande abertura.

Nesta mesma ferrovia ocorreram outros defeitos em estruturas de bueiros, como se vê no exemplo Nº 145.

**ESQUEMA:**



**CAUSAS :** Espessura pequena das paredes do bueiro. Armadura pequena nas paredes do bueiro.

As falhas foram causadas por:

- Estimativa errada das pressões do aterro sobre o bueiro de concreto armado.
- Cálculo errado dos momentos fletores na estrutura.
- Resumindo: Várias falhas no projeto estrutural.

**EXEMPLO Nº 144 ( continuação )**

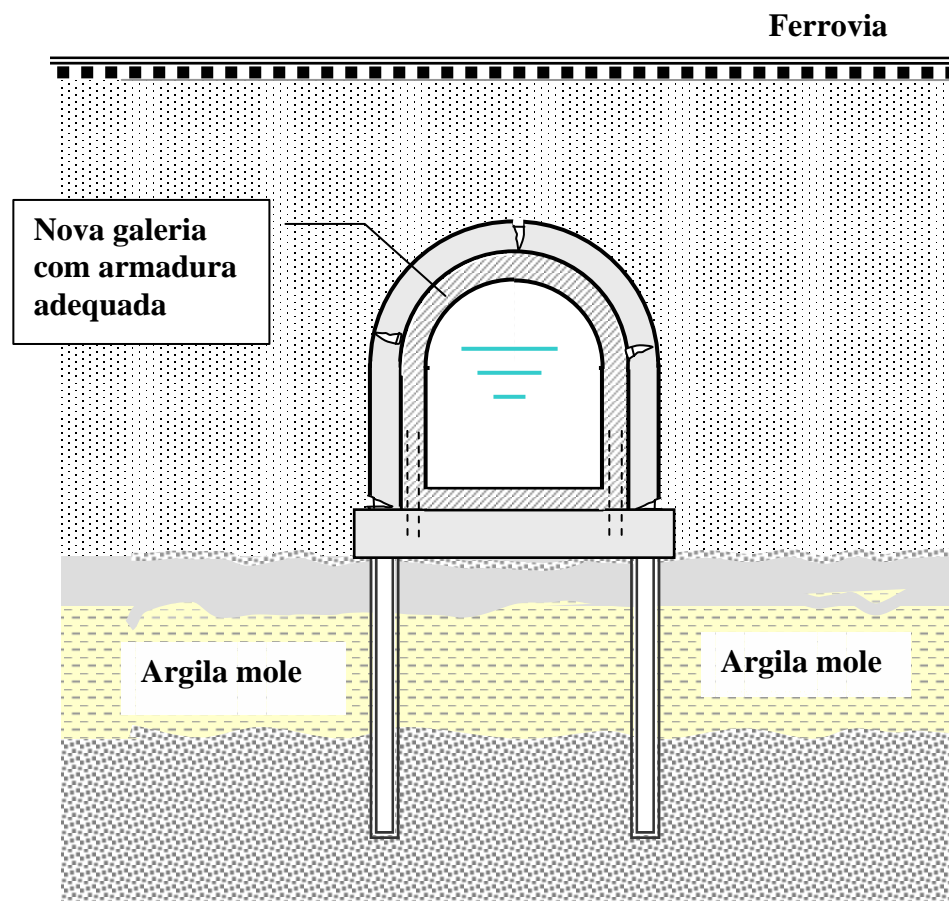
**ESTRUTURA:** Bueiro em concreto armado.

**DEFORMAÇÃO:** Fissuras longitudinais nas paredes do bueiro.

Fissuras com grande abertura.

Nesta mesma ferrovia ocorreram outros defeitos em estruturas dos bueiros, como se vê no exemplo Nº 145.

**ESQUEMA:** Solução adotada.



**SOLUÇÃO:**

Na obra acima, como não era possível interromper o tráfego ferroviário, foi construída uma nova galeria dentro do bueiro existente.

As paredes fissuradas do bueiro serviram como fôrma para a nova galeria.

A nova galeria foi dimensionada para resistir a todas as cargas atuantes.

**OBSERVAÇÃO:** A seção de vazão do bueiro ficou reduzida.

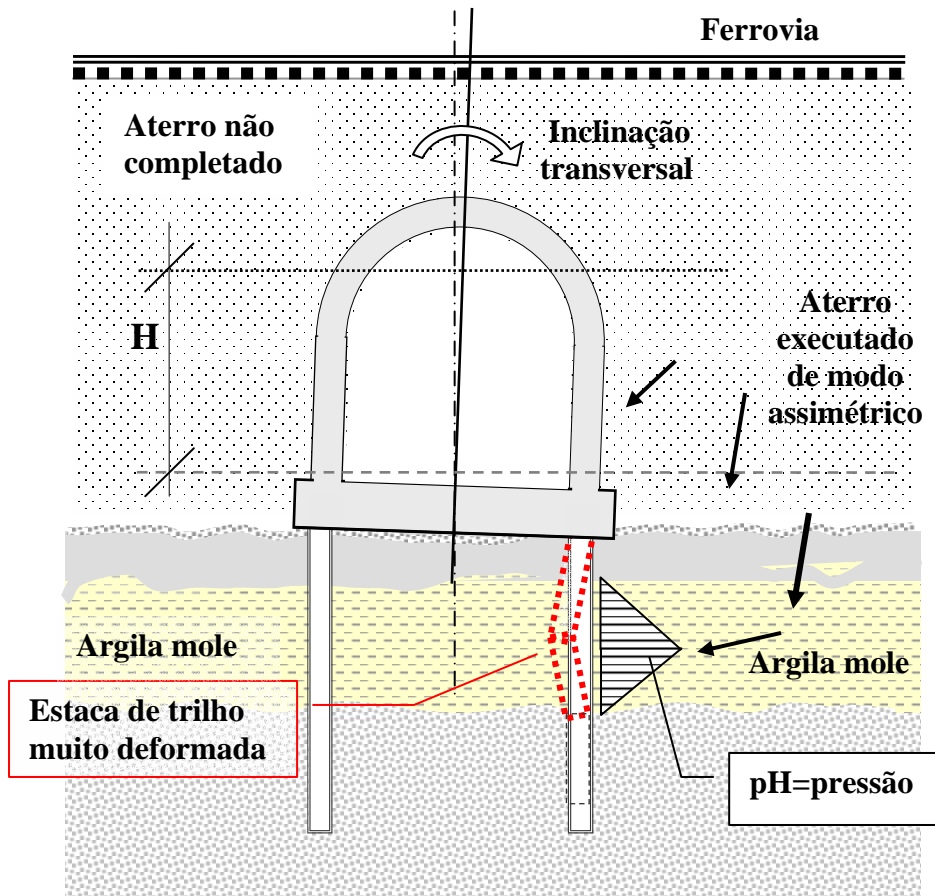
O nível das águas durante as chuvas máximas será mais elevado do que o previsto no projeto inicial.

## EXEMPLO Nº 145

**ESTRUTURA:** Bueiro em concreto armado.

**DEFORMAÇÃO:** Inclinação lateral do bueiro. Nesta mesma ferrovia ocorreram outros defeitos em estruturas de bueiros, como se vê no exemplo Nº 144.

**ESQUEMA:**



**CAUSA :** Execução não simétrica do aterro. A conseqüência é a deformação excessiva das estacas devida ao empuxo horizontal na camada de argila mole. O empuxo horizontal é devido ao escoamento horizontal da argila mole, que está sujeita a uma grande pressão vertical em apenas um lado do bueiro. Ver Aoki [123].

Na realidade formaram-se rótulas plásticas nas estacas de trilho mal dimensionadas.

**SOLUÇÃO:** A execução do aterro foi interrompida quando o bueiro inclinou transversalmente.

O aterro foi retirado. Novas estacas foram incorporadas ao bloco. O bloco foi re-nivelado. O aterro foi refeito de modo simétrico.

**COMENTÁRIO:** A carga horizontal na estaca pode ser estimada por vários métodos, entre os quais :

**1 - Método de Tschebotarioff**, [122]. A pressão horizontal máxima sobre a estaca, no centro da camada de argila mole, vale:

$$p_H = 0,4 \times \gamma_{aterro} \times H \times b_{estaca} \quad \text{onde :}$$

$p_H$  ( kN / m ) = carga horizontal da argila sobre a estaca no centro da camada de argila mole.

$\gamma_{aterro}$  ( kN/m<sup>3</sup> ) = peso específico do aterro

$H$  ( m ) = diferença de altura do aterro

$b_{estaca}$  ( m ) = largura da estaca

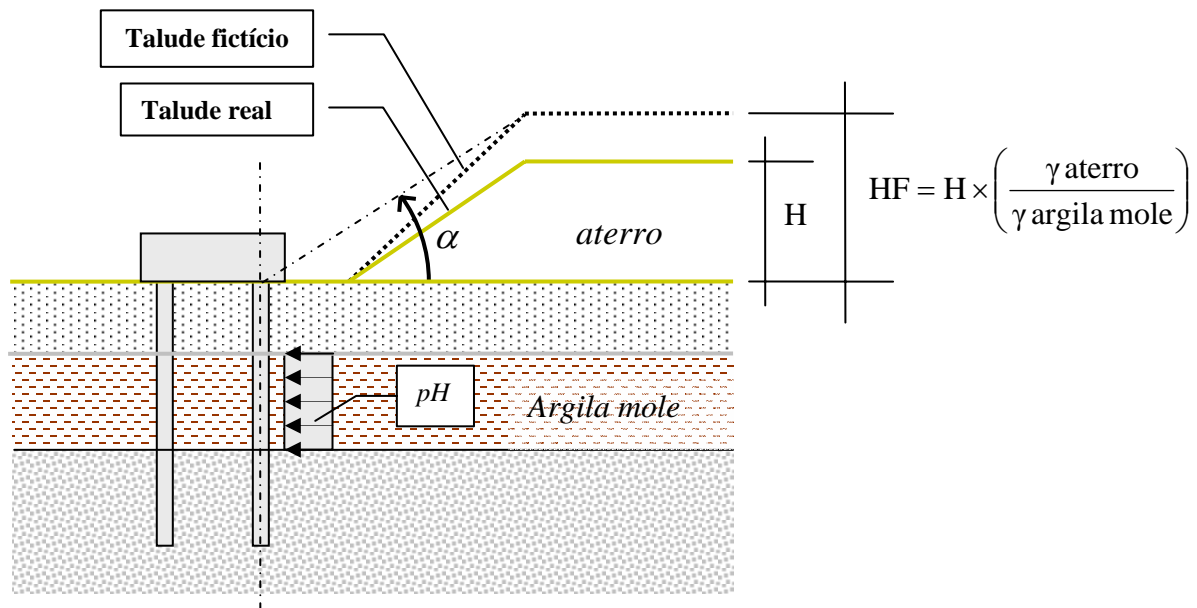
Medições feitas por Heyman (1965), mostram que o método de Tschebotariof conduz a esforços menores do que os esforços medidos.

**EXEMPLO Nº 145 ( continuação )**

**ESTRUTURA:** Bueiro em concreto armado.

**DEFORMAÇÃO:** Inclinação lateral do bueiro.

**ESQUEMA:** Beer & Wallays [124].



**2 - Método de Beer & Wallays** , [123] , a pressão horizontal da argila mole sobre a estaca vale :

$$pH = f \times \gamma_{aterro} \times H \times b_{estaca} \quad \text{onde :}$$

$pH$  ( kN/m ) = carga horizontal da argila sobre a estaca, constante ao longo de toda a camada de argila mole.

$\gamma_{aterro}$  ( kN/m<sup>3</sup> ) = peso específico do aterro

$H$  ( m ) = diferença de altura do aterro

$b_{estaca}$  ( m ) = largura da estaca

$\gamma_{argila\ mole}$  ( kN/m<sup>3</sup> ) = peso específico da argila mole

$$HF = H \times \left( \frac{\gamma_{aterro}}{\gamma_{argila\ mole}} \right)$$

$$f = \frac{\alpha - \left( \frac{\varphi}{2} \right)}{\left( \frac{\pi}{2} \right) - \left( \frac{\varphi}{2} \right)} \dots \quad \text{onde :}$$

$\alpha$  = ângulo de um talude fictício definido pela inclinação da linha que liga o topo da estaca com o topo do talude fictício. Ver a figura acima.

$\varphi$  = ângulo aparente de atrito da argila mole.

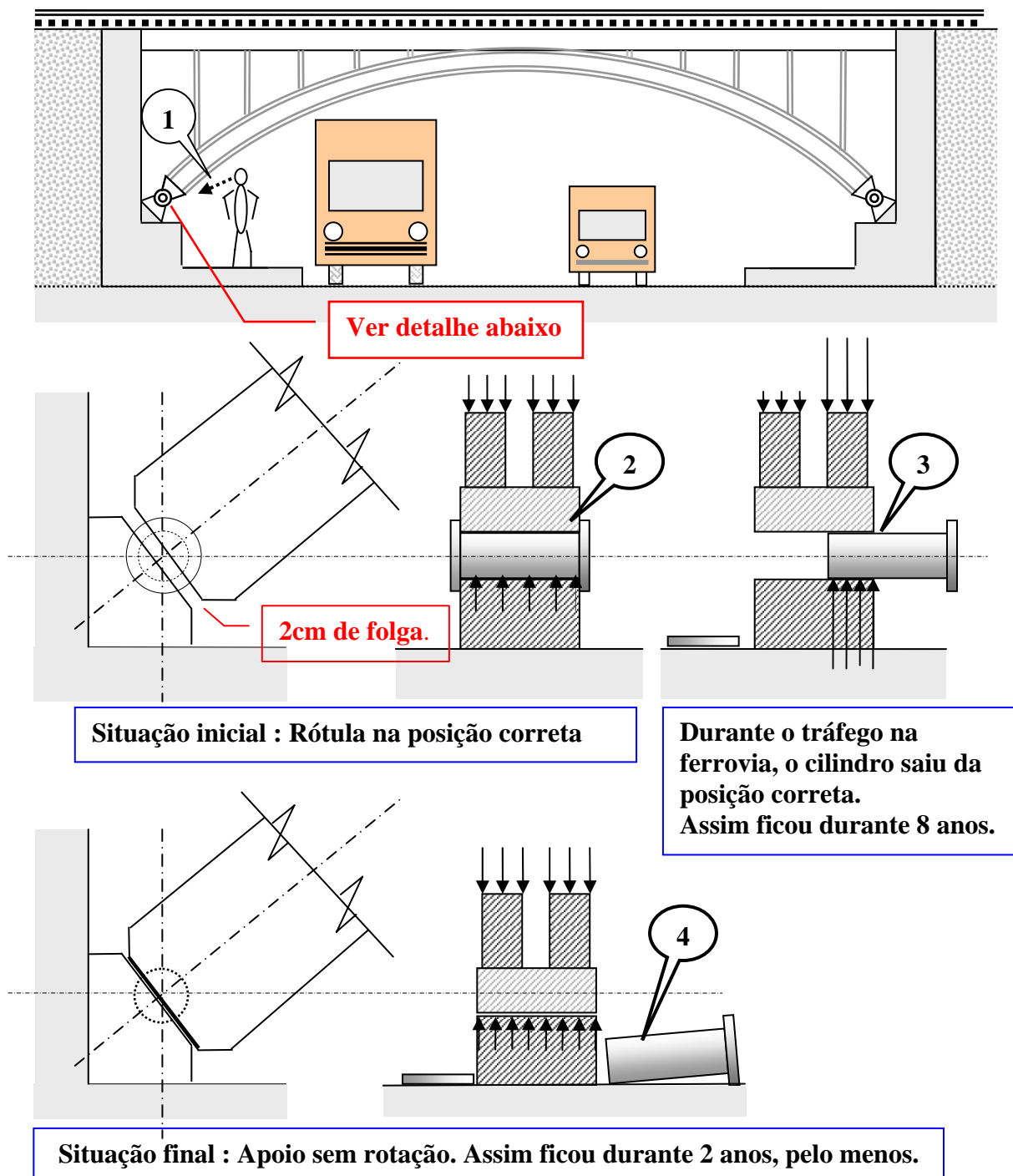
Medições feitas por Heyman (1965), mostram que o método de **Beer & Wallays** conduz a esforços maiores do que os esforços medidos.

**EXEMPLO Nº 146**

**ESTRUTURA :** Viaduto ferroviário com estrutura em arco bi-rotulado de aço.

**FALHA ESTRUTURAL :** Cilindro de aço, do apoio, fora do lugar .

**ESQUEMA :**



**OBSERVAÇÃO :**

- Posição 1 na figura : A visão do aparelho de apoio era fácil para qualquer pedestre.
- Posição 2 : Durante algum tempo o cilindro ficou na posição correta.
- Posição 3 : Depois de alguns anos o cilindro se deslocou lateralmente. Durante 8 anos (!), pelo menos, o cilindro de aço ficou apenas na metade da barra de aço do arco.
- Posição 4 : A manutenção, no entanto, não foi feita e o cilindro soltou-se totalmente do aparelho de apoio. O arco metálico cedeu cerca de 2cm, que era a folga existente entre os dois batentes do aparelho de apoio. Assim ficou por mais alguns anos, até que fosse trocada a estrutura de aço.

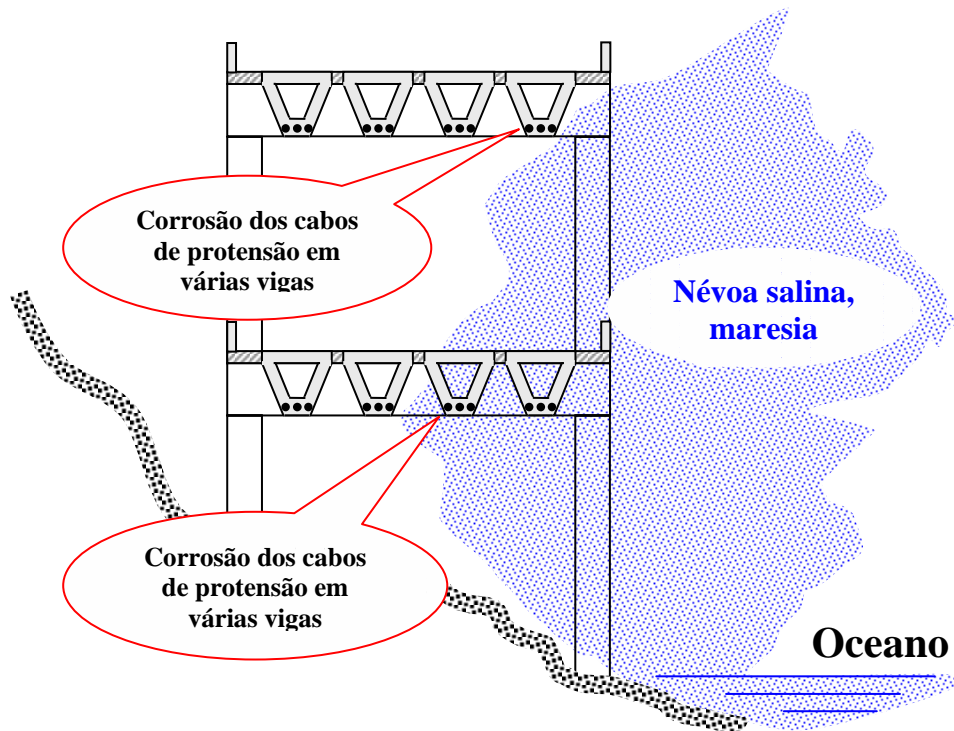
**COMENTÁRIO :** Nas 3 obras iguais, existentes no mesmo trecho da ferrovia, existiam 36 apoios com rolos, sem qualquer defeito. A falha pode ter ocorrido durante a fabricação do rolo. A manutenção inexistente permitiu que a falha se mantivesse por 10 (dez) anos, pelo menos, pondo em risco a vida dos passageiros dos trens e dos pedestres.

**EXEMPLO Nº 147 :** Ver também o Exemplo Nº 61.

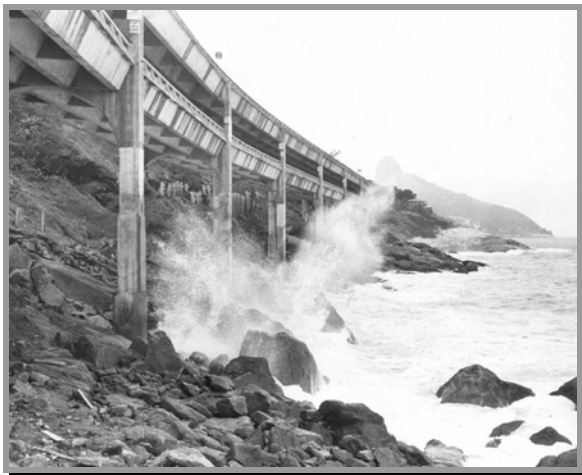
**ESTRUTURA :** Viaduto rodoviário com vigas pré-moldados de concreto protendido.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras longitudinais nas faces inferiores e laterais das vigas pré-moldadas. Ver [128 ]

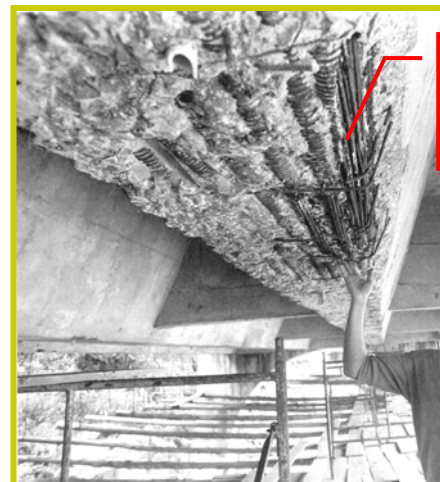
**ESQUEMA:**



**CAUSA DAS FISSURAS :** Corrosão das bainhas e dos cabos de protensão . A corrosão ocorre por causa da penetração de sulfatos e cloretos na camada superficial de concreto. Os cloretos atacam as armadura e bainhas, abrindo o caminho para a corrosão do aço pelo oxigênio do ar.



O mar batendo nas pedras molha a estrutura com água contendo cloretos e sulfatos. A névoa salina mantém a estrutura permanentemente em um ambiente agressivo.



**Cabos de protensão corroídos**

Viga após a retirada do concreto rompido pela expansão do aço corroído.

**SOLUÇÃO:** Nessa obra foi feito um reforço com cabos externos de protensão.

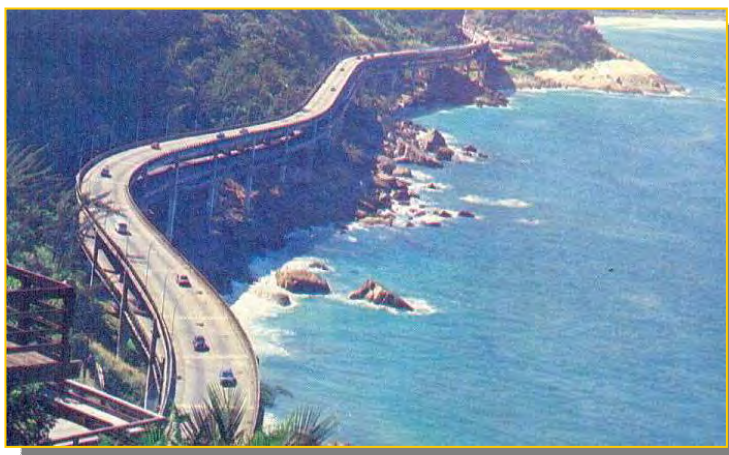
**OBSERVAÇÃO:** Em obras junto à orla marítima, sugiro fazer uma hipótese de cálculo desprezando todo o concreto do “cobrimento”, tanto nas vigas e lajes como nos pilares.

Isso se justifica pelo fato de que as providências para a manutenção e recuperação das estruturas só são tomadas após o rompimento do concreto de “cobrimento”. Até então, a estrutura funciona com uma segurança reduzida, em especial os pilares.

**EXEMPLO Nº 148 :**

**ESTRUTURA :** Obras de concreto armado ou de concreto protendido, junto ao mar .

**FISSURAÇÃO :** Fissuras acompanhando as armaduras. Queda do concreto de cobrimento.  
Durabilidade reduzida.



**CAUSA :** Corrosão das armaduras e conseqüente “rompimento” do cobrimento de concreto.

A corrosão ocorre por causa da penetração de sulfatos e cloretos na camada superficial de concreto. Os cloretos atacam as armaduras e as bainhas, abrindo o caminho para a corrosão do aço pelo oxigênio do ar.

A penetração dos íons agressivos é tanto maior quanto maior a porosidade e a permeabilidade do concreto.

**SUGESTÃO:** Aumentar a durabilidade reduzindo a porosidade e a permeabilidade.

A durabilidade não é uma propriedade do material concreto. A durabilidade de uma obra de concreto é obtida por meio de várias medidas práticas, entre as quais:

1. Escolha correta dos materiais: tipo de cimento, micro-sílica, cinza volante, pedra, areia, superplastificante, outros aditivos e outras adições.
2. Proporções corretas entre os diversos materiais.
3. Mistura do concreto, bem feita e completa. Usar betoneiras de mistura forçada.
4. Transporte correto do concreto, e dentro do tempo limite.
5. Lançamento adequado do concreto. Ver exemplo Nº149.
6. Juntas de concretagem em locais adequados da estrutura. Ver exemplo Nº149.
7. Adensamento e Vibração do concreto, limitada ao tempo certo e com as posições corretas do vibrador. Ver exemplo Nº149.
8. Cura do concreto durante todo o tempo necessário à boa hidratação do cimento , pelo menos 14 dias.
9. A principal causa de corrosão das armaduras é um concreto com baixa permeabilidade.
10. A melhor defesa contra o ingresso de íons agressivos, cloretos e sulfatos, é usar um concreto “impermeável”.
11. As fissuras devem ser evitadas. Usar cinzas volantes para reduzir o calor de hidratação e a conseqüente elevação da temperatura do concreto logo após a mistura. O esfriamento posterior pode conduzir a muitas micro-fissuras.
12. Garantir um Cobrimento mínimo de 5cm para qualquer barra da armadura e cobrimento de 10cm para as bainhas dos cabos de protensão.
13. Usar Cordoalhas com graxa e revestidas com PEAD (Polietileno de alta densidade)
14. Testar a permeabilidade do concreto fazendo o ensaio de Penetração de água no concreto. Seguir para isso a Norma NBR 10787/94 : “Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão.”



**EXEMPLO Nº 148 : CONTINUAÇÃO**  
**SUGESTÃO PARA MELHORAR A DURABILIDADE DA OBRA:**

**Usar um Concreto com Boa Qualidade, que pode ser muito Durável.**

W. Langley [127]

<b>Materiais</b>	<b>Teor</b>
Cimento com baixo teor de álcalis O teor do C3A do cimento deve ficar entre 6% e 10%. Obs: $C3A = 3(CaO).Al_2O_3$	400 kg/m <sup>3</sup>
Microsílica	30 kg/m <sup>3</sup>
Cinzas Volantes com baixo teor de cálcio	45 kg/m <sup>3</sup>
Pedra : 10mm a 20mm Obs: Não usar agregado calcário	565 kg /m <sup>3</sup>
Pedra : 5mm a 10mm Obs: Não usar agregado calcário	465 kg/m <sup>3</sup>
Areia	705 kg/m <sup>3</sup>
Água	145 litros/m <sup>3</sup>
Água / ( Cimento + Microsílica)	0,34
Água / ( Cimento + Microsílica + Cinza Volante)	0,31
Redutor de água	1,8 litros / m <sup>3</sup>
Superplastificante	3,2 litros / m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>2360 kg / m<sup>3</sup></b>
<b>Concreto</b>	<b>Desempenho</b>
Abatimento ( Slump) antes da adição do superplastificante	40 mm
Abatimento ( Slump) depois da adição do superplastificante	200 mm
Profundidade de penetração da água segundo o ensaio da Norma Brasileira NBR 10787/94, equivalente ao ensaio DIN 1048	Máx. 20mm
Percolação de cloretos segundo o ensaio ASTM C1202. Esse ensaio mede a carga elétrica <b>Q</b> , que atravessa um corpo de prova	<b>Q</b> < 1000 Coulombs Idade do concreto no dia do ensaio = 91 dias. Medido: 155 Coulombs
Cobrimento das armaduras CA50	5cm
Cobrimento das bainhas dos cabos de protensão	10 cm
Resistência média à compressão a 3 dias , 7 dias, 28dias	52 MPa, 62MPa, 82MPa
Módulo de elasticidade a 28 dias e a 91 dias	40 GPa , 41 GPa
Difusibilidade	5,8 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /seg.

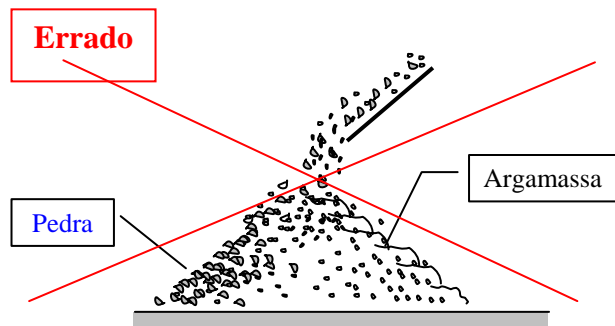
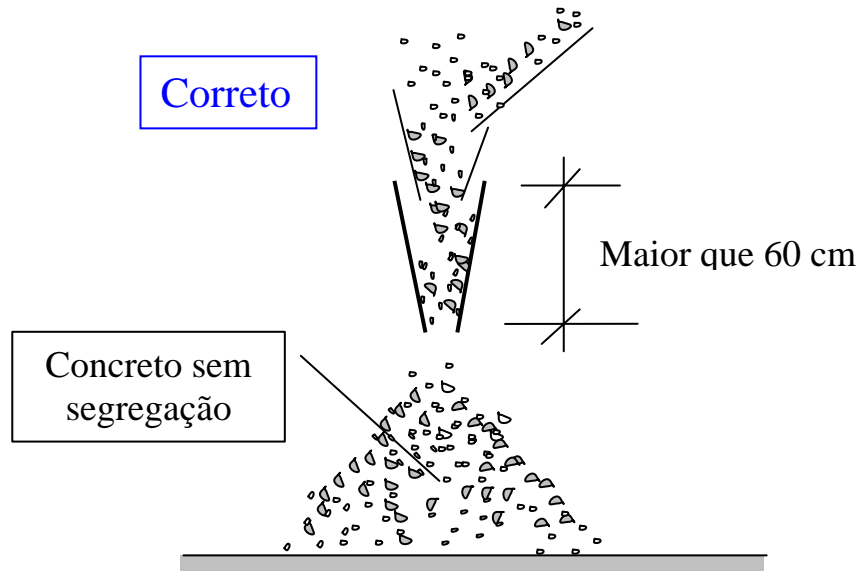
**EXEMPLO Nº 149 :**

**ESTRUTURA :** Obras de concreto armado ou de concreto protendido .

**FISSURAÇÃO :** Fissuras acompanhando as armaduras. Queda do concreto de cobrimento.  
Durabilidade reduzida.

**SUGESTÕES PARA MELHORAR A QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA OBRA :**

## Lançamento correto do concreto em Lajes



Segregação das pedras do Concreto



Exemplo : Segregação da mistura seca de um concreto

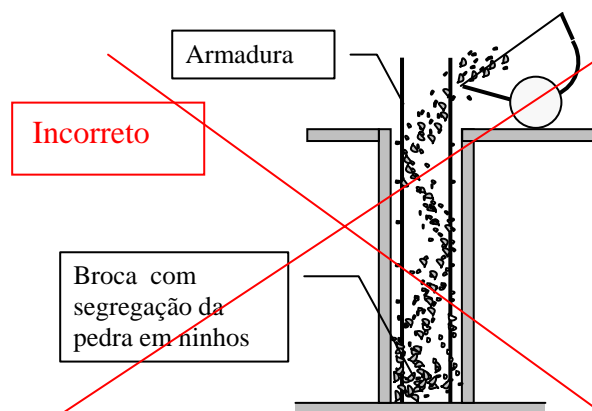
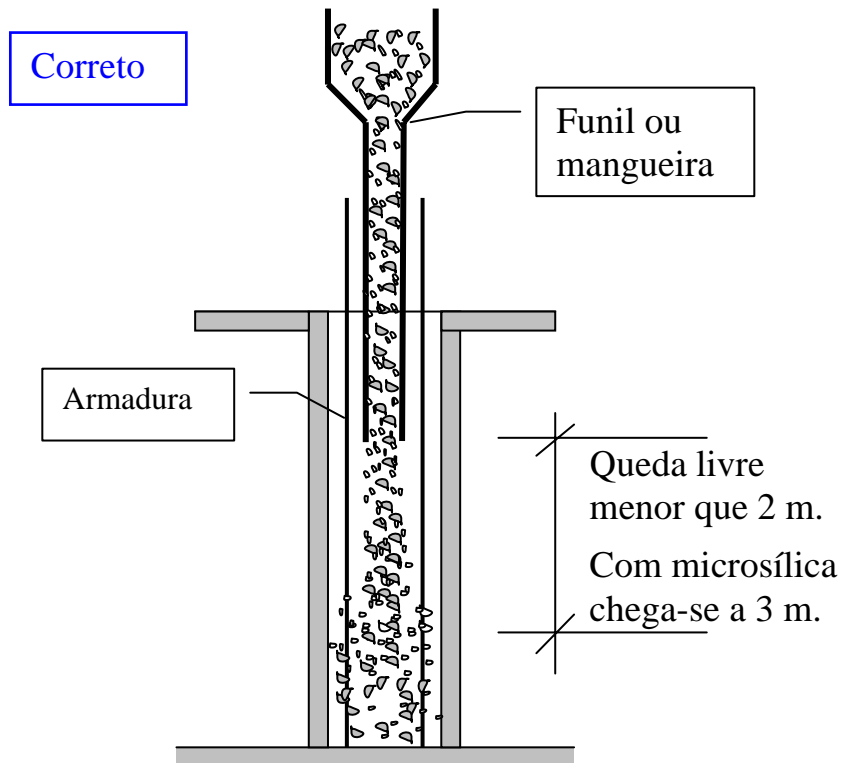
**EXEMPLO Nº 149 : CONTINUAÇÃO**

**ESTRUTURA :** Obras de concreto armado ou de concreto protendido .

**FISSURAÇÃO :** Fissuras acompanhando as armaduras. Queda do concreto de cobrimento.  
Durabilidade reduzida.

**SUGESTÕES PARA MELHORAR A QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA OBRA :**

## Lançamento correto do concreto em Pilares



**EXEMPLO Nº 149 : CONTINUAÇÃO**

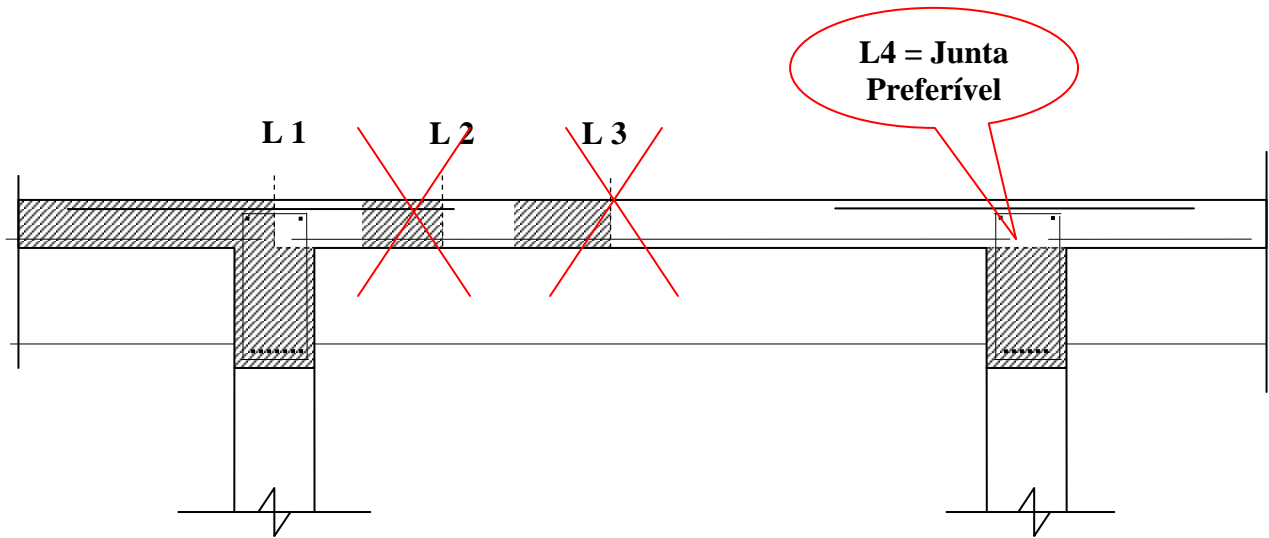
**ESTRUTURA :** Obras de concreto armado ou de concreto protendido .

**FISSURAÇÃO :** Fissuras acompanhando as armaduras e queda do concreto de cobrimento.

Durabilidade reduzida.

**SUGESTÕES PARA MELHORAR A QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA OBRA :**

**Juntas de concretagem nas lajes.**



- As juntas de concretagem nas lajes devem ser definidas antes do início dos trabalhos de concretagem

Juntas de concretagem nas lajes		
Junta tipo	Eficiência estrutural	Execução
L1	Boa	Difícil
L2	Discutível	Difícil
L3	Discutível	Difícil
L4	Boa	Fácil

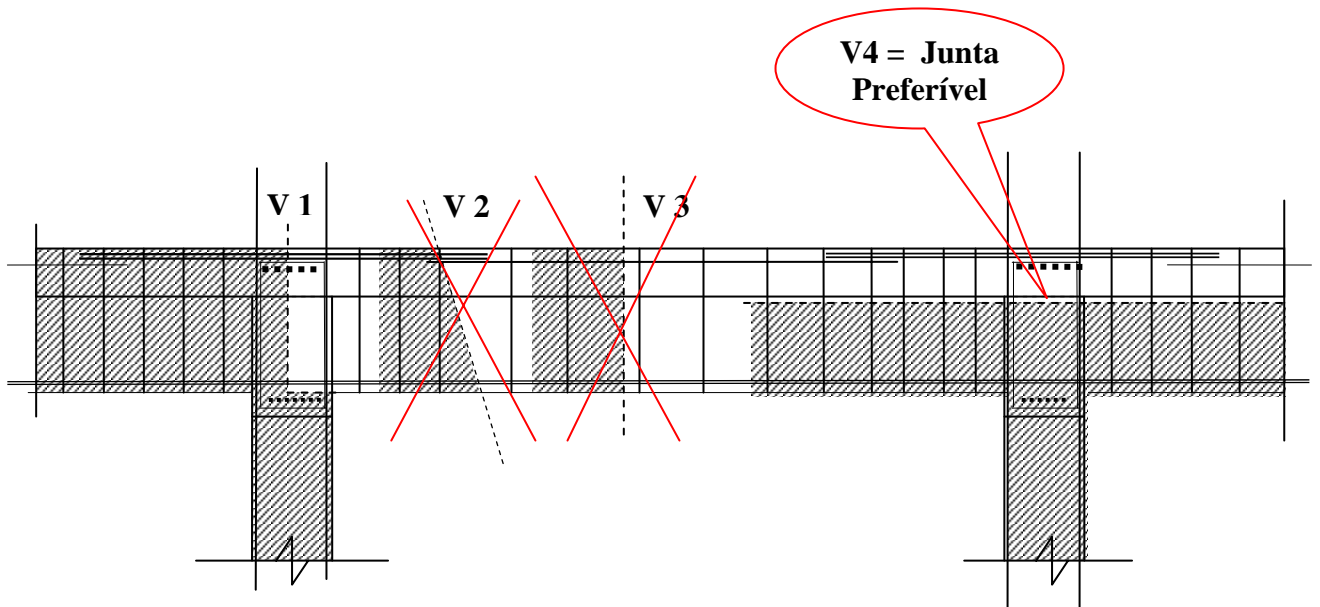
**EXEMPLO Nº 149 : CONTINUAÇÃO**

**ESTRUTURA :** Obras de concreto armado ou de concreto protendido .

**FISSURAÇÃO :** Fissuras acompanhando as armaduras e queda do concreto de cobrimento.  
Durabilidade reduzida.

**SUGESTÕES PARA MELHORAR A QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA OBRA :**

**Juntas de Concretagem nas Vigas.**



- As juntas de concretagem nas vigas devem ser definidas antes do início dos trabalhos de concretagem

Juntas de concretagem nas vigas		
Junta tipo	Eficiência estrutural	Execução
V 1	<b>Boa</b>	Difícil
V 2	Discutível	Difícil
V 3	Discutível	Difícil
V 4	<b>Boa</b>	<b>Fácil</b>

## EXEMPLO Nº 149 : CONTINUAÇÃO

**ESTRUTURA :** Obras de concreto armado ou de concreto protendido .

**FISSURAÇÃO :** Fissuras acompanhando as armaduras e queda do concreto de cobrimento.  
Durabilidade reduzida.

**SUGESTÕES PARA MELHORAR A QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA OBRA :**

### Vibração adequada do concreto

#### 1- Concreto em geral, com abatimento ( “Slump” ) < 100mm

Paredes, Pilares, Vigas...

Diâmetro do vibrador ..... 5 a 9 cm

Frequência do vibrador ... 8 000 a 12 000 r.p.m; ( 130 Hz a 200 Hz)

Amplitude da vibração .... 0,6 mm a 1,3 mm

Diâmetro de influência do vibrador ... 40 a 70 cm

Tempo de vibração : 5 a 20 segundos

#### 2- Concreto plástico, com abatimento ( “Slump” ) > 100mm

Paredes finas , lajes finas, juntas de construção, áreas com muita armadura :

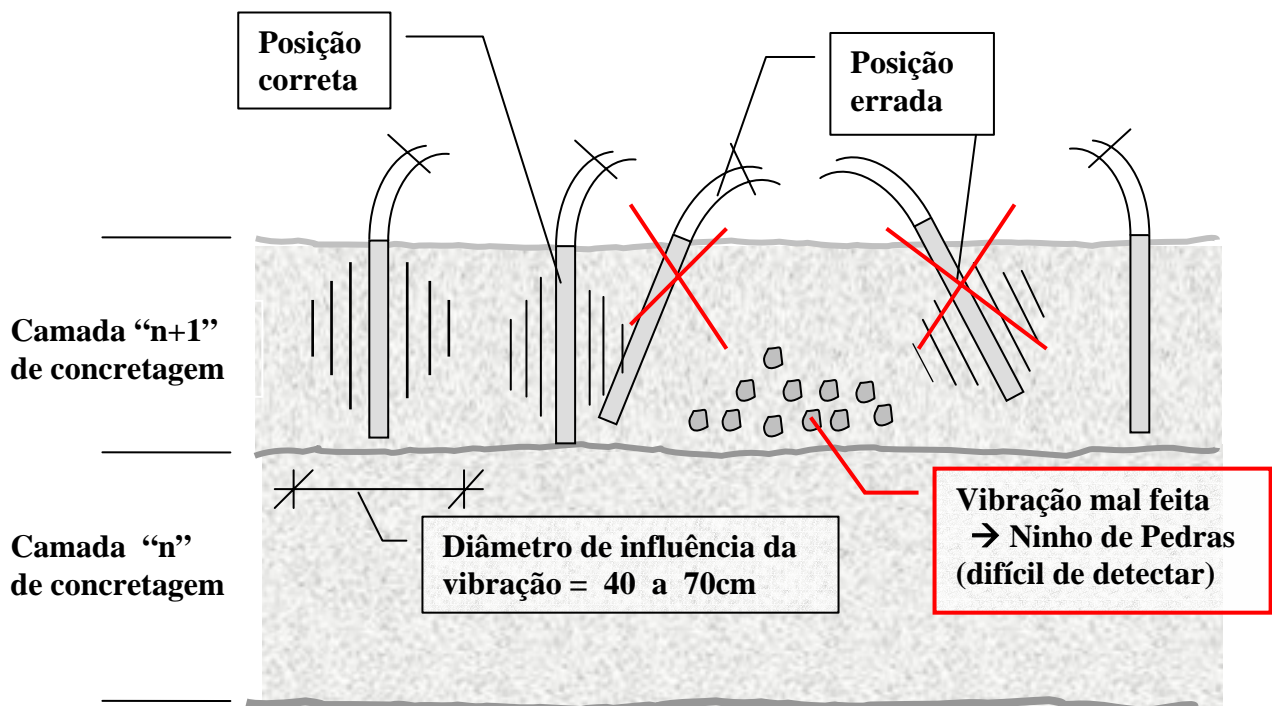
Diâmetro do vibrador ..... 3 a 6 cm

Frequência do vibrador ... 9 000 a 13 500 r.p.m; ( 150 Hz a 225 Hz)

Amplitude da vibração .... 0,5mm a 1,0 mm

Diâmetro de influência do vibrador ... 25 a 50 cm

Tempo de vibração : 5 a 20 segundos



**EXEMPLO N° 150 :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido.

**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto

Materiais para preenchimento de fissuras no concreto: *B. Hillemeier* [118]

- **Resina epóxi RE:**

- Utilizada para ligação rígida e muito resistente aos esforços mecânicos.
- Deve ser bastante fluida para permitir a injeção. Para isso a viscosidade deve ser de 150 a 400 (mPa.s) na temperatura de 23°C.
- Deve ser insensível à umidade.
- Após a injeção, a ligação entre as bordas da fissura é rígida.
- A tensão de aderência ao concreto é maior que a resistência à tração do concreto.
- Se tornar a ocorrer uma nova fissura, ela ocorrerá no concreto e não na resina epóxi.
- Não deve ser usada se, posteriormente, a temperatura da estrutura puder atingir 80°C.

- **Poliuretano PUR e Espuma de Poliuretano PUR. ESP.**

- Utilizado para fechamento elástico e vedação de fissuras secas, de fissuras úmidas ou de fissuras com água percolando.
- Caso haja água percolando, sob pressão, deve ser usado inicialmente uma espuma de Poliuretano PUR. ESP., de pega rápida para parar o fluxo da água.
- Poliuretanos flexíveis são alongáveis e compressíveis e são os únicos materiais recomendáveis para preencher e vedar fissuras com abertura variável ao longo do tempo.
- O alongamento admissível do poliuretano diminui com o aumento da espessura do filme de poliuretano. Esse alongamento admissível deve ser testado.

- **Nata de cimento NC e Suspensão de cimento SC .**

Injeções de cimento são compostas de água e cimento.

Existem 2 tipos dessa mistura “cimento + água”, para injetar na fissura.

- “**Nata de cimento**” NC é feita com o cimento comum, com tamanhos de grão até 100 micrômetros (100µm). Se diferencia de “Suspensão de cimento” pela finura do cimento.
- “**Suspensão de cimento**” SC é feita com os grãos mais finos do cimento, com uma superfície específica de 16000 cm<sup>2</sup>/grama. A quantidade dos grãos mais finos de cimento, com < 16 micrômetros (16µm), é de 95%. “Suspensões de cimento” são adequadas para injetar fissuras com abertura . w ≥ 0,2 mm .
- 

- **Requisitos para os materiais de preenchimento:**

- Viscosidade adequada ao preenchimento
- Boa trabalhabilidade dentro dos limites exigidos para o preenchimento
- Estabilidade da mistura dos componentes
- Pequena retração volumétrica devida às reações da mistura.
- Boa aderência ao concreto
- Boa resistência
- Os componentes devem ser muito bem misturados, com aparelhagem adequada, para que não sedimentem ou se separem dentro da fissura.

**EXEMPLO Nº 150 ( CONTINUAÇÃO ) :**

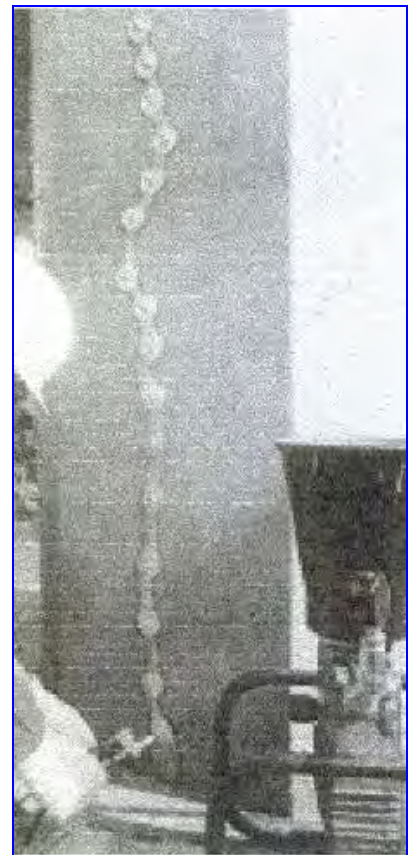
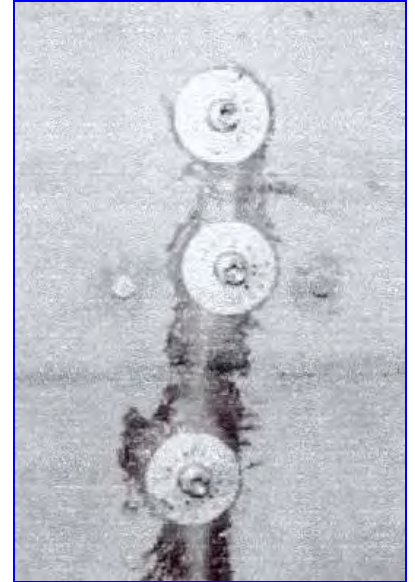
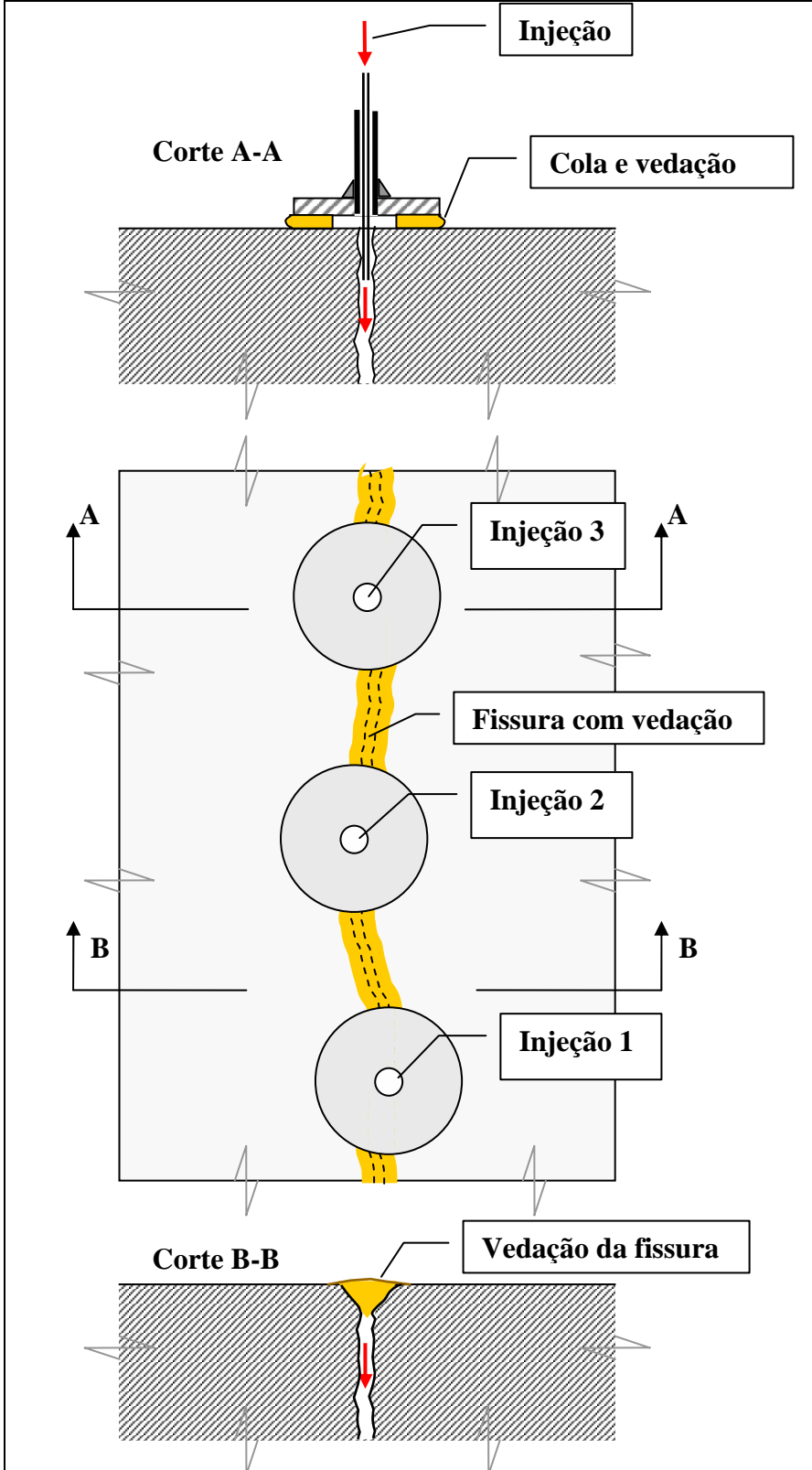
**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido

**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto.

**Preenchimento de fissuras – Injeção feita diretamente na fissura.**

*Em fissura com pequena abertura fazer furos com broca.*

*Em fissura com grande abertura não são necessários furos com broca.*



*Injetar de baixo para cima.*

*Bauberatung Zement [120]*



**EXEMPLO Nº 150 ( CONTINUAÇÃO ) :**

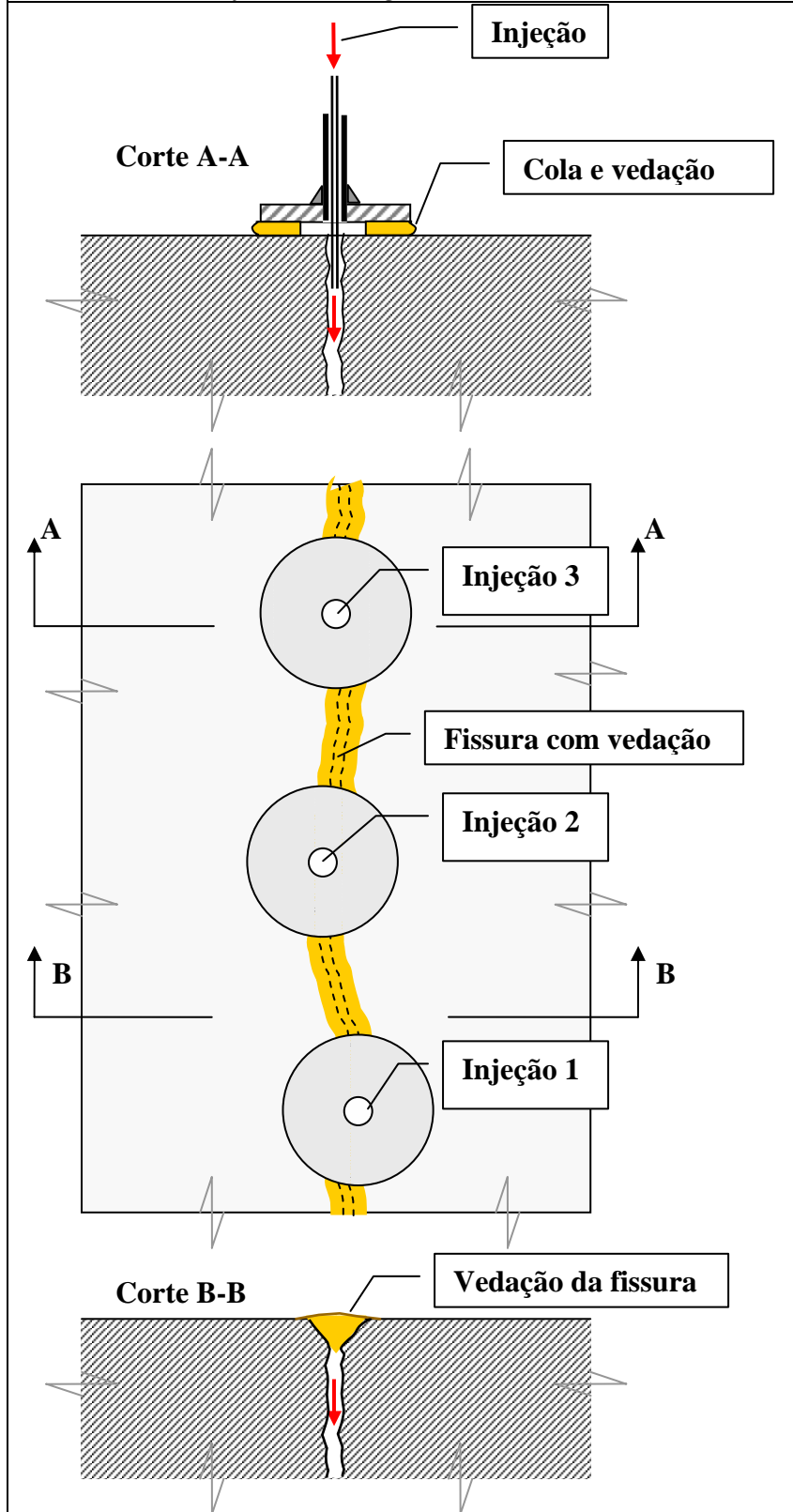
**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido

**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto.

**Preenchimento de fissuras – Injeção feita diretamente na fissura**

*Em fissura com pequena abertura fazer furos com broca.*

*Em fissura com grande abertura não são necessários furos com broca.*



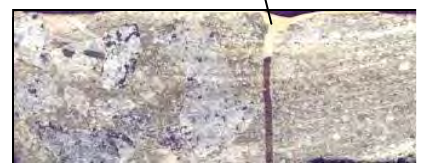
- Sempre deve ser usado um purgador (suspiro), para permitir a saída de ar e para facilitar o fluxo do material de pré-enchimento.
- O espaçamento entre os furos deve ser :
  - Para injeção por um só lado: 90% da espessura da peça.
  - Para injeção pelos 2 lados: 50% da espessura da peça.

**Injeção**



- Fissura com abertura de 1mm, preenchida com injeção de resina epoxídica.
- Furo de 14mm feito sobre a fissura para facilitar a injeção.

**Vedação**

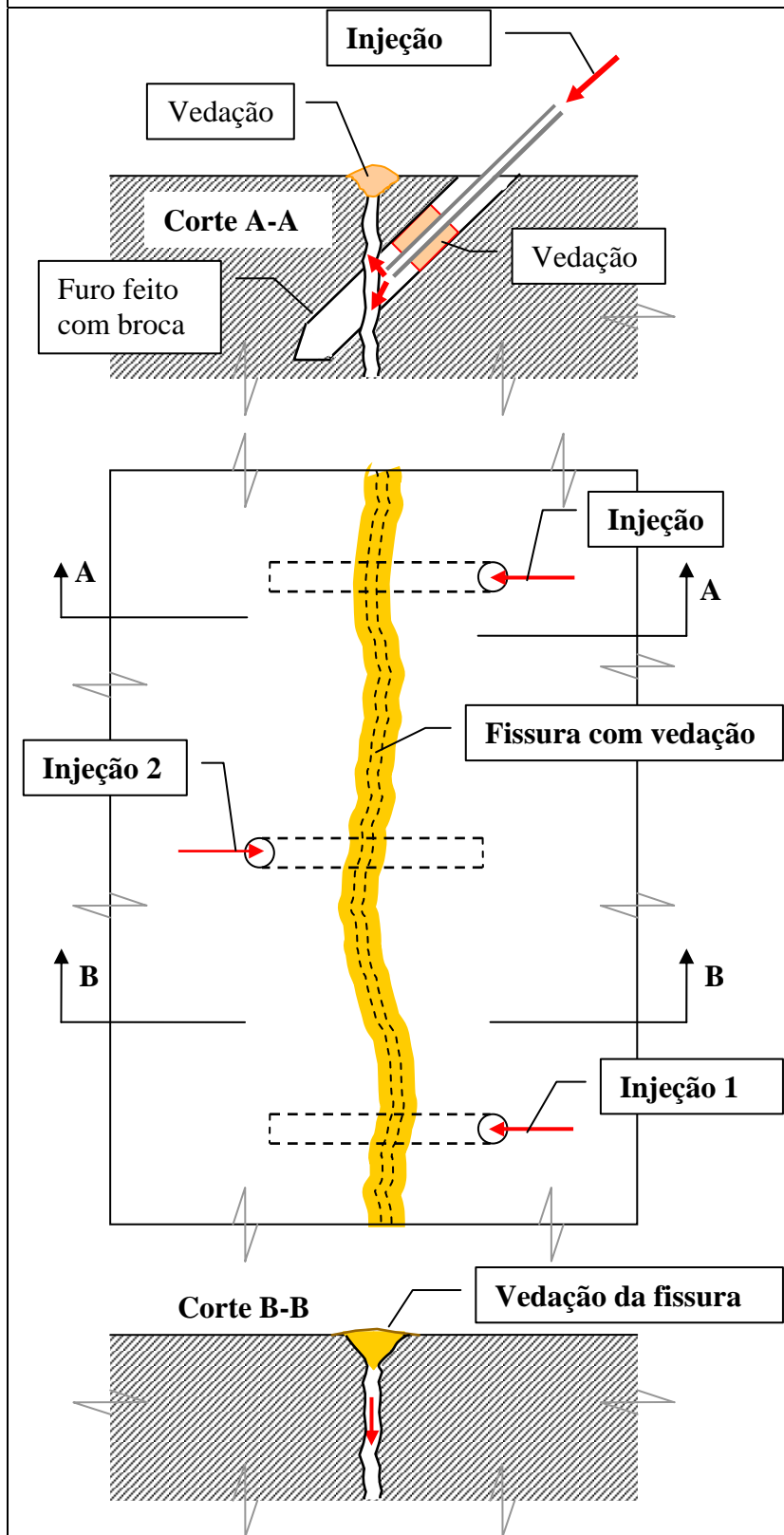


**EXEMPLO Nº 150 ( CONTINUAÇÃO ) :**

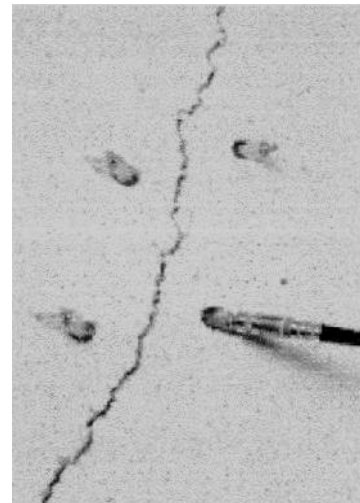
**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido

**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto.

**Preenchimento de fissuras – Injeção através de furos feitos com brocas**



- Esse tipo de injeção é recomendado quando existirem poucas fissuras e a injeção for feita com alta pressão.
- A pressão de injeção deve ser menor que  $(1/3) \cdot f_{ck}$ .  
A pressão usual de injeção é de 0,5 a 1,0 MPa (5 a 10 atm)
- Sempre deve ser usado um purgador (suspiro), para permitir a saída do ar e para facilitar o fluxo do material de pré-enchimento.
- O espaçamento entre os furos deve ser :
  - Para injeção por um só lado: 50% da espessura da peça.
  - Para injeção pelos 2 lados: 25% da espessura da peça.



*Bauberatung Zement [120]*

**EXEMPLO Nº 150 ( CONTINUAÇÃO ) :****TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto.

Preenchimento de fissuras-Escolha do material e do método de preenchimento [119] - DafStB

**Siglas usadas :****RE** = Resina epoxídica.E = 200 a 450 kgf/mm<sup>2</sup>, ver Mano [121] $\varepsilon_u = 4 \%$  $\eta = \text{viscosidade} = 150 \text{ a } 300 \text{ cP (centiPoise)}$ **PUR** = Poliuretano. Tem baixo módulo de elasticidade e grande alongamento de ruptura.E = 10 kgf/mm<sup>2</sup>, ver Mano [121]. $\varepsilon_u = 400 \%$  a 650 % $\eta = \text{viscosidade} = 150 \text{ a } 300 \text{ cP (centiPoise)}$ **PUR.ESP.RAP.** = Poliuretano; Espuma de pega rápida.**NC** = Nata de cimento ( água + cimento).**SC** = Solução de cimento ( água + cimento com grãos finos <16 $\mu$ m).**IMP** = Impregnação. (sem pressão)**INJ** = Injeção. (com pressão)Exemplo : **RE- INJ** = Injeção de resina epóxi

	Situação da umidade da fissura a ser preechida			
	Seca (1)	Úmida	Água percolando, sem pressão	Água percolando, com pressão (2)
Objetivo do preenchimento da fissura	Métodos de preenchimento a utilizar			
Preencher por impregnação	RE-IMP NC-IMP SC-IMP	NC-IMP SC-IMP	Não se aplica	Não se aplica
Preencher e vedar por injeção	RE-INJ PUR-INJ NC-INJ SC-INJ	PUR-INJ NC-INJ SC-INJ	PUR-INJ NC-INJ SC-INJ	PUR.ESP.RAP. PUR-INJ NC-INJ SC-INJ
Preencher com material elástico	PUR-INJ.	PUR-INJ.	PUR-INJ.	PUR-INJ.
Preencher com material resistente a esforços	RE-INJ NC-INJ SC-INJ	NC-INJ SC-INJ	NC-INJ SC-INJ	NC-INJ SC-INJ

(1) Em alguns casos, os bordos e as faces laterais das fissuras precisam ser umedecidos antes de uma injeção.

(2) Além de medidas para reduzir a pressão da água, como “perfurações para alívio”, também devem ser usadas injeções de espuma de PUR com pega rápida ( PUR.ESP.RAP ). Essa injeção deve ser feita na face em contacto com a água com pressão.

**EXEMPLO Nº 150 ( CONTINUAÇÃO ) :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido

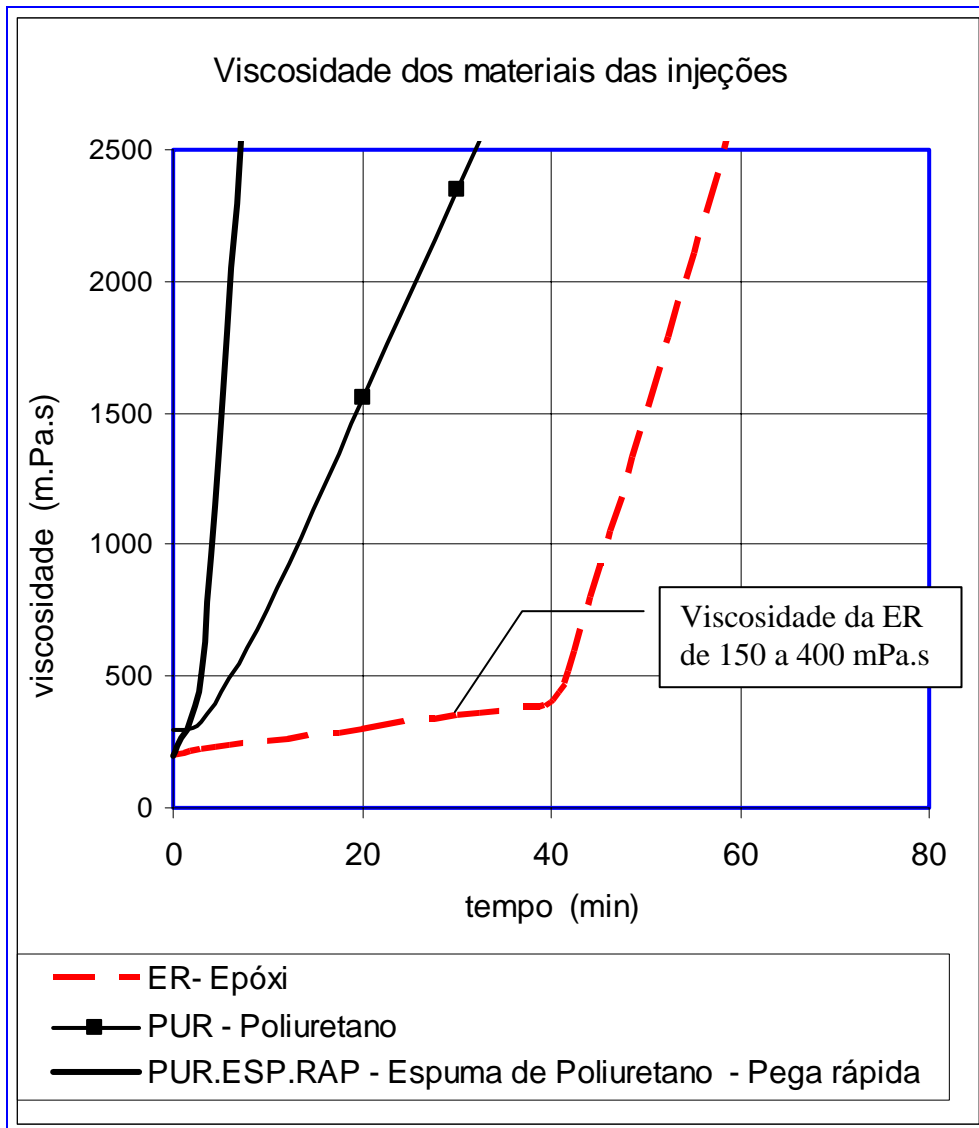
**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto.

Preenchimento das fissuras – Escolha do material e do método de preenchimento <i>B. Hillemeier [118]</i>						
	Condições para uso dos materiais					
Material para o preenchimento		RE <i>Resina epoxídica.</i>	PUR <i>Poliuretano</i>	NC <i>Nata de Cimento</i>	SC <i>Suspensão de Cimento, só com grãos finos <math>\leq 16\mu\text{m}</math></i>	
Método de preenchimento	<i>Impregnação, sem pressão</i>	<i>Injeção sob pressão</i>	<i>Injeção sob pressão</i>	<i>Injeção sob pressão</i>	<i>Injeção sob pressão</i>	
Tipo de fissura	<i>Fissura Superficial</i>	<i>Fissura Superficial</i>	Não se aplica	Não se aplica	<i>Fissura Superficial</i>	
	<i>Fissura de separação, através da espessura da peça.</i>	<i>Fissura de separação, através da espessura da peça.</i>	<i>Fissura de separação, através da espessura da peça.</i>	<i>Fissura de separação, através da espessura da peça.</i>	<i>Fissura de separação, através da espessura da peça.</i>	
Formato da fissura	<i>Qualquer formato de fissura</i>					
Largura da fissura	<b>qualquer</b>	$\geq 0,1 \text{ mm}$	$\geq 0,3 \text{ mm}$	$\geq 0,8 \text{ mm}$	$\geq 0,2 \text{ mm}$	
Movimento da bordas da fissura durante a injeção	rápido	Nenhum movimento é permitido	Se $\Delta w \leq 0,1 w$ $\Delta w \leq 0,03 \text{ mm}$	Se $w \geq 0,3 \text{ mm}$ $\Delta w \leq 0,05 w (*)$	Não é permitido qualquer movimento durante a injeção e nem durante a fase de endurecimento da “nata de cimento”.	Não é permitido qualquer movimento durante a injeção e nem durante a fase de endurecimento da “suspensão de cimento”.
	diário	Nenhum movimento é permitido	Dependente do desenvolvimento o da resistência da resina RE	Se $w \geq 0,5 \text{ mm}$ $\Delta w \leq 0,10 w (*)$		
	lento	Nenhum movimento é permitido	qualquer	Em estrutura a temperaturas de cerca de 15 °C		
	Nenhum	Condição ideal	Condição ideal	Condição ideal		
Causa da fissuração	Conhecida	Conhecida e não tornará a ocorrer	<b>Conhecida, poderá tornar a ocorrer.</b>	Conhecida e não tornará a ocorrer.	Conhecida e não tornará a ocorrer.	
Condição da fissura e das bordas da fissura, antes do preenchimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seca ou</li> <li>• Úmida ou</li> <li>• Gotejando, i.e., deixando passar água sob pressão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seca ou</li> <li>• Úmida ou</li> <li>• Gotejando, i.e., deixando passar água sob pressão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seca ou</li> <li>• Úmida ou</li> <li>• Gotejando, i.e., deixando passar água sob pressão.</li> </ul>	
Providências anteriores.	Nenhuma condição	Sem nenhum preenchimento anterior	Possível repetir o preenchimento	Nenhum preenchimento anterior com resina. É possível repetir o preenchimento com cimento.	Nenhum preenchimento anterior com resina. É possível repetir o preenchimento com cimento.	
( * ) Capacidade de alongamento do material de preenchimento quando endurecido						

**EXEMPLO Nº 150 ( CONTINUAÇÃO):**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Estrutura de concreto armado ou de concreto protendido

**INJEÇÃO EM FISSURAS :** Materiais para Injeção de fissuras no concreto.



- *Resinas de Epóxi ( ER )* têm 2 componentes, não têm solventes, endurecem a frio e têm baixa viscosidade.  
Para que haja uma boa penetração na trinca, essas resinas devem ter baixa viscosidade e devem endurecer lentamente.  
Como mostrado na figura acima, a viscosidade ideal é de a 150 mPa.s a 400 mPa.s.  
Obs: 1- Unidade de viscosidade: 1mPa.s (mili.Pascal.segundo) = 1 CPS = centi.Poise  
2- Viscosidade da água a 20°C = 1 CPS = 1mPa.s
- *Resinas de Poliuretano (PUR)* têm 2 componentes, não têm solventes, endurecem a frio e têm baixa viscosidade inicial. A viscosidade cresce rapidamente como se pode observar na figura.
- *Espuma de Poliuretano, com pega rápida (PUR.ESP.RAP.)*, enrijecem muito rápido, quando em contacto com a água. É por isso que são usadas para vedação de fissuras onde a água está percolando sob pressão.

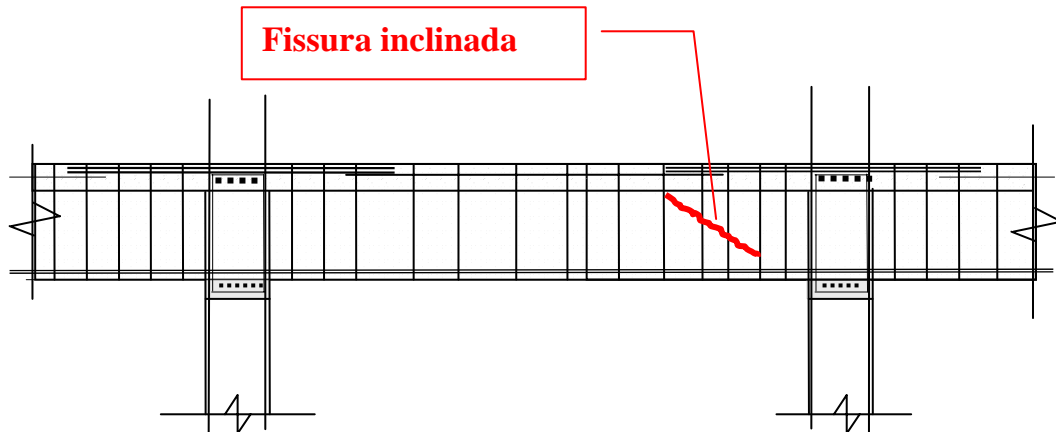
### EXEMPLO Nº 151

**ESTRUTURA:** Estádio esportivo . Pórtico em concreto armado.

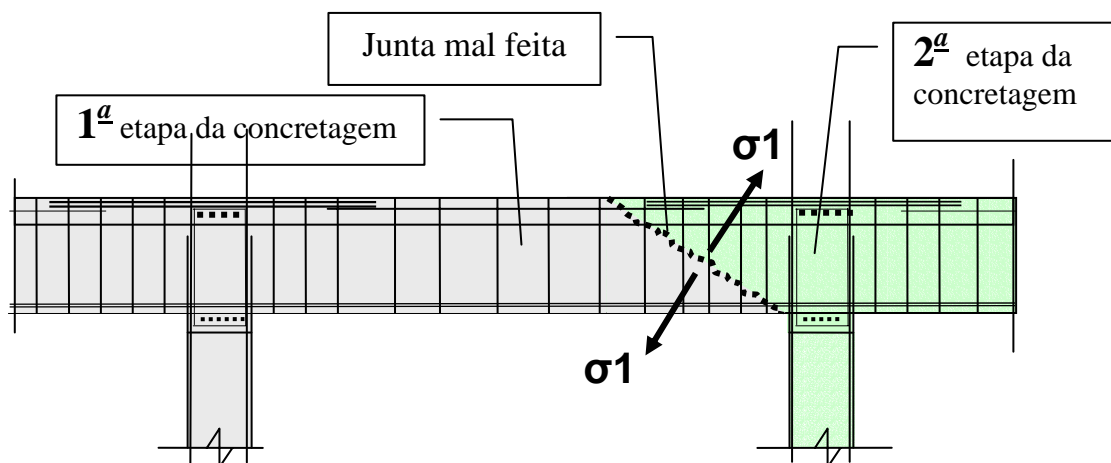
**FISSURAÇÃO:** Fissura inclinada única, em uma viga, antes mesmo da viga receber a carga total.

Logo após a retirada da forma e do escoramento do pavimento, a fissura tinha uma abertura de 0.5mm

**ESQUEMA:**

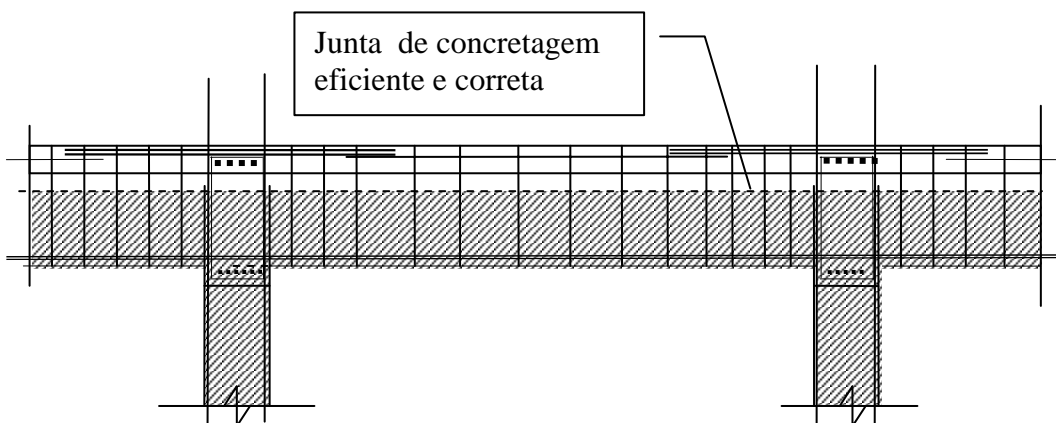


**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Junta de concretagem mal feita e no local errado. O concreto, lançado sem contenção, fica poroso e com baixa resistência. A tensão de tração  $\sigma_1$ , atuando em uma junta com baixa resistência, causa a fissuração, mesmo para cargas baixas, menores que as cargas de serviço. Várias outras vigas iguais nada apresentaram de anormal, pois tinham sido executadas sem junta de concretagem.



**SOLUÇÃO:**

- Jamais fazer uma junta deixando o concreto escorregar livremente.
- O concreto nas juntas sempre deve ser contido por uma forma, ou por uma tela de metal estirado.
- Somente nas juntas horizontais não são usadas formas para conter o concreto.



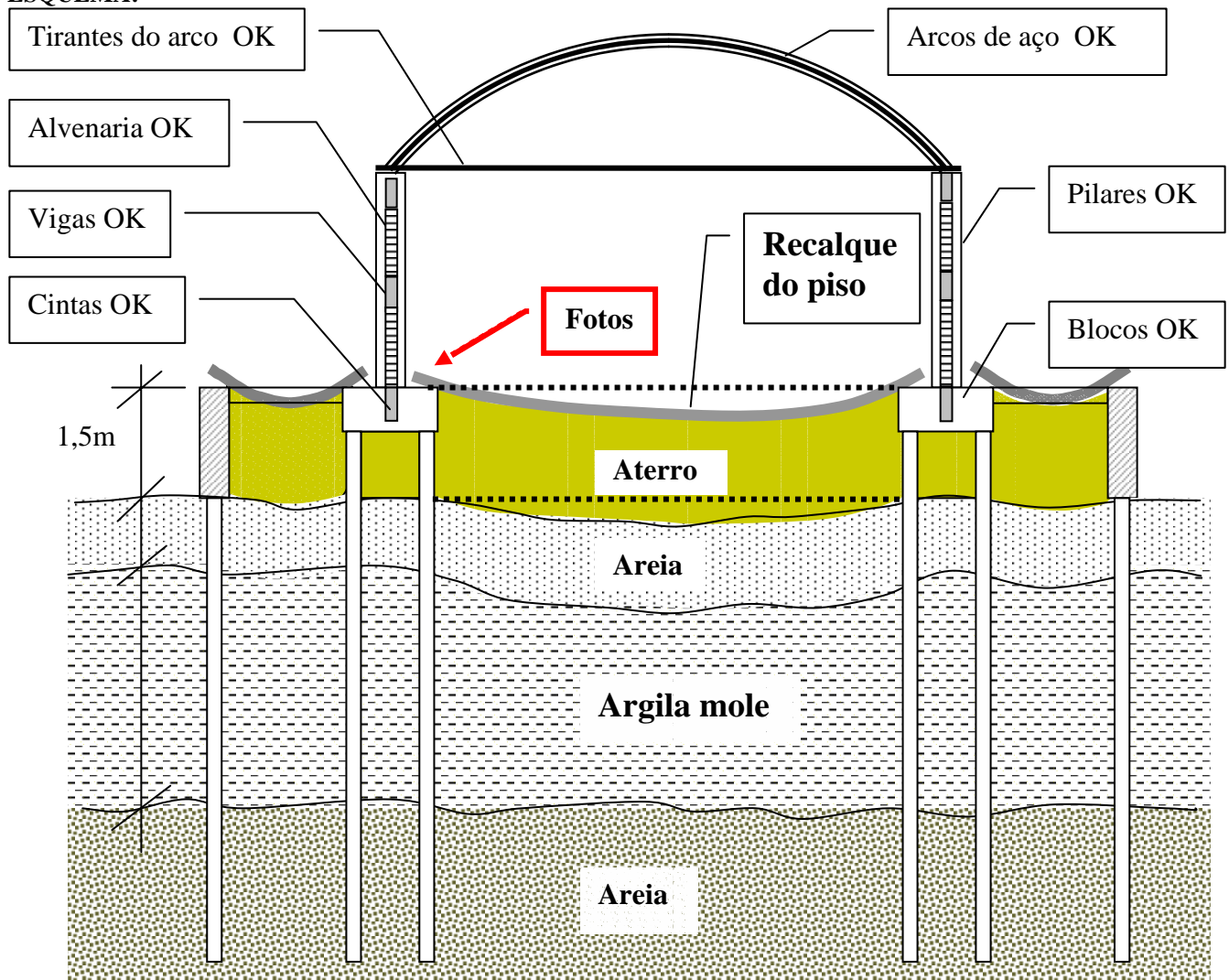
**OBSERVAÇÃO:** O cálculo estrutural estava correto. As armaduras de estribos e as armaduras longitudinais haviam sido bem calculadas. O surgimento da fissura se deveu à existência de um plano de baixa resistência à tração, criado por uma execução errada de uma junta de concretagem num local errado.

### EXEMPLO Nº 152

**ESTRUTURA:** Galpão em concreto armado, com paredes em alvenaria e cobertura em arcos de aço.

**DEFORMAÇÃO:** O afundamento do piso atingiu 1m (um metro).

**ESQUEMA:**



**CAUSA :** Adensamento da argila mole com o tempo. Foi feito um aterro de 1,5m, sobre o qual foi colocado o piso do armazém. O peso do aterro provocou o adensamento da argila mole e o conseqüente recalque.



### SOLUÇÕES:

- 1- Fazer o piso apoiado sobre estacas. Essa solução é sempre mais cara e por isso é evitada.
- 2- Antes da execução do aterro, pode-se pré-adensar o solo, o que pode requerer longo tempo.
- 3- Em uma obra pronta, já com recalques, pode-se encher o desnível com material leve e reduzir a carga de utilização do armazém.

**OBSERVAÇÃO:** Nenhuma parte da estrutura estava danificada. Tudo estava OK, exceto a laje do piso

### EXEMPLO Nº 153

**ESTRUTURA:** Piso de concreto armado em câmara frigorífica. Usina de suco congelado de frutas.

**FISSURAÇÃO:** Escamas de concreto desprenderam-se da superfície do piso de concreto, após congelamento da água infiltrada no concreto.

**ESQUEMA:**



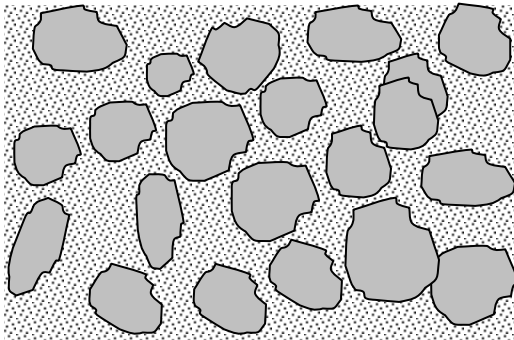
Superfície do concreto após perder “escamas”

### CAUSA DA FISSURAÇÃO :

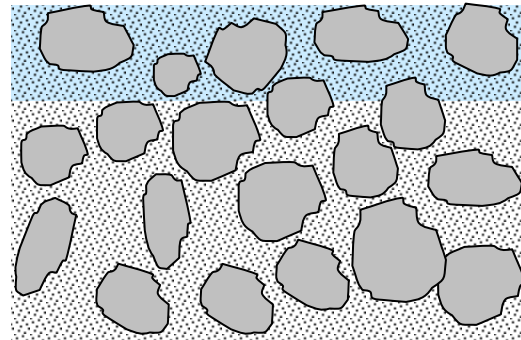
Congelamento da água dentro do concreto.

- O volume da água aumenta cerca de 9% quando ela vira gelo. Com isso surgem tensões do gelo “empurrando” os sólidos do concreto e criando tensões de tração no concreto.
- Essas tensões de tração superam a resistência à tração do concreto. Placas se soltam na superfície.
- Se o concreto estiver completamente saturado com água, um único congelamento basta para romper o concreto.

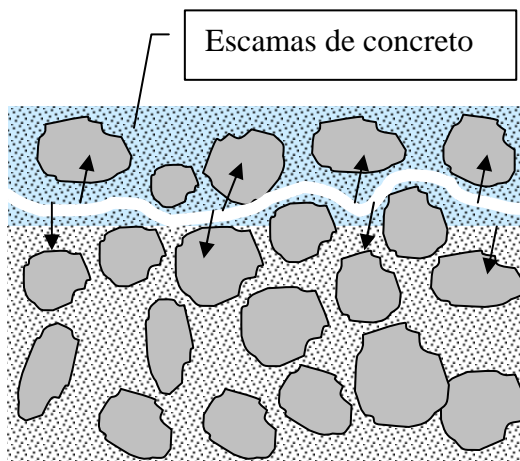
### Seqüência do fenômeno “Escamação”



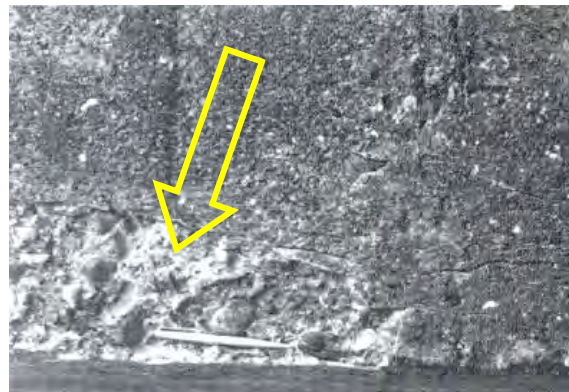
1- Concreto seco



2- Concreto encharcado com água



3- A água congela, forma o gelo, dilata e afasta as pedras, soltando placas.



4- Concreto escamado pela formação do gelo

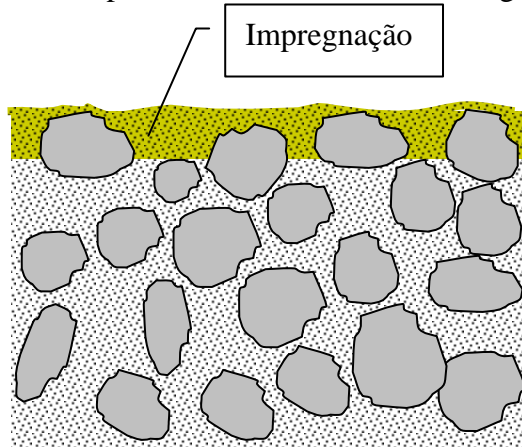


**EXEMPLO Nº 153 – Continuação**

**ESTRUTURA:** Piso de concreto armado em câmara frigorífica. Usina de suco congelado de frutas.

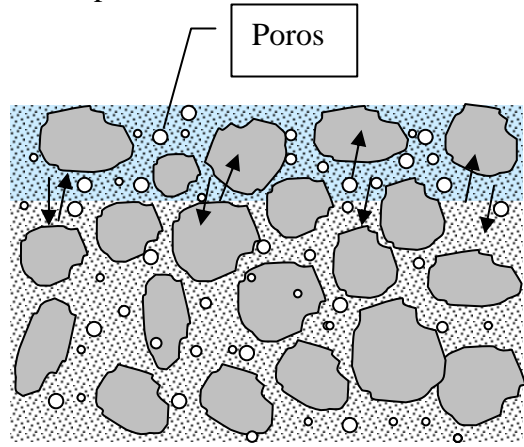
**FISSURAÇÃO:** Escamas de concreto desprenderam-se da superfície do piso de concreto, após congelamento da água infiltrada no concreto.

**SOLUÇÃO 1 :** Impregnar o concreto, na camada superficial, com material hidrófugo.

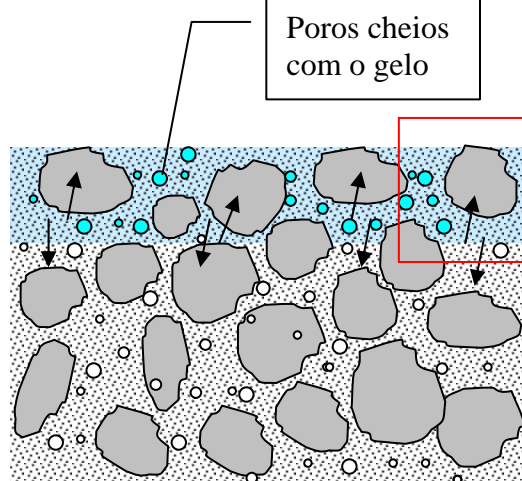


1- O material hidrófugo pode ser Silicone. A água não penetra no concreto. O material hidrófugo deve ser re-aplicado após 3 a 4 anos.

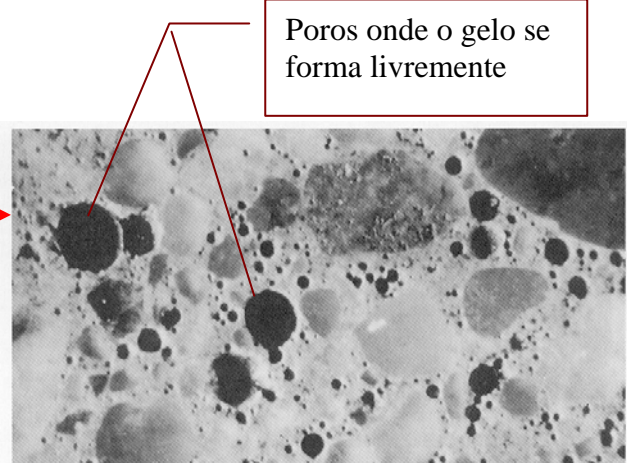
**SOLUÇÃO 2 :** Incorporar bolhas de ar ( poros) ao concreto, por meios de aditivos.



2 - Os poros, criados por aditivos, dentro do concreto, permitem que o gelo se forme sem criar tensão de tração na pasta de cimento.



3- A água, que penetrou no concreto, pode se expandir nos poros, quando congela, sem criar tensões internas no concreto.



Micrografia – PCA Ver S. Mindess [63]

Largura do campo = 12,2mm

4 - Os círculos negros são poros (bolhas de ar)  
Diâmetro das Bolhas : 0,05mm a 1,25mm  
A maioria das bolhas não é visível a olho nu.

5- Ar incorporado: Seguir a norma ASTM-C 457-90 ( 1930) - Método de ensaio padrão para a determinação microscópica dos parâmetros do sistema de vazios (de ar) no concreto endurecido

### EXEMPLO Nº 153 - Continuação

**ESTRUTURA:** Piso de concreto armado em câmara frigorífica. Usina de suco congelado de frutas.

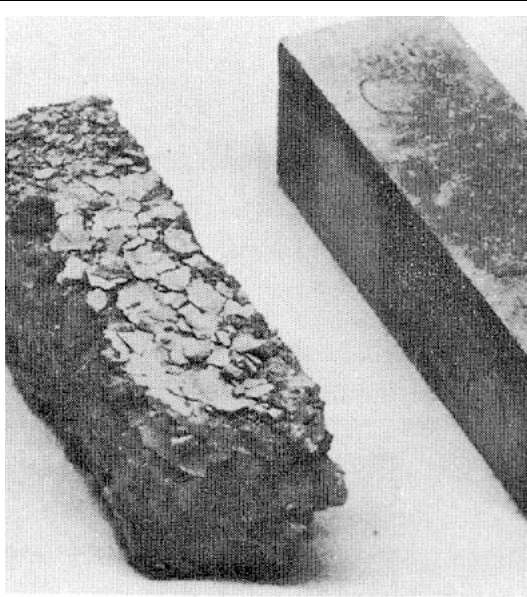
**FISSURAÇÃO:** Escamas de concreto desprenderam-se da superfície do piso de concreto, após congelamento da água infiltrada no concreto.

**SOLUÇÕES :** Incorporar bolhas de ar ( poros) ao concreto, por meios de aditivos

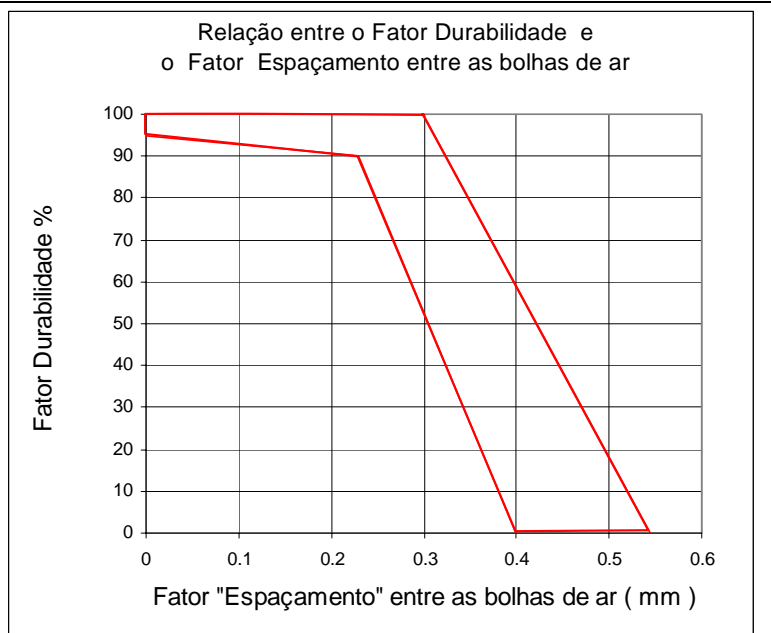
Seguir as normas :

- ASTM-C 457-90 ( 1930) - Método de ensaio padrão para a determinação microscópica dos parâmetros do sistema de vazios (de ar) no concreto endurecido.
- ASTM C666 (1993) - Método de ensaio padrão para a resistência do concreto ao rápido congelamento e descongelamento.

### Durabilidade do Concreto com incorporador de ar

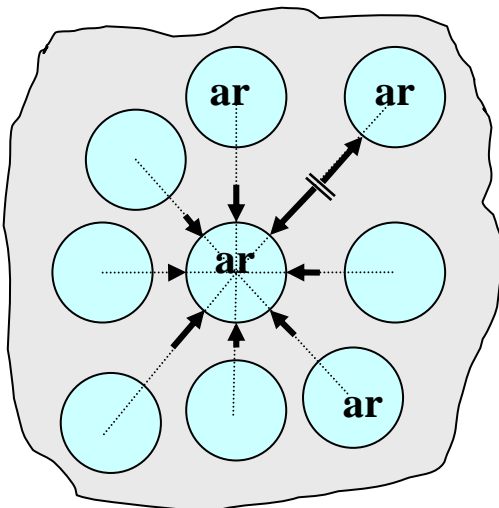


**ASTM C666 (1993)** – Após 300 congelamentos e degelos. Concreto da esquerda sem poros, concreto da direita com 6% de poros em volume. Ver Mailvaganam [130 ]



**ASTM-C 457-90 ( 1930)**  
Para um “fator de espaçamento” < 0,23mm, a durabilidade é quase 100 %. Ver S. Mindess [63]

### DEFINIÇÕES :



Fator “Espaçamento” = É a **distância média** que a água deve percorrer até chegar à borda de um poro de ar.

Fator “Espaçamento” = Distância média de qualquer ponto da pasta ao bordo da bolha de ar mais próxima.

É a metade da distância média entre as bordas das bolhas de ar.

**EXEMPLO Nº 153 - Continuação****ESTRUTURA:** Piso de concreto armado em câmara frigorífica. Usina de suco congelado de frutas.**FISSURAÇÃO:** Escamas de concreto desprendem-se da superfície do piso de concreto, após congelamento da água infiltrada no concreto.**SOLUÇÃO :** Algumas recomendações para o concreto com ar incorporado.

<b>P. Kleiger – ASTM - STP 169C - Ver [129]</b> Características de um concreto com ar incorporado, com boa resistência ao congelamento. Concreto com teor de cimento = 307 kg / m <sup>3</sup>						
Diâmetro máximo do agregado (mm)	Teor de ar incorporado (ACI) Em volume ± 1%	Teor de ar ( % em volume)				Fator espaçamento de bolhas,mm
		Concreto sem ar incorporado	Com ar incorporado			
			Concreto	Argamassa	Pasta	
64	4,0	0,5	4,5	9,1	16,7	0,18
38	5,0	1,0	4,5	8,5	16,4	0,20
<b>19</b>	<b>6,0</b>	<b>2,0</b>	<b>5,0</b>	<b>8,3</b>	<b>16,9</b>	<b>0,23</b>
<b>9,5</b>	<b>7,5</b>	<b>3,0</b>	<b>6,5</b>	<b>8,7</b>	<b>19,7</b>	<b>0,28</b>
Argamassa	-	-	-	9,0	23,0	0,30

Recomendações da norma alemã DIN 1045			
Diâmetro dos furos ou abertura das peneiras ( mm )	Curva <b>A16</b> (% passante)	Granulometria a usar (% passante)	Curva <b>B16</b> (% passante)
0.125	1	1 ≤ ... ≤ 3	3
0.25	3	3 ≤ ... ≤ 8	8
0.5	8	8 ≤ ... ≤ 20	20
1	12	12 ≤ ... ≤ 32	32
2	21	21 ≤ ... ≤ 42	42
4	36	36 ≤ ... ≤ 56	56
8	60	60 ≤ ... ≤ 76	76
<b>16</b>	100	100	100

Profundidade de penetração da água, no ensaio DIN 1048, equivalente ao ensaio da Norma brasileira NBR 10787/94	Máx. 30mm
São necessários os seguintes teores de ar incorporado, para os diferentes diâmetros máximos dos agregados:	≥ 4,5 Vol. % para agregado 16mm ≥ 4,0 Vol. % para agregado 32mm
Teor de cimento em kg/ m <sup>3</sup>	≥ 370 kg/m <sup>3</sup> para agregado 16mm ≥ 350 kg/m <sup>3</sup> para agregado 32mm

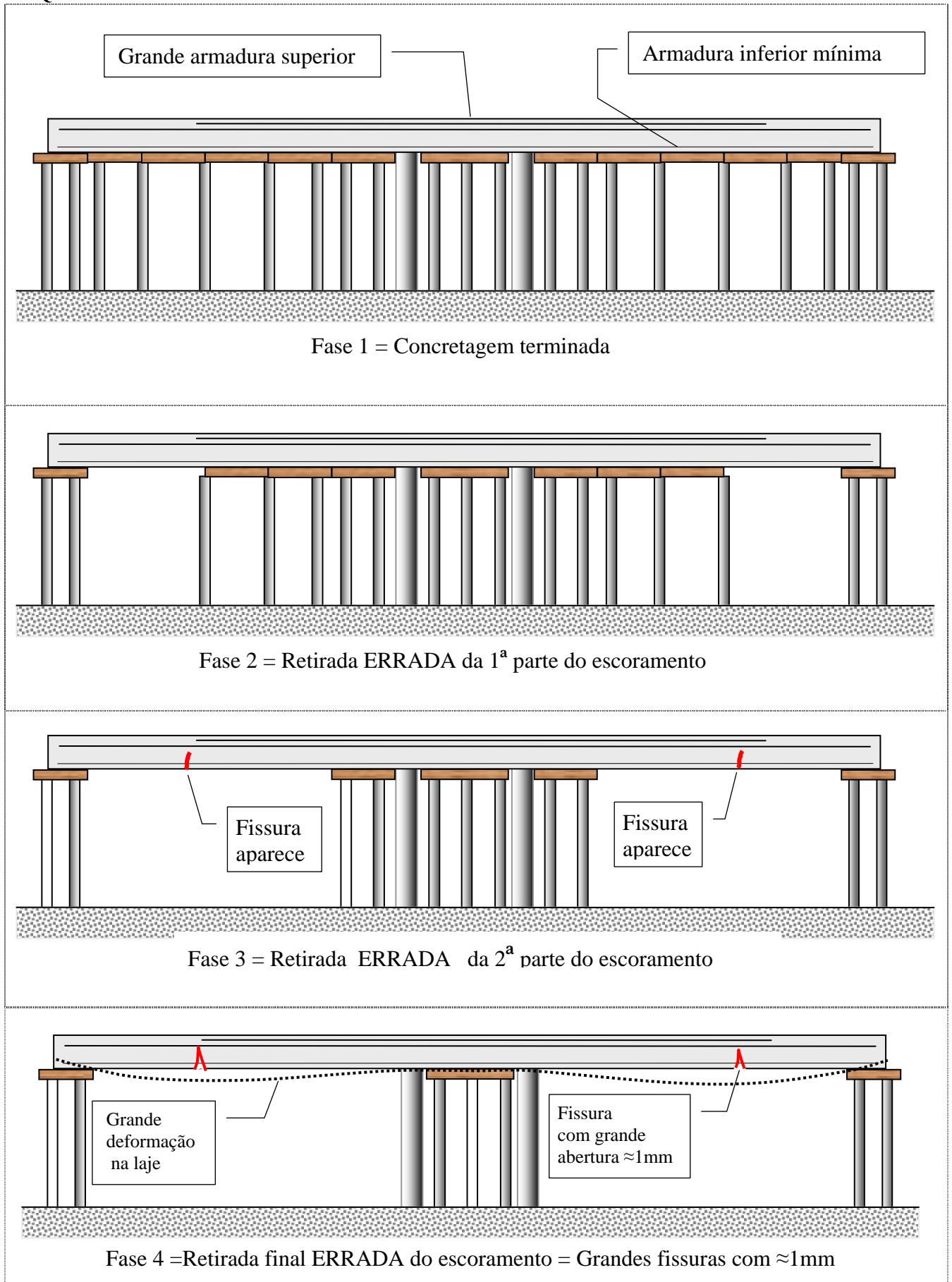
**EXEMPLO Nº 154**

**ESTRUTURA:** Lajes em balanço em concreto armado - Posto de gasolina.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras com grande abertura, na face inferior da laje.

Após a retirada de parte da forma e do escoramento, a fissura já tinha uma abertura de 1,0 mm

**ESQUEMA:**

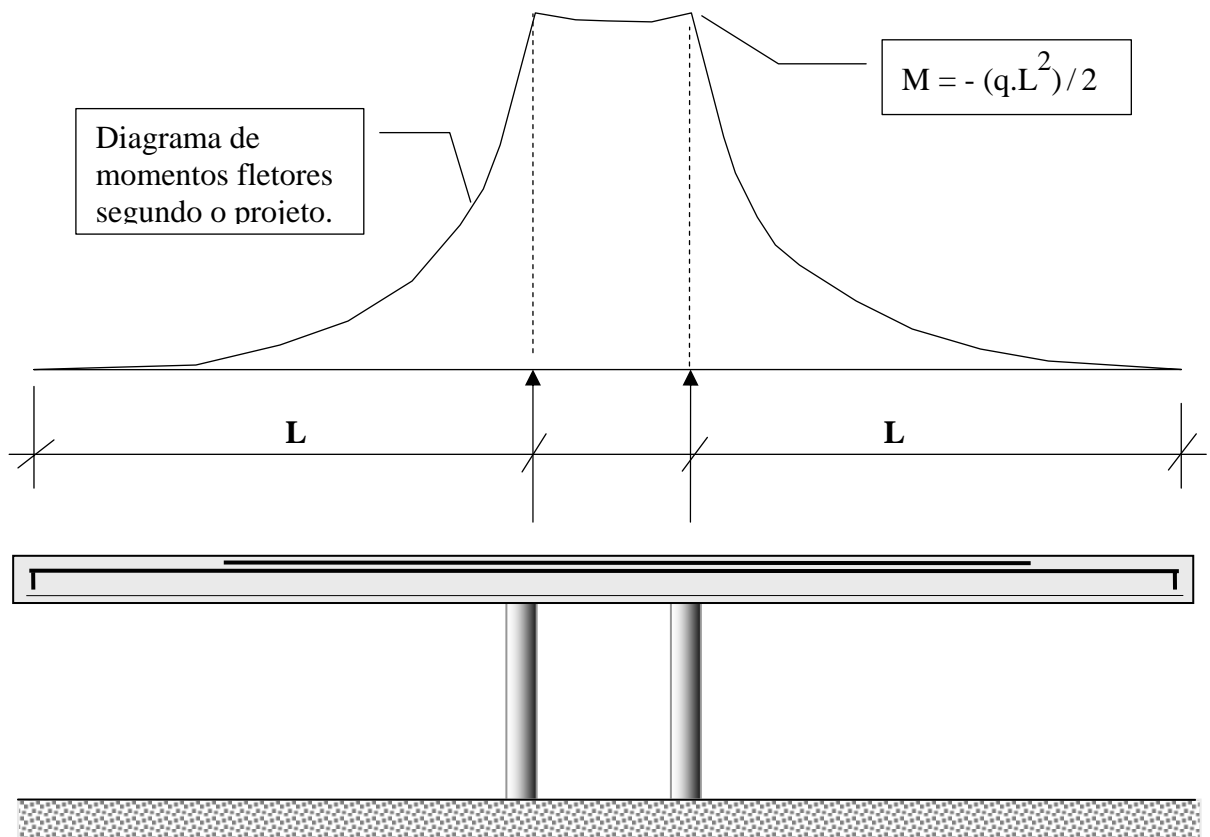


**EXEMPLO Nº 154 ( CONTINUAÇÃO )**

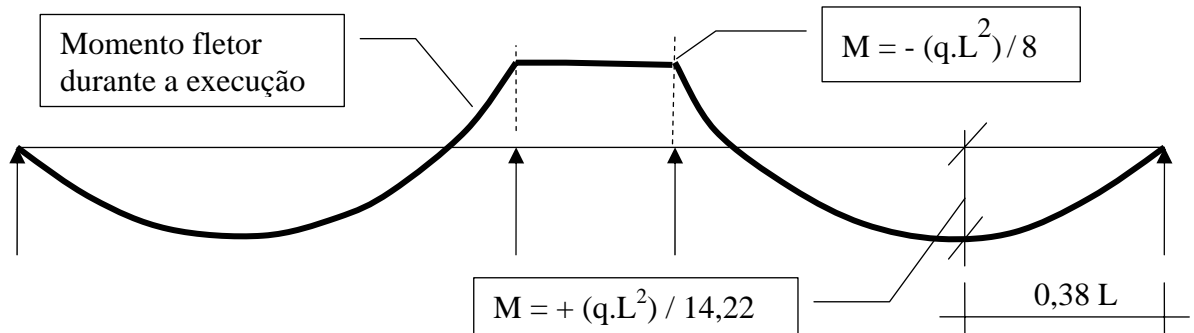
**ESTRUTURA:** Lajes em balanço em concreto armado - Posto de gasolina.

**FISSURAÇÃO:** Fissuras com grande abertura, na face inferior da laje.

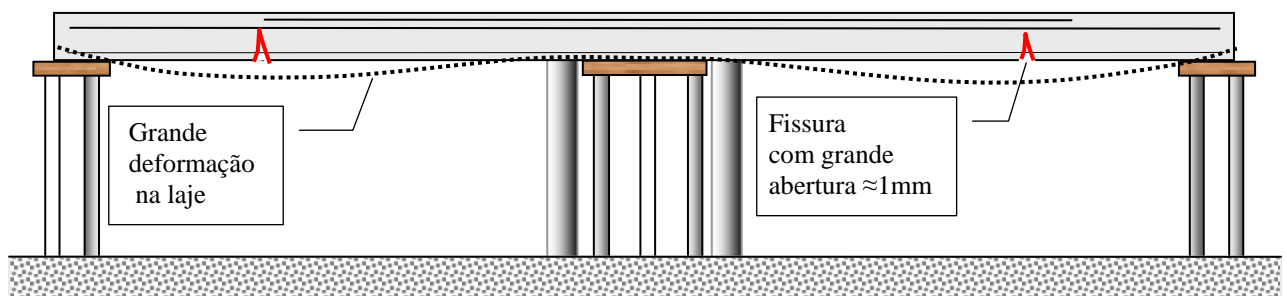
**CAUSA :** Retirada errada do escoramento, com mudança do modelo estrutural .



O sistema estrutural do projeto é uma laje em balanço. A armadura é colocada na face superior. Na face inferior é colocada apenas uma armadura mínima.



Durante a fase de execução, se o descimbramento for mal feito, mantendo apoios nas extremidades, o momento fletor traciona a face inferior da laje, abrindo grandes fissuras.



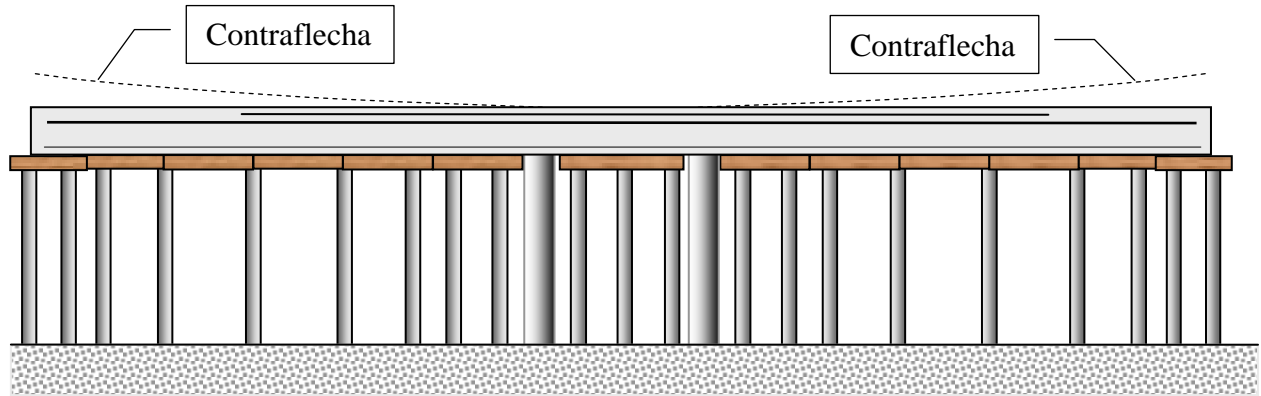
Retirada incorreta do escoramento = Grandes flechas e fissuras com grande abertura  
**OBSERVAÇÃO:** Na obra em questão, o proprietário optou por demolir a laje e construir outra estrutura.

**EXEMPLO Nº 154 ( CONTINUAÇÃO )**

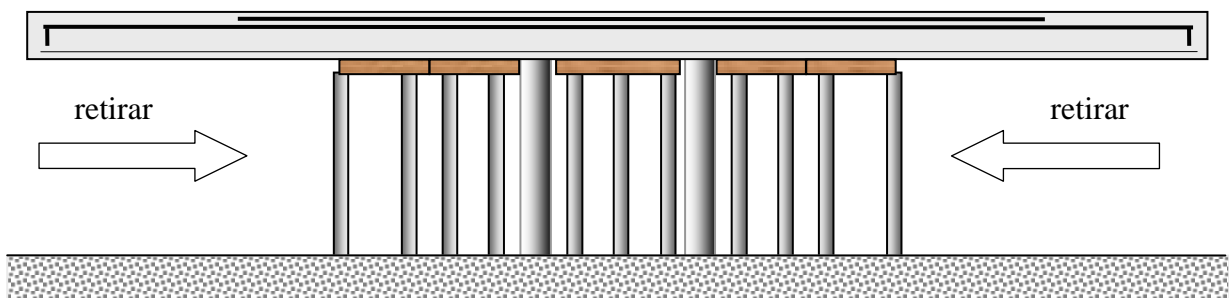
**ESTRUTURA:** Lajes em balanço em concreto armado - Posto de gasolina.

**FISSURAÇÃO:** Fissura com grande abertura, na face inferior da laje.

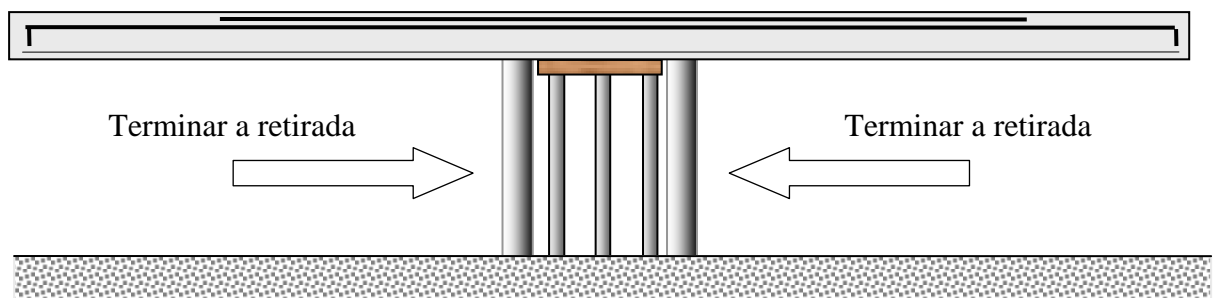
**SOLUÇÃO 1:** Em balanços de concreto armado, retirar o escoramento a partir da extremidade do balanço. Concretar prevendo, na fôrma, uma contra flecha para compensar as deformações.



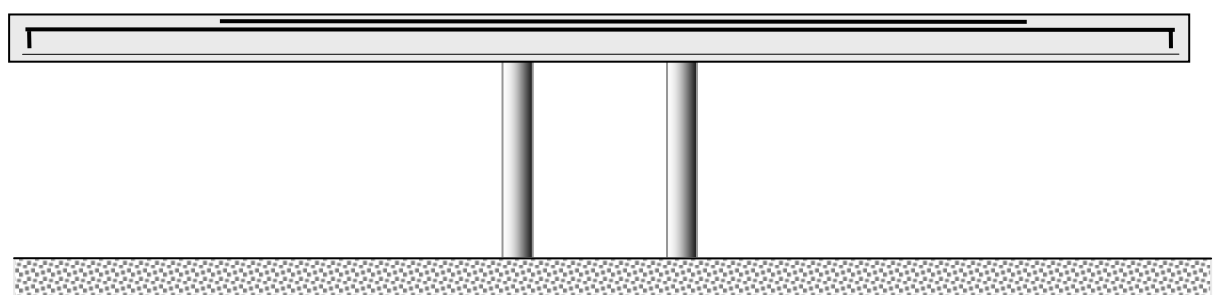
A contra-flecha está apenas indicada na figura.



Retirada do escoramento a partir das extremidades dos balanços.



Retirada total dos escoramentos



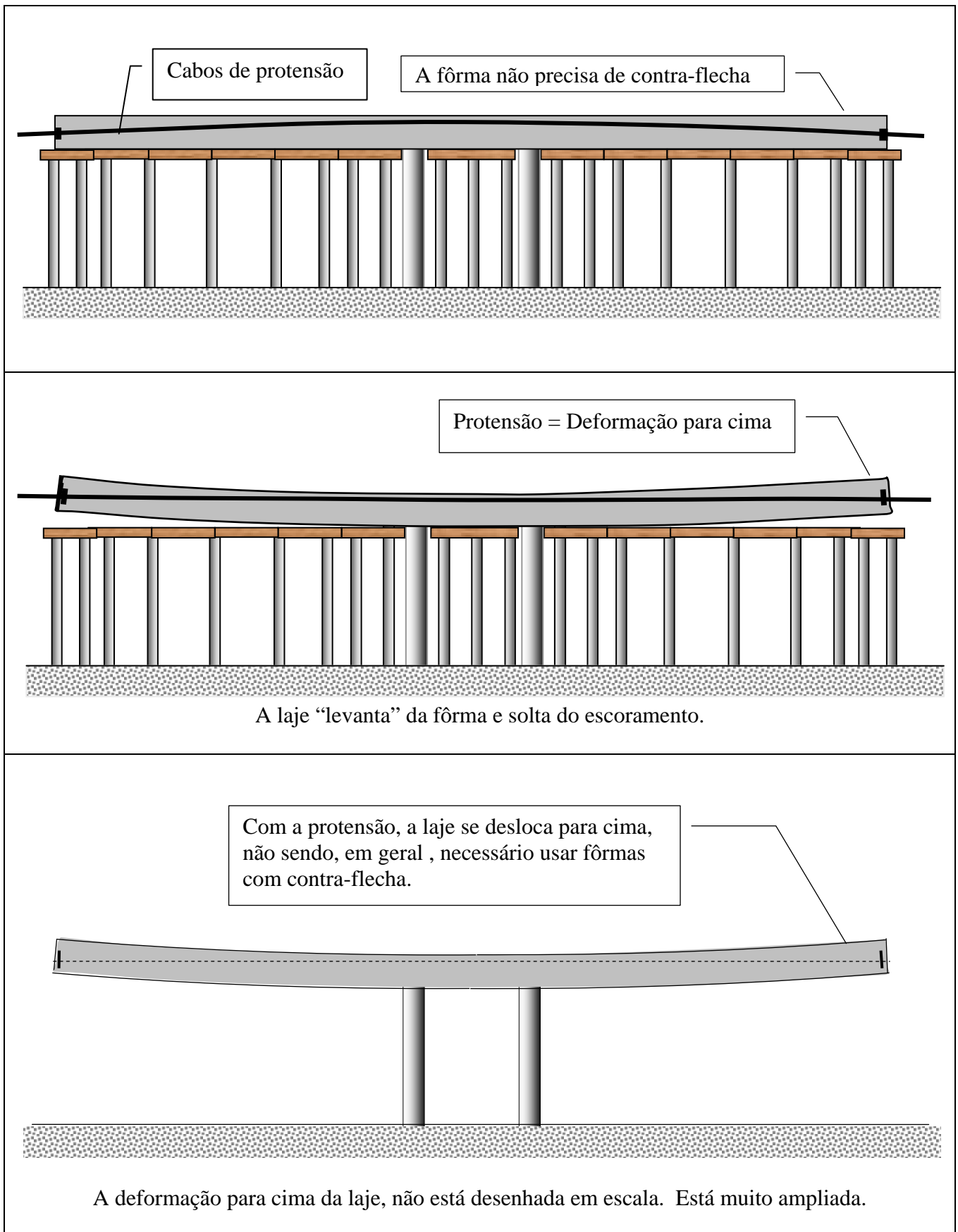
Estrutura liberada. Se a contra-flecha foi correta, a estrutura ficará nivelada.

**EXEMPLO Nº 154 ( CONTINUAÇÃO )**

**ESTRUTURA:** Lajes em balanço de concreto armado - Posto de gasolina.

**FISSURAÇÃO:** Fissura com grande abertura, na face inferior da laje.

**SOLUÇÃO 2:** Usar concreto protendido. A protensão “levanta” a laje, que se solta da fôrma e fica livre do escoramento. Não é necessário moldar as fôrmas com contra-flecha.

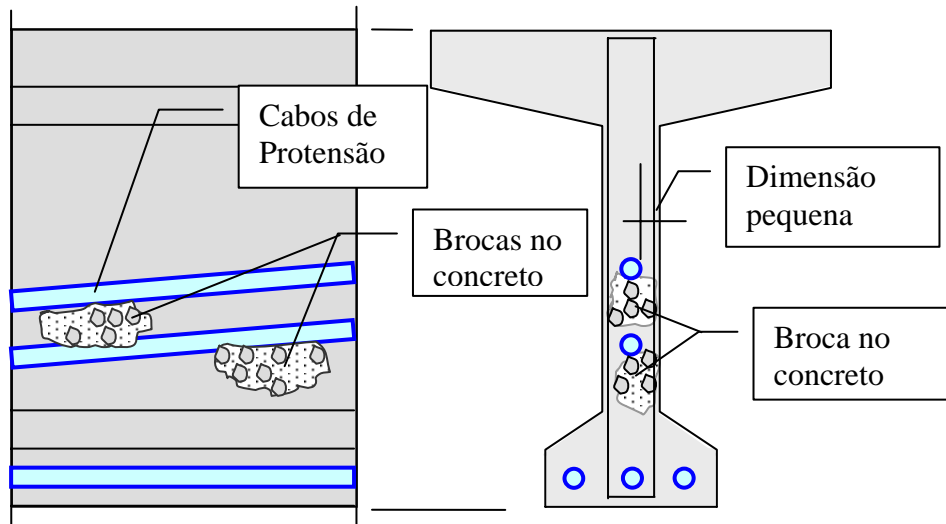


## EXEMPLO Nº 155

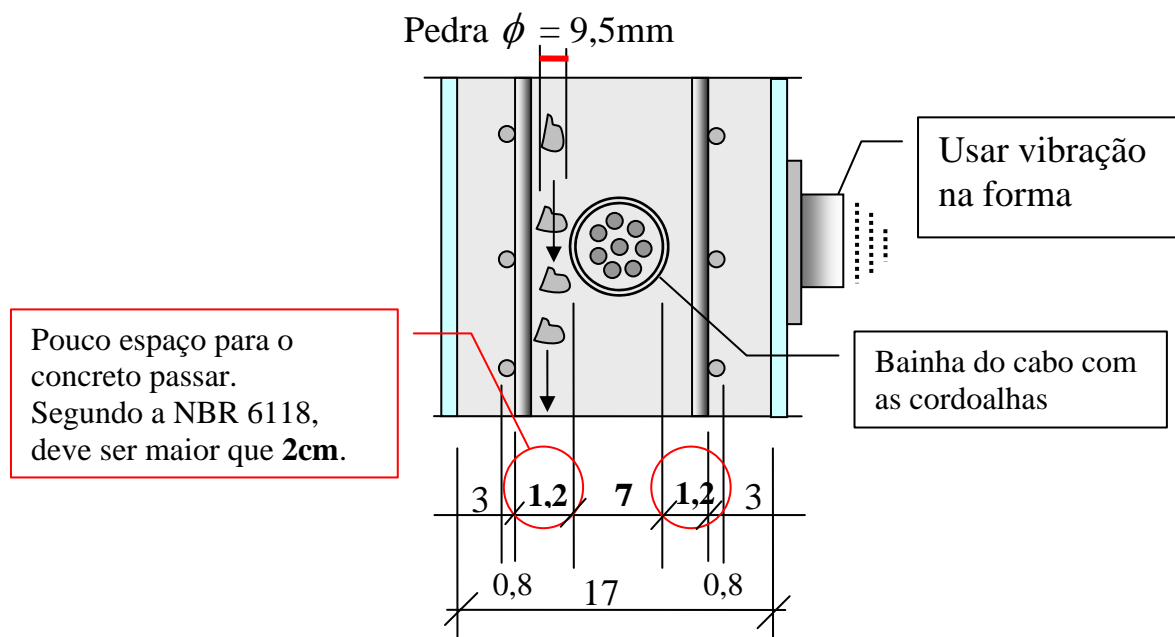
**ESTRUTURA:** Viga pré-moldada em concreto protendido.

**FALHA DE EXECUÇÃO:** Grande parte da alma da viga ficou sem concreto.

**ESQUEMA:**



**CAUSA :** Devido à pequena espessura da alma da viga ( 17cm ), o concreto não conseguiu passar entre os cabos e os ferros costela. Formaram-se brocas no concreto.



### COMENTÁRIOS :

- Vigas com almas menores que 19cm exigem grandes cuidados durante a concretagem.
- Espessuras de alma menores que 17 cm não obedecem a todas as exigências da norma NBR6118, principalmente em meio ambiente com forte agressividade ( marinho ou industrial ).
- Nesse meio ambiente, o cobrimento da armadura de aço CA50 deve ser  $\geq 4\text{cm}$  e o cobrimento das bainhas dos cabos de protensão deve ser  $\geq 4,5\text{ cm}$  . ( item 7.4.7.6)
- Daí resulta uma espessura da alma  $\geq 2 \times ( 4 + 0,8 + \mathbf{2,0\text{cm}} ) + 7 = 21\text{cm}$



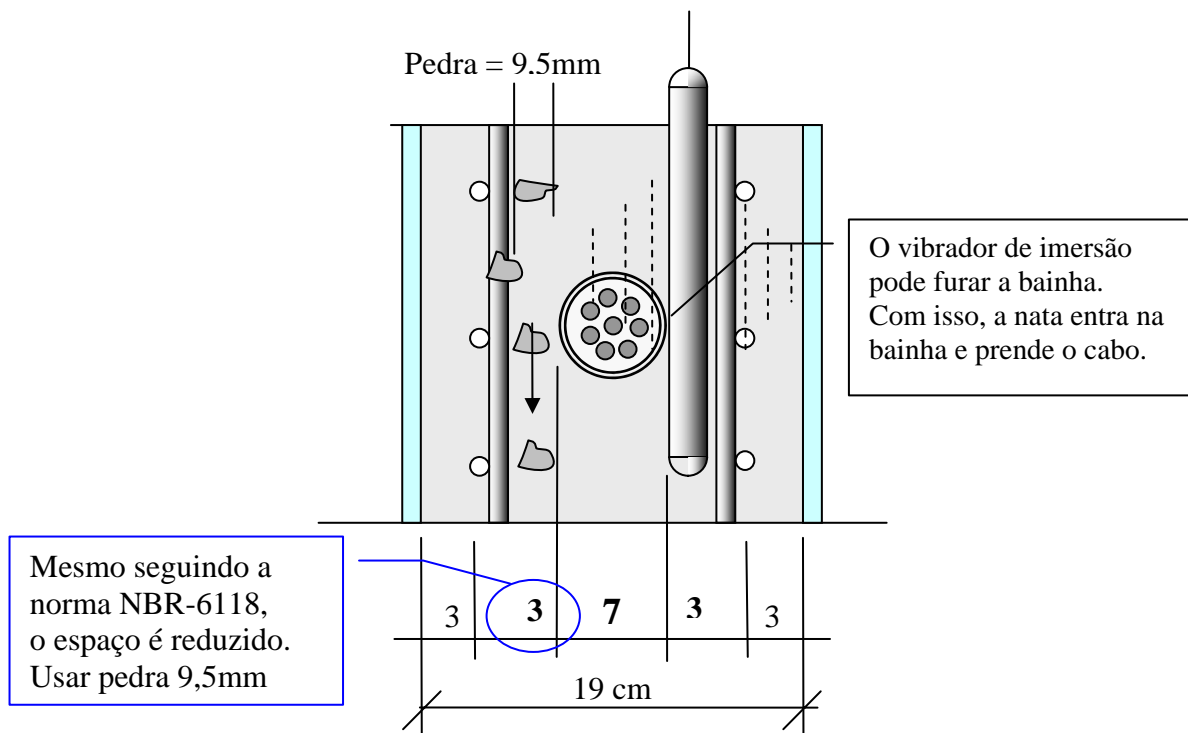
### EXEMPLO Nº 155 ( CONTINUAÇÃO )

**ESTRUTURA :** Viga pré-moldada em concreto protendido.

**FALHA DE EXECUÇÃO :** Muitas partes da alma da viga ficaram sem concreto.

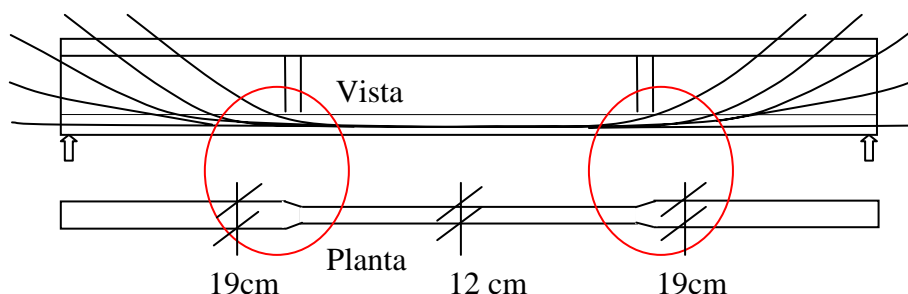
**SOLUÇÃO :** Aumentar a espessura da alma da viga. Isso acarreta o aumento do peso da viga.

O transporte da viga pré-moldada será mais difícil. Por esse motivo poucos adotam essa solução.



**SOLUÇÃO:** Projetar a alma da viga com uma espessura adequada. A norma NBR 6118 diz:

- O cobrimento dos ferros longitudinais, em zona urbana, onde a agressividade ambiental é “moderada”, deve ser  $\geq 30$  mm para as barras de aço CA 50 e deve ser  $\geq 35$ mm para as bainhas dos cabos de protensão. ( item 7.4.7 )
- O espaçamento mínimo, entre barras, para permitir a passagem do concreto, deve ser  $\geq 2$ cm e também  $\geq 1,2 D_{\text{máx}}$  do agregado. ( item 18.3.2.2). Para uma pedra com  $D_{\text{máx.}} = 9,5$ mm devemos ter o espaçamento  $\geq 1,2 \times 9,5\text{mm} = 12\text{mm}$ . Logo prevalece espaçamento  $\geq 2$ cm.
- A espessura mínima da alma da viga, no trecho onde os cabos “sobem” na alma , deveria ser:  
 $b_{\text{alma}} = 2 \times ( 3 + 0,8 + 2,0\text{cm} ) + 7 = 19\text{cm}$



- Usar vibração na forma.
- Usar super-plastificante no concreto para melhorar a fluidez durante a concretagem.

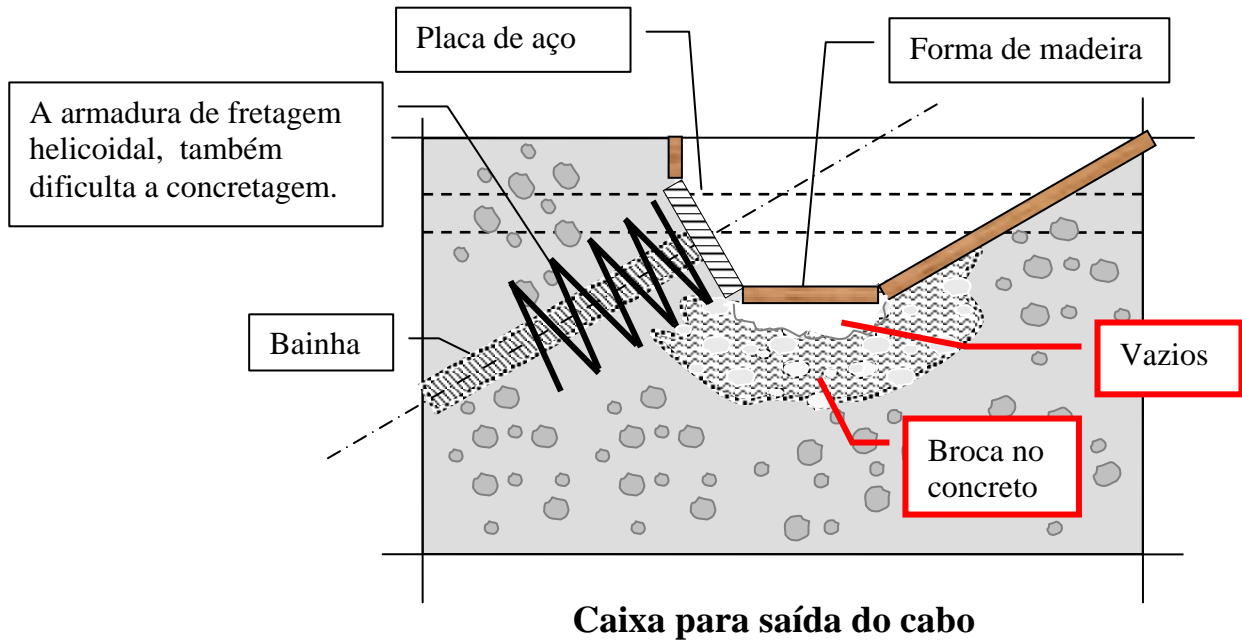
**OBSERVAÇÃO:** As pernas verticais do estribo não atrapalham a concretagem. Os ferros costela e os cabos é que bloqueiam a descida do concreto, formando vazios na alma e no talão inferior da viga.

## EXEMPLO Nº 155 ( CONTINUAÇÃO )

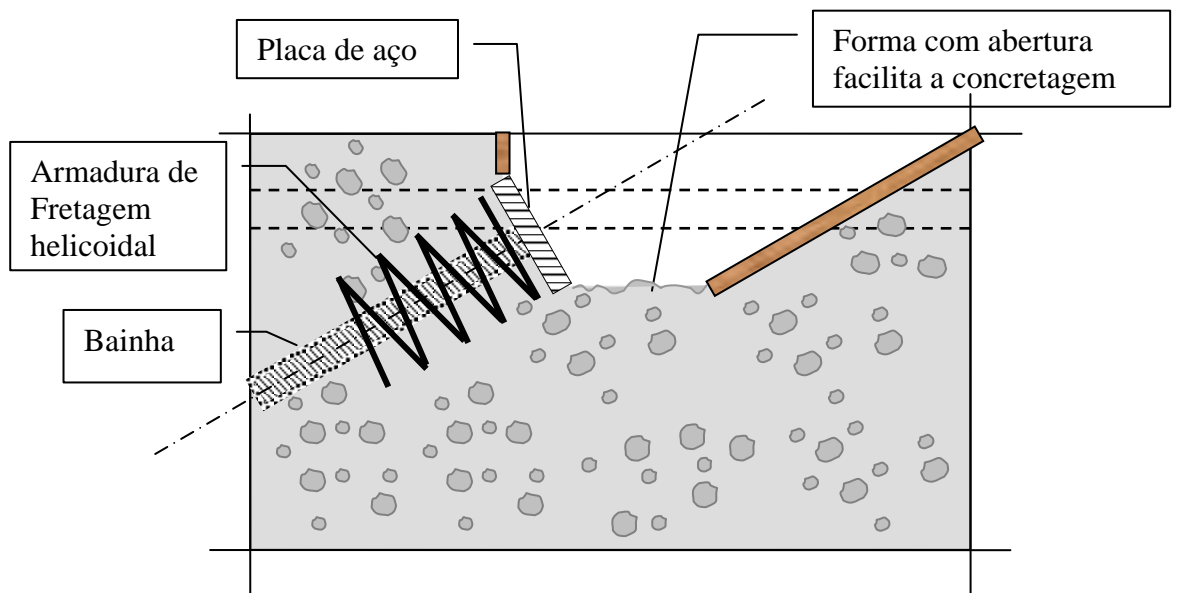
**ESTRUTURA:** Viga pré-moldada em concreto protendido.

**FALHA DE EXECUÇÃO:** Embaixo da forma de madeira, usada para formar a caixa da saída dos cabos, formam-se vazios e brocas no concreto.

**ESQUEMA :**



**SOLUÇÃO:** Usar a forma da caixa com uma abertura na sua parte inferior.



**OBSERVAÇÃO:** É importante que em frente à placa de aço, que é o apoio da ancoragem do cabo, o concreto seja de alta resistência, pois a tensão de compressão é muito grande nessa região da viga. É, pois, indispensável um adensamento correto, com uma vibração perfeita do concreto.

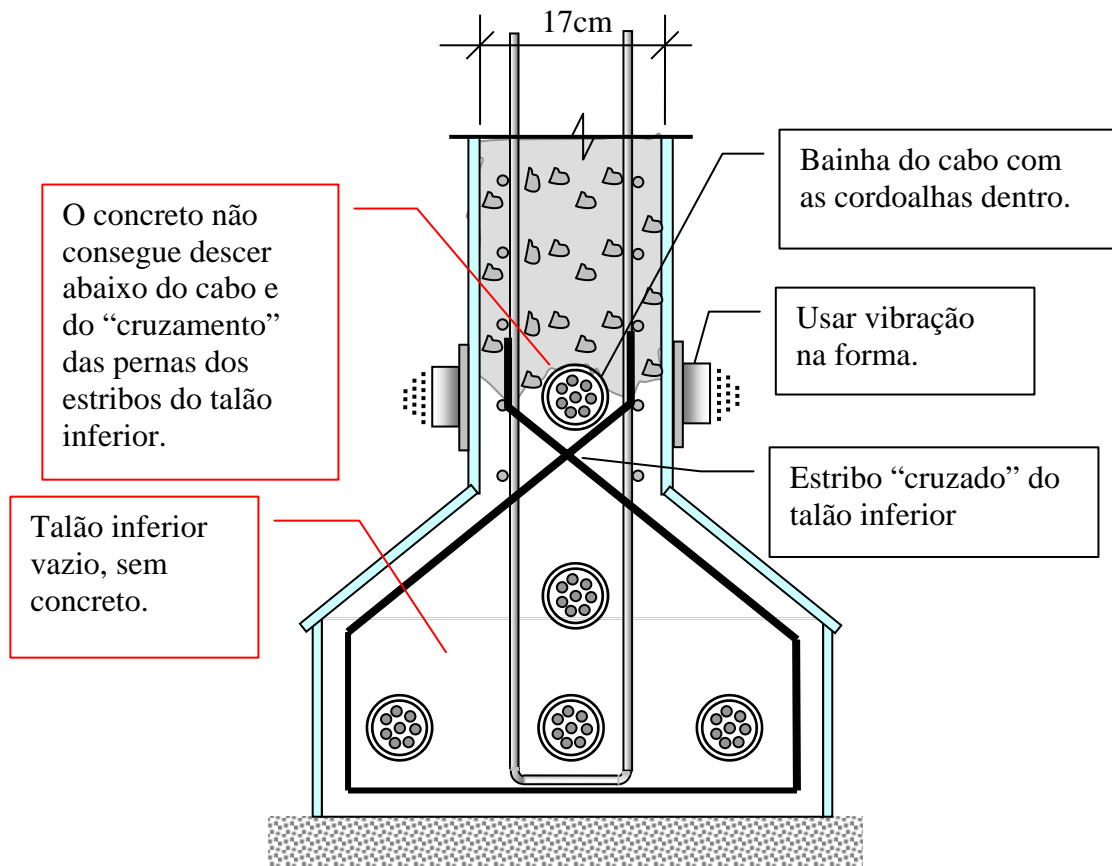
**COMENTÁRIO:** Alguns usam a fôrma, da caixa de saída, com uma abertura temporária. Isso permite um lançamento de concreto através dessa abertura, que em seguida é fechada.

## EXEMPLO Nº 155 ( CONTINUAÇÃO )

**ESTRUTURA:** Viga pré-moldada em concreto protendido

**FALHA DE EXECUÇÃO:** Falhas de concretagem. Grande parte do talão inferior da viga ficou sem concreto.

**ESQUEMA:**

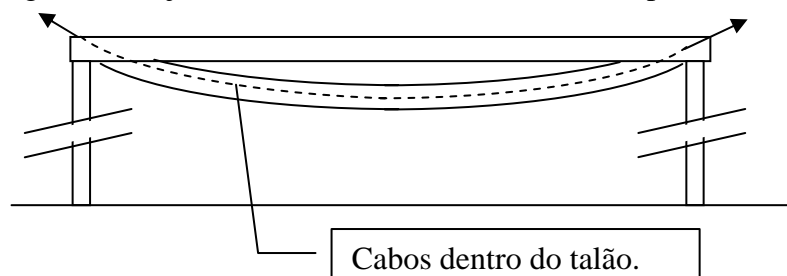


**COMENTÁRIOS:** Com o aumento da resistência dos aços e do concreto, estamos atingindo um limite. Existem 2 tendências atualmente:

1. Espessura menor da alma:
  - Tendo o concreto uma alta resistência, a espessura necessária para a alma da viga é pequena.
2. Cabos mais potentes e com maior diâmetro.
  - Os cabos têm mais cordoalhas, e essas cordoalhas têm maiores diâmetros.
  - O diâmetro dos cabos e das bainhas é, portanto, cada vez maior.

Em conseqüência, o espaço disponível para a passagem do concreto, durante a concretagem, é cada vez menor. As soluções a serem usadas em breve deverão ser:

1. Cabos externos.
2. Cabos retos, escalonados longitudinalmente, dentro do talão inferior da viga, sem "subir" na alma da viga.
3. Vigas com a altura afim com o diagrama de momento fletor. Os cabos ficam sempre dentro do talão da viga. Assim já foi feito nos viadutos de acesso da ponte Rio - Niterói.

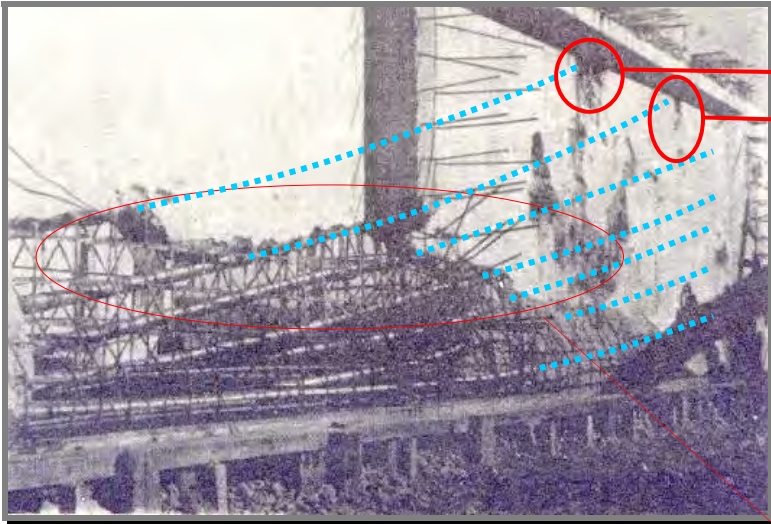


**EXEMPLO Nº 155 ( CONTINUAÇÃO )**

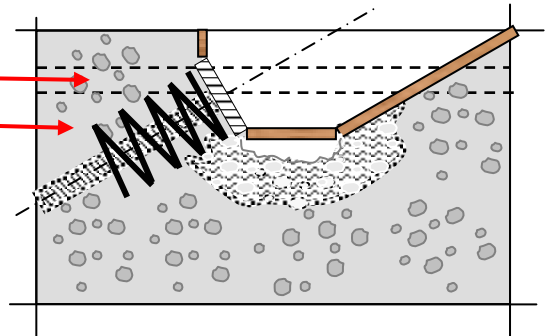
**ESTRUTURA:** Viga pré-moldada em concreto protendido.

**FALHA DE EXECUÇÃO:** Má concretagem. Grande parte da viga ficou sem concreto.

**ESQUEMA:**

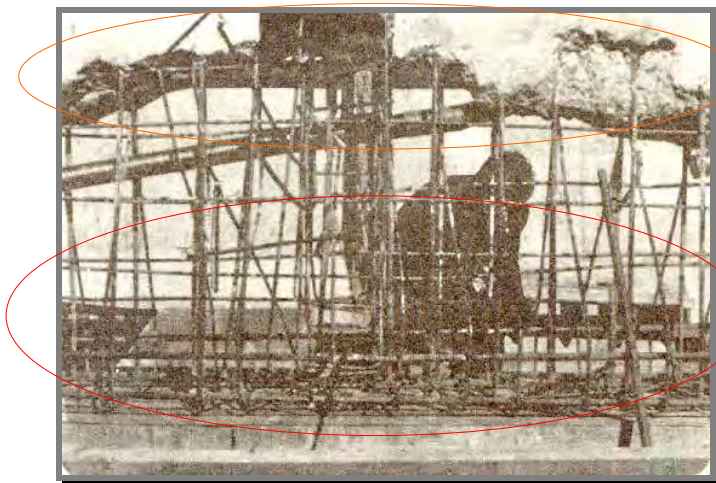


- Ver Uchôa F.C. [131]

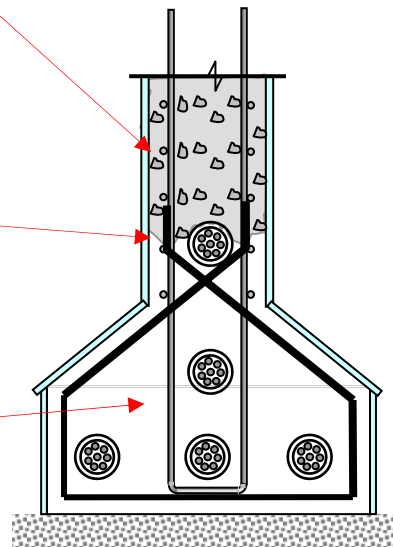


Zona crítica para a concretagem:

- Caixas para saída dos cabos.
- Ver Uchôa F.C. [131]



- Ver Uchôa F.C. [131]



Zona crítica para a concretagem:

- Cruzamento de cabos, ferros costelas e estribos cruzados do talão inferior.


**SOLUÇÕES :**

- Alma da viga com espessura maior.
- Pedra com pequeno diâmetro.
- Super-plastificante no concreto.
- Vibrador externo, de forma.

**EXEMPLO Nº 156 ( Ver também Exemplos Nº 121, 134 e 157 )**

**ESTRUTURA :** Pilares de concreto armado de prédios situados junto a ruas, estradas ou avenidas com tráfego de veículos pesados.

**DANOS :** O impacto de caminhões ou de ônibus pode causar a destruição de pilares. A destruição de um pilar pode provocar a queda de uma parte do prédio.

ESQUEMA:	CAUSA DO DANO
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Não há barreiras contra o impacto dos ônibus e dos caminhões.</li><li>• Os pilares de prédios, próximos às ruas não são dimensionados para resistir às forças do impacto.</li></ul>

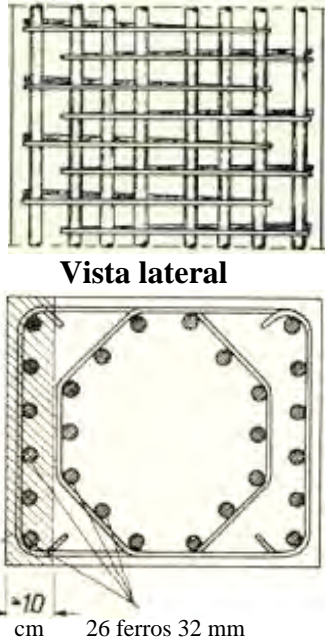
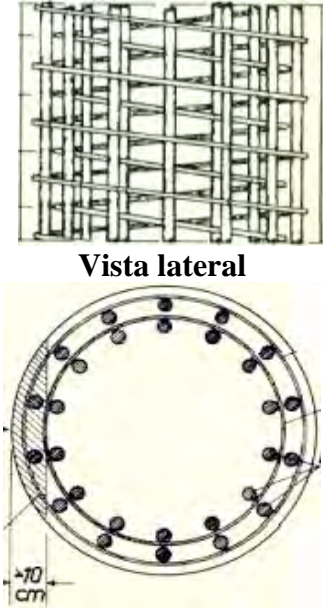
**SOLUÇÕES:**

**1-**Dimensionar os pilares próximos à rua ou estrada para resistir ao impacto de veículos pesados.

A norma alemã de pontes recomenda que o pilar seja dimensionado para uma carga horizontal estática **H** de 100 ton. a 1,20m do chão, na direção do tráfego.

**2-**Alternativa: Usar barreiras, de concreto ou de aço, protegendo o pilar contra o impacto de veículos.

**OBSERVAÇÃO :** Mostro abaixo as duas configurações de armadura que resistiram ao impacto, em ensaios, em tamanho real, feitos por Popp [61]. Segundo os ensaios, em um pedaço do pilar com  $\pm 10$ cm, concreto e ferros são destruídos pelo impacto e portanto não devem ser considerados na seção resistente.

Pilar Retangular	Pilar circular
<p>Armadura : <b>Longitudinal :</b> 26 ferros 32mm <b>Transversal:</b> Estribos 12,5mm cada 12cm em cada grupo, com traspasse em uma face do pilar.</p> <p><b>Seção: 55cmx 65cm</b> <b>→→</b> <b>Impacto</b> Não considerar os 10cm destruídos pelo impacto.</p> 	<p>Armadura <b>Longitudinal</b> 28 ferros 32mm <b>Transversal:</b> Estribos 12,5mm cada 12cm em cada grupo, com traspasse em uma circunferência completa</p> <p><b>Seção: <math>\phi = 65</math>cm</b> <b>→→</b> <b>Impacto</b> Não considerar os 10cm destruídos pelo impacto.</p> 

### EXEMPLO Nº 157 ( Ver EXEMPLOS Nº 121, 134 e 156 )

**ESTRUTURA :** Pontes ou Passarelas de pedestres sobre estradas ou avenidas com tráfego de veículos pesados. A maioria dos acidentes desse tipo acontece com caminhões-baú.

**DANOS :** O impacto de caminhões ou de ônibus causa a destruição parcial ou total das vigas da ponte. O concreto das vigas fica destruído. As armaduras ficam danificadas e o mínimo que ocorre é ficarem expostas ao ataque do meio ambiente agressivo. A corrosão das armaduras fica acelerada e torna indispensável uma obra de restauração.

Nas vigas mistas, os perfis de aço ficam amassados ou rasgados, reduzindo a segurança da estrutura.

### ESQUEMA :



### CAUSA :

- 1- Alguns Caminhões-Baú trafegam com altura acima do gabarito.
- 2- As placas de transito, no local da foto acima, indicavam altura limite de 3.85m, ao passo que o gabarito oficial é de 4,5m.

### SOLUÇÃO :

- 1- As pontes e passarelas novas devem ser projetadas com gabarito bem acima do gabarito oficial.
- 2- Projetar as estruturas para resistir a uma força estática horizontal de 10t transversal às vigas. Essa força simula um impacto transversal de um caminhão-baú. Essa hipótese de carga resulta no uso de um número grande de transversinas, para servir de apoio horizontal às vigas do tabuleiro.
- 3- As estruturas devem ser projetadas considerando:
  - Danos no concreto nas vigas e lajes inferiores do tabuleiro. Sugiro considerar 10cm de concreto destruído pelo impacto.
  - Danos nas armaduras das vigas de concreto armado ou de concreto protendido. Sugiro considerar como destruída a armadura contida nos 10cm de concreto destruído.
- 4- Vigas de aço ou vigas mistas também devem prever algum dano nas vigas de aço após o impacto. Sugiro considerar a perda de uma aba dos perfis **I** ou **H**.

**EXEMPLO N<sup>o</sup> 158 :**

**TIPO DE ESTRUTURA:** Tubo enterrado,  $\phi=1200\text{mm}$ , de recalque de esgoto. Rio de Janeiro / 2003.

**FISSURAÇÃO :** Ruptura ao longo de geratriz do tubo, seguindo os contornos dos grãos. A tubulação estava em carga, sob forte pressão interna..

**ESQUEMA DAS FISSURAS :** Fissuras ao longo dos contornos dos grãos, aproximadamente em uma geratriz.



**CAUSA DA FISSURAÇÃO :** Corrosão do ferro fundido, nos contornos de grãos. Observa-se o revestimento protetor quase totalmente destruído.

A corrosão do ferro do tubo é mais acentuada nos contornos dos grãos. Por esse motivo, quando sob pressão interna, a ruptura ocorre nesses contornos de grãos, e não ao longo de uma geratriz reta exata.

**COMENTÁRIO:** Um exemplo de ruptura semelhante é mostrado no livro do Prof. Vicente Gentil - Corrosão- 3<sup>a</sup> edição - [ 71 ]. Trata-se do caso número 40, mostrado a seguir.



Tubo de 25mm de uma Serpentina de um resfriador de água. Tubo de aço carbono galvanizado (Zn), por imersão. Corrosão em ambiente rico em enxofre. [71]

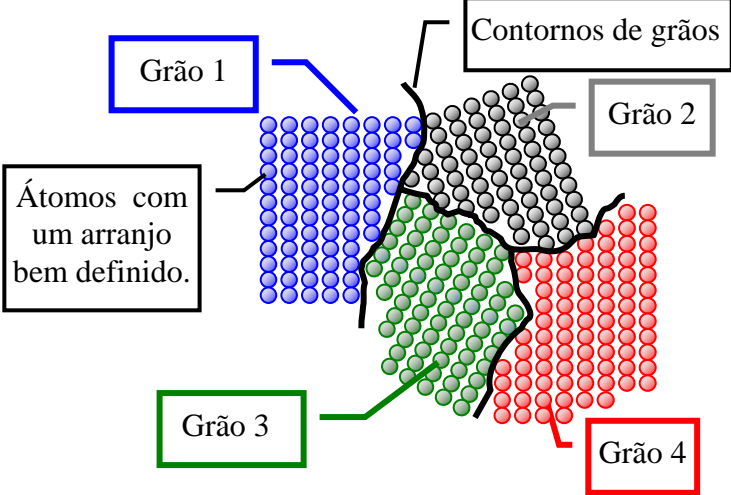
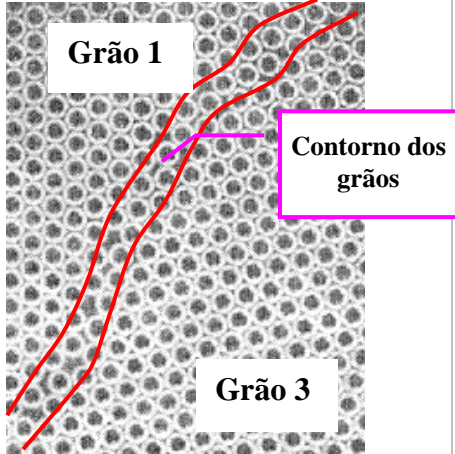

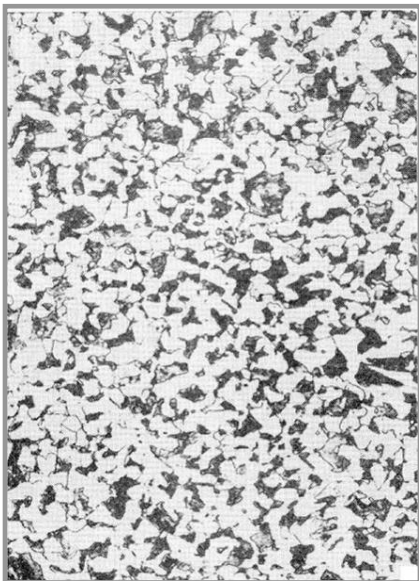
**OBSERVAÇÃO :** Importante é observar que a ruptura dos tubos se dá nos contornos dos grãos, pois aí a corrosão é sempre maior. A espessura útil da parede do tubo diminui e, portanto, a resistência também.

## EXEMPLO Nº 158 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Tubo,  $\phi=1200\text{mm}$ , de recalque de esgoto. Rio de Janeiro / 2003.

**FISSURAÇÃO :** Ruptura ao longo de geratriz do tubo, seguindo os contornos dos grãos.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :** Fissuras ao longo dos contornos dos grãos.

<b>CONTORNOS DE GRÃOS</b>	
	
<p>A microestrutura de muitos materiais consiste de inúmeros grãos. Um grão é uma porção do material dentro da qual o arranjo dos átomos é idêntico.</p> <p>A orientação dos arranjos, é diferente em cada um dos grãos adjacentes. A fronteira entre os grãos é o chamado contorno dos grãos. Essa fronteira é desordenada. A largura dessa região desordenada, é pequena, da ordem de 1 a 2 átomos. O comprimento, no entanto, pode ser grande.</p>	<p>Simulação do contorno de grãos por meio de bolhas de sabão sobre a água. Uma característica da região dos contornos de grão é que ela é muito estreita. Ver Derek Hull [132]</p> <p>A fronteira entre os grãos é mais corrosível, porque os átomos estão desordenados.</p>
	
<p>Grãos do Ferro Comercialmente Puro Aumento 200 X</p>	<p>Grãos de Aço com 0,3% de Carbono Aumento 200 X</p>
<p>Ver : Vicente Chiaverini - <i>Aços-Carbono e Aços-Liga</i> [135] e Hubertus Colpaert - <i>Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns</i> [137]</p>	

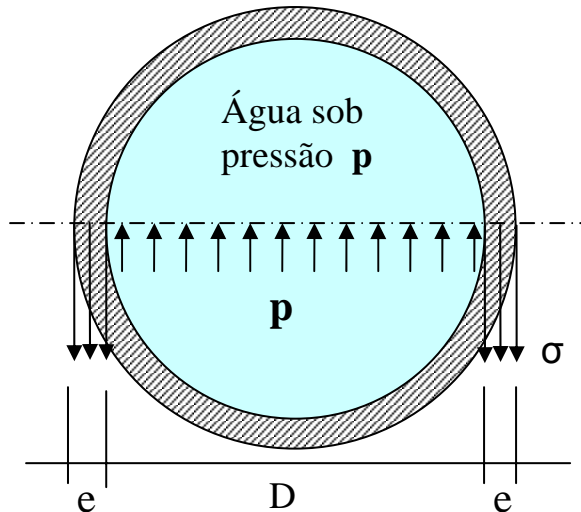


**EXEMPLO N<sup>o</sup> 158 : ( CONTINUAÇÃO )**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Tubo,  $\phi=1200\text{mm}$ , de recalque de esgoto. Rio de Janeiro / 2003.

**FALHA :** Ruptura ao longo de geratriz do tubo.

**ESQUEMA:**



O equilíbrio das forças que atuam em um plano, contendo um diâmetro e o eixo do tubo, resulta em:

$$p \times D = 2 \times e \times \sigma \quad ; \quad \sigma = \frac{p \times D}{2 \times e}$$

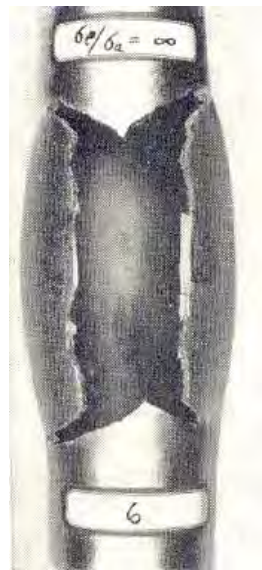
*Exemplo :*

$$p = 180 \text{ t/m}^2 \quad ; \quad D = 1,2 \text{ m}$$

$$e = 5/8'' = 1,6 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{180 \text{ ( t/m}^2\text{)} \times 1,2 \text{ m}}{2 \times 0,016 \text{ m}}$$

$$\sigma = 6750 \text{ (t/m}^2\text{)} = 675 \text{ kgf/cm}^2$$



Em ensaios feitos em laboratório, com tubos de aço sem corrosão, as rupturas ocorrem segundo a geratriz do tubo.

As rupturas não são exatamente linhas retas, pois os “grãos” do aço formam contornos irregulares. Ver Nadai A. [136]

**SOLUÇÃO :** Segundo Vicente Gentil [71] : “ O sistema de proteção mais usual , em tubulações de maior responsabilidade , como oleodutos, gasodutos, aquedutos e minerodutos, é aquele que utiliza o revestimento protetor e a proteção catódica por corrente impressa.

...

O revestimento geralmente apresenta falhas, originadas por aplicação deficiente ou manipulação não cuidadosa, constituindo-se em pequenas áreas anódicas.

...

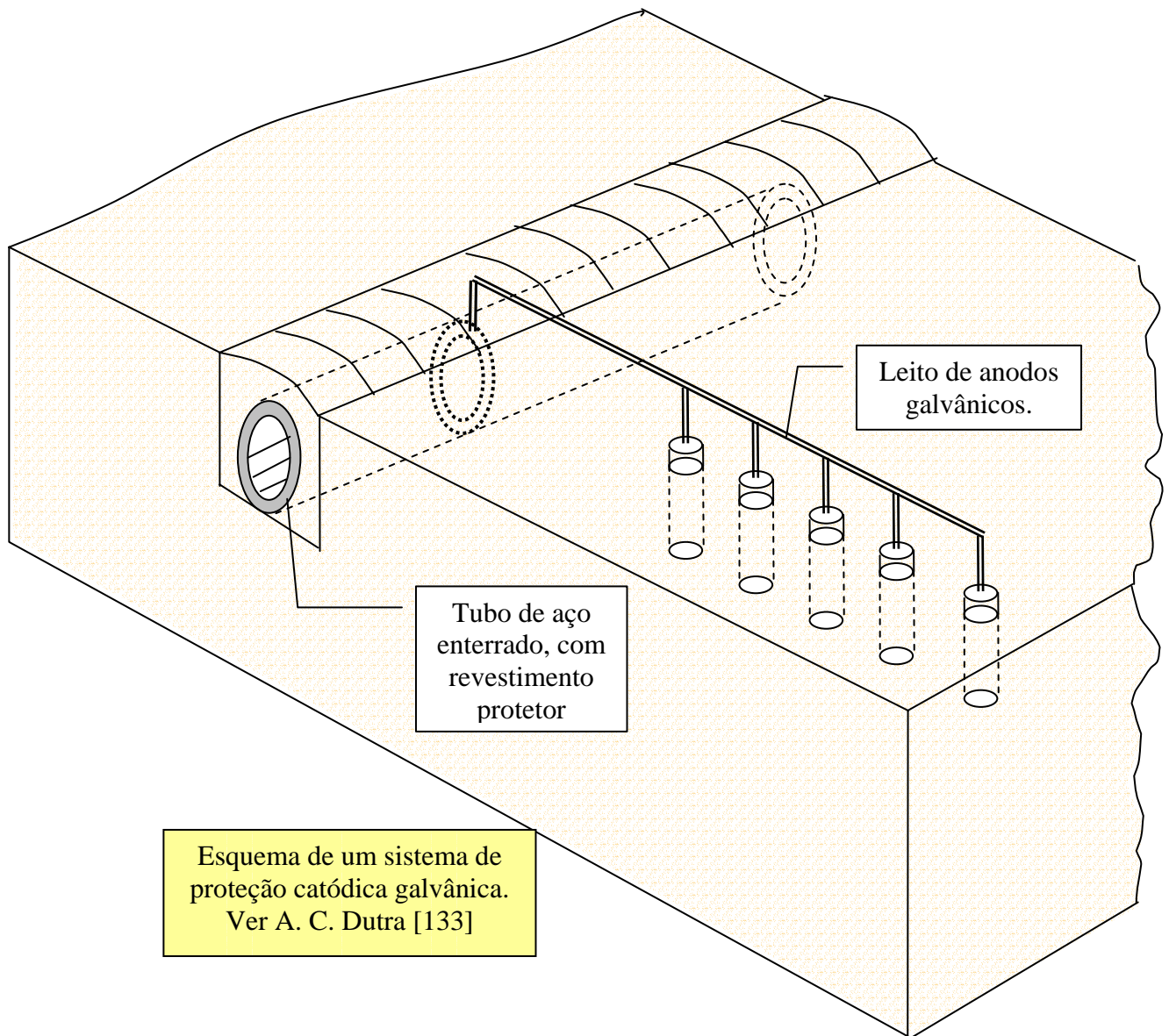
A proteção catódica protegerá essas áreas e o revestimento diminuirá a corrente requerida para a proteção catódica.”

### EXEMPLO Nº 158 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA :** Dutos de aço enterrados, como aquedutos, minerodutos, gasodutos, oleodutos, etc., sujeitos a ataques de sulfatos e cloretos.

**SOLUÇÃO :** Usar revestimento protetor e proteção catódica.

**ESQUEMA SIMPLIFICADO :**



### COMENTÁRIOS:

Segundo A.C. Dutra em seu livro - *Proteção Catódica* -1999 - [133]:

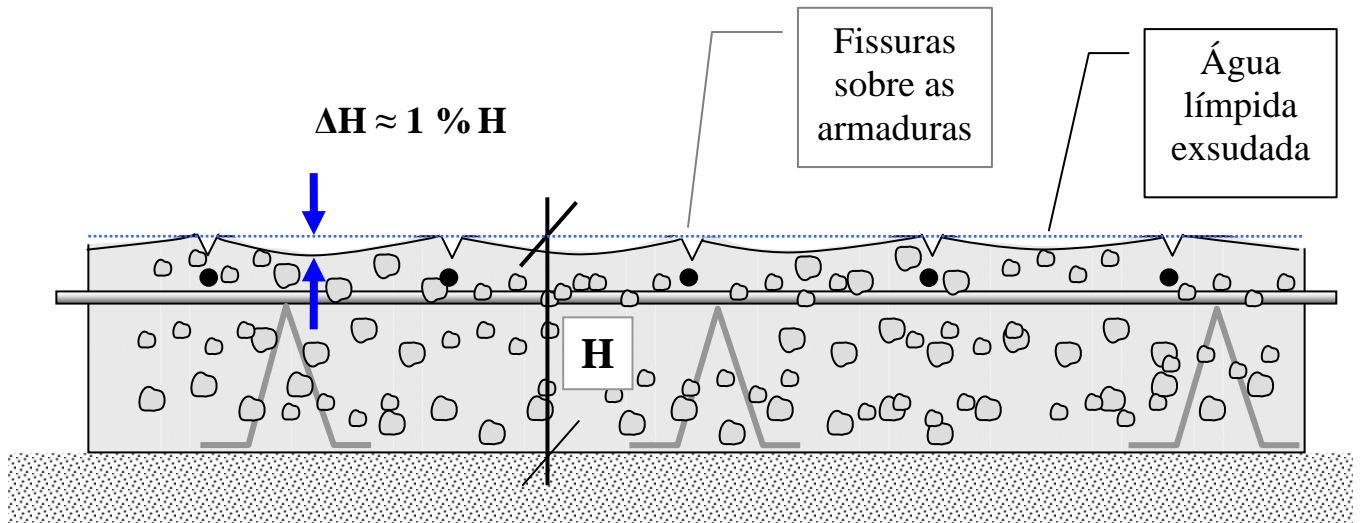
- “ O processo de controle por proteção catódica é empregado em associação com o uso de revestimentos protetores.”
- “ É de fundamental importância o emprego de revestimento em tubulações enterradas”.
- “Revestimentos externos para tubulações, cada um com um diferente “grau de eficiência”:
  - Polietileno extrudado. ( 99% )
  - Esmalte de piche de carvão.( 99%)
  - Asfalto. ( 97% a 70%)
  - Fitas plásticas. ( 60% )
  - Espuma rígida de poliuretano. ( 97 % )
  - Tintas betuminosas. ( 60 %)”
- “Os principais anodos usados para tubulações de aço são ligas de Magnésio, ligas de Zinco e ligas de Alumínio.”

### EXEMPLO Nº 159 :

**TIPO DE ESTRUTURA:** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras sobre as armaduras superiores.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**CAUSA DAS FISSURAS :** Exsudação da água do concreto ( bleeding ) e “auto-adensamento” dos sólidos dentro do concreto.

- Após o lançamento do concreto e após a vibração, as pedras e a areia, com densidade  $\gamma \approx 2,65$  tendem a descer dentro da pasta de cimento  $\gamma \approx 1,85$ . É o chamado auto-adensamento dos sólidos. Uma parte da água, límpida, com densidade  $\gamma = 1,0$ , sobe, e aflora na superfície da laje. A água que está reagindo com o cimento não sobe.
- Segundo os ensaios e medições de Treval C. Powers, [ 134 ], o assentamento  $\Delta H$  da superfície do concreto pode atingir até de 1% da altura  $H$  da peça de concreto. Em uma laje com 22cm o assentamento  $\Delta H$  é da ordem de 2mm. Para fator “água/cimento”  $< 0,50$  o auto-adensamento é desprezível.
- Esse assentamento  $\Delta H$  ocorre se a peça for concretada rapidamente, de uma só vez. Se a peça for concretada em várias etapas, os fenômenos de exsudação e de auto-adensamento serão reduzidos.
- Se a armadura superior da laje estiver bem apoiada no fundo da laje, por meio de cavaletes, ela não poderá acompanhar o movimento descendente da pedra e da areia dentro do concreto. Formam-se, em conseqüência, fissuras na superfície do concreto, exatamente sobre essas armaduras. Ver foto na próxima página, Andriolo [139].
- Se a espessura é grande e a concretagem da peça é lenta, dando tempo para que o concreto das camadas inferiores enrijeça, o auto-adensamento fica reduzido.

**SOLUÇÃO 1 :** Usar Re-vibração no concreto. Mesmo depois do chamado “período de dormência”, pode-se adotar uma Re-vibração do concreto. Segundo Andriolo [139] pode-se usar Re-vibração até 4 a 6 horas após a mistura da água no concreto.

Um modo simples de avaliar se a Re-vibração ainda pode ser usada é colocar o vibrador desligado sobre a superfície do concreto. Se o vibrador desligado penetrar no concreto, o concreto ainda está plástico e pode ser revibrado.

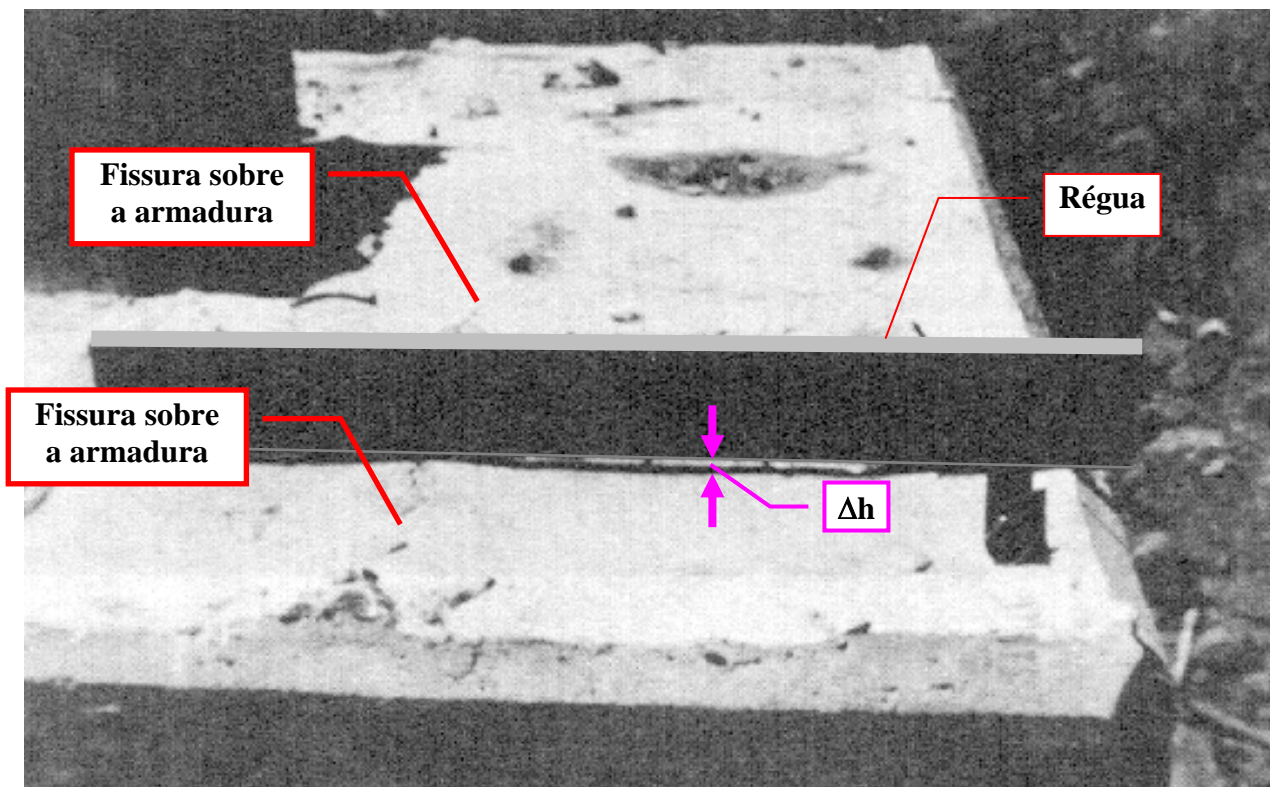
**SOLUÇÃO 2 :** Usar adições como a micro-sílica, que, sendo cerca de 100 vezes mais fina que o cimento, impede que a água “suba” dentro do concreto. A micro-sílica impede o auto-adensamento do concreto.

**EXEMPLO Nº 159 : ( CONTINUAÇÃO )**

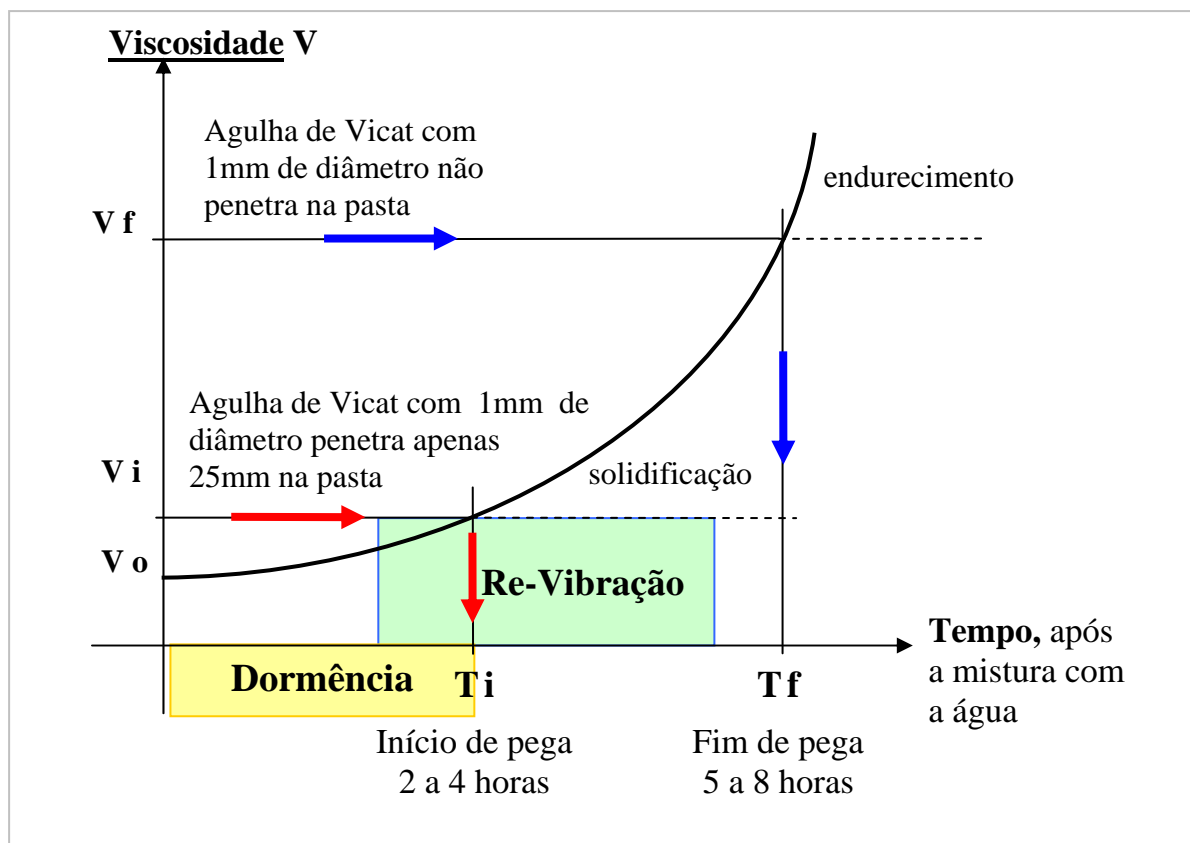
**TIPO DE ESTRUTURA:** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras sobre algumas armaduras superiores.

**ESQUEMA DAS FISSURAS:** Semelhante à fissura por nós observada é a citada por Andriolo [139]. A foto mostra um bloco com auto-adensamento do concreto e com fissuras sobre algumas armaduras.



**COMENTÁRIO :** O período adequado para uso da Re-vibração pode ser determinado medindo-se a viscosidade do concreto com a agulha de Vicat. É o ensaio de “tempo de pega”.

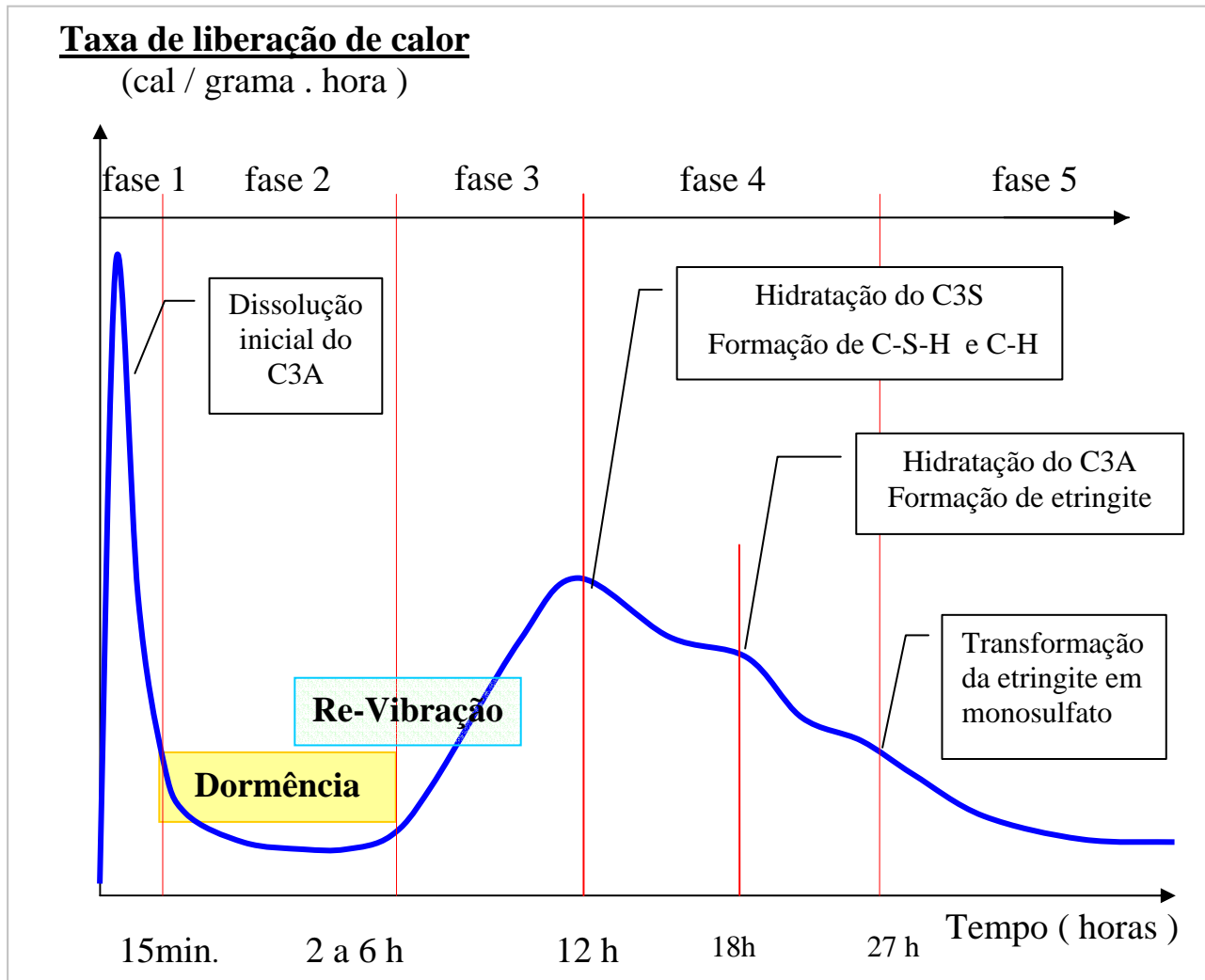


### EXEMPLO Nº 159 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA :** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras sobre as armaduras superiores.

**COMENTÁRIO :** O período adequado para uso da Re-vibração também pode ser determinado medindo-se a taxa de emissão de calor do cimento .



Os diversos componentes do cimento C3A, C3S se hidratam em momentos diferentes.

O primeiro a ser dissolvido é o  $C3A = 3CaO \cdot Al_2O_3$ . A seguir se hidrata o  $C3S = 3CaO \cdot SiO_2$ .

Segundo Andriolo [139], um concreto com fator “água / cimento” = 0,55 , D máx. = 19mm e em um ambiente com uma temperatura de  $25^{\circ}C$ , pode ser submetido à Re-vibração até 4 horas depois da mistura do cimento com a água.

Segundo [139], a Re-vibração, quando bem feita, aumenta a resistência do concreto re-vibrado. Ensaios feitos durante a construção da barragem de Itaipu mostraram um aumento de até 25% na resistência à compressão.

**EXEMPLO Nº 160 :**

**TIPO DE ESTRUTURA:** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras formadas logo após a concretagem.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :**



**Fissura de Retração Plástica**

Definição da Norma DNIT 061/2004 -TER :

“Fissuras de Retração Plástica são fissuras pouco profundas ( superficiais) de pequena abertura ( inferior a 0,5mm ) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa.” ( ✂ )

DNIT - Ministério dos Transportes.  
*Pavimento Rígido - Defeitos - Terminologia*  
IPR- Instituto de Pesquisas Rodoviárias

**COMENTÁRIOS :**

( ✂ ) Há uma grande influência da direção do lançamento do concreto, pois formam-se zonas de pequeno “engrenamento” entre os agregados, criando linhas de menor resistência. Aí se formam as fissuras de retração plástica.

( ✂ ) As fissuras se formam na direção perpendicular à direção do vento.

- **CAUSA:** *Evaporação da água do concreto logo após o lançamento do concreto.*  
Após o lançamento do concreto e após a vibração, as pedras e a areia, com densidade  $\gamma \approx 2,65$  tendem a descer dentro da pasta de cimento, com densidade  $\gamma \approx 1,85$ . É o chamado auto-adensamento dos sólidos. Uma parte da água, límpida, com densidade  $\gamma = 1.0$ , sobe, e aflora na superfície da laje. A água que está reagindo com o cimento não sobe. A água, que aflora na superfície do concreto, evapora. O concreto tem seu volume reduzido na superfície, e fissura.
- Essa fissura, que se forma por retração do concreto, ainda plástico, é a chamada *fissura de retração plástica*. Ver [145]

## EXEMPLO Nº 160 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras formadas logo após a concretagem.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :** Fissuras “paralelas”.



O espaçamento observado entre as fissuras “paralelas” varia até 60cm.

Os comprimentos das fissuras são grandes, atingindo mais de 1,0 m.

Se surgirem fissuras de retração plástica durante a concretagem, ou pouco depois, pode-se usar uma Re-vibração para eliminá-las.

Ver S. Kosmatka - PCA [145] “Design and Control of Concrete Mixtures”.

### COMENTÁRIOS :

1. Há uma grande influência da direção do lançamento do concreto, pois formam-se zonas de pequeno “engrenamento” entre os agregados, criando linhas de menor resistência. Aí se formam as fissuras de retração plástica.
2. As fissuras tendem, também, a se formar na direção perpendicular à direção do vento.
3. A distância entre as fissuras “paralelas”, devidas à retração plástica, é em torno de 3 vezes a espessura da laje.

**SOLUÇÃO 1 :** Seguir as recomendações da PCA ( Portland Cement Association). Ver [ 145 ]

- Usar água fria na mistura. Se necessário, usar gelo misturado na água para obter uma temperatura do concreto  $T < 20^{\circ}\text{C}$ .
- Proteger os agregados da incidência do sol.
- Em épocas muito quentes, concretar à noite, pois a temperatura estará mais baixa.
- Não concretar com vento forte.
- Cobrir o concreto com esteiras encharcadas com água, logo após a concretagem.
- Para facilitar a avaliação de todos os fatores que influenciam o surgimento de fissuras durante a concretagem, pode-se usar o gráfico da ACI 305R-91 – *Hot Weather Concreting*, elaborado com base nos ensaios de Lerch William - ACI Journal 1957.
- Ver o gráfico na página 4 adiante.

### SOLUÇÃO 2 :

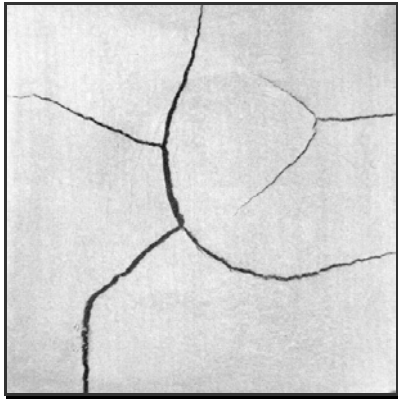
- Usar fibras de polipropileno misturadas no concreto.
- Com 0,50 kg de fibras /  $\text{m}^3$  de concreto, ficam eliminadas as fissuras da retração plástica. As aberturas “w” de eventuais fissuras ficam reduzidas a  $w < 0,05\text{mm}$ . Ver ensaios, Nippon [140] e Unicamp [141].
- Evitar o uso de mais que 2,0 kg de fibras /  $\text{m}^3$  de concreto, pois a trabalhabilidade do concreto fica muito reduzida. Unicamp [141].

**EXEMPLO Nº 160 : ( CONTINUAÇÃO )**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras formadas logo após a concretagem.

**ESQUEMA DAS FISSURAS :** As fissuras observadas são semelhantes às mostradas abaixo.



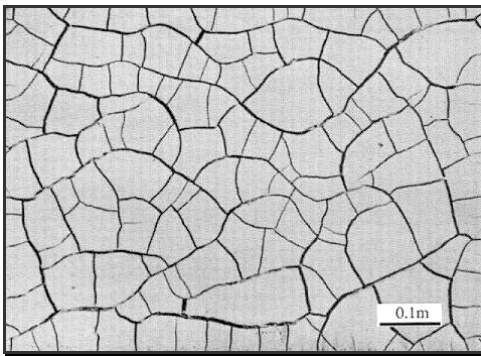
**Pasta de Cimento Portland.**

Largura da foto = 5cm. Ver [142]  
As fissuras se encontram a 90 graus.



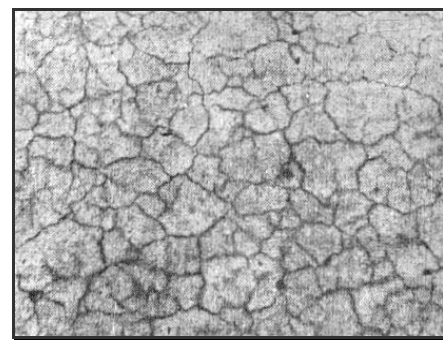
**Pasta de Cimento Portland+Micro-sílica.**

Largura da foto = 5cm. Ver [142]  
As fissuras se encontram a 90 graus.

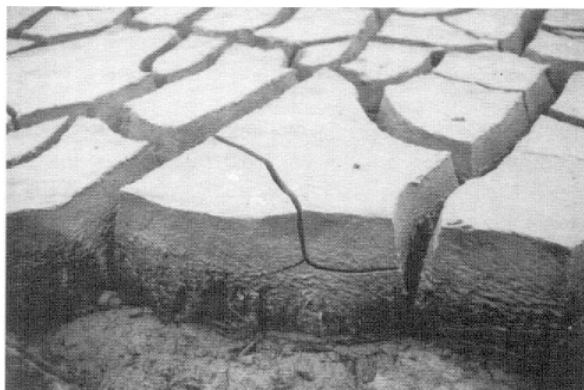


**Pasta de solo, após a secagem. [&]**

Largura da foto = 82 cm. Ver [144].  
Predominam os quadriláteros e os pentágonos



**Concreto :** Largura da foto = 158 cm [ж ж]  
Ver [143]. A distância entre as fissuras é em torno de 3 vezes a espessura da laje. [ж]



**Argila após secagem -** Largura da foto ≈70cm  
Jan Bisschop - Ver [153]



**Solo argiloso, após secagem. [&]**  
Predominam os quadriláteros e os pentágonos

**COMENTÁRIOS :**

[ж] Há uma influência da direção do lançamento do concreto, pois formam-se zonas de pequeno “engrenamento” entre os agregados, criando linhas de menor resistência. Aí se formam as fissuras de retração plástica. As fissuras tendem a se formar na direção perpendicular à direção do vento.

[ж ж] Quando o concreto é espalhado sem predomínio de uma direção, formam-se fissuras de retração plástica em forma de polígonos. Predominam os quadriláteros e os pentágonos.

[&] O comportamento do solo argiloso ressecado é semelhante ao do concreto ressecado.



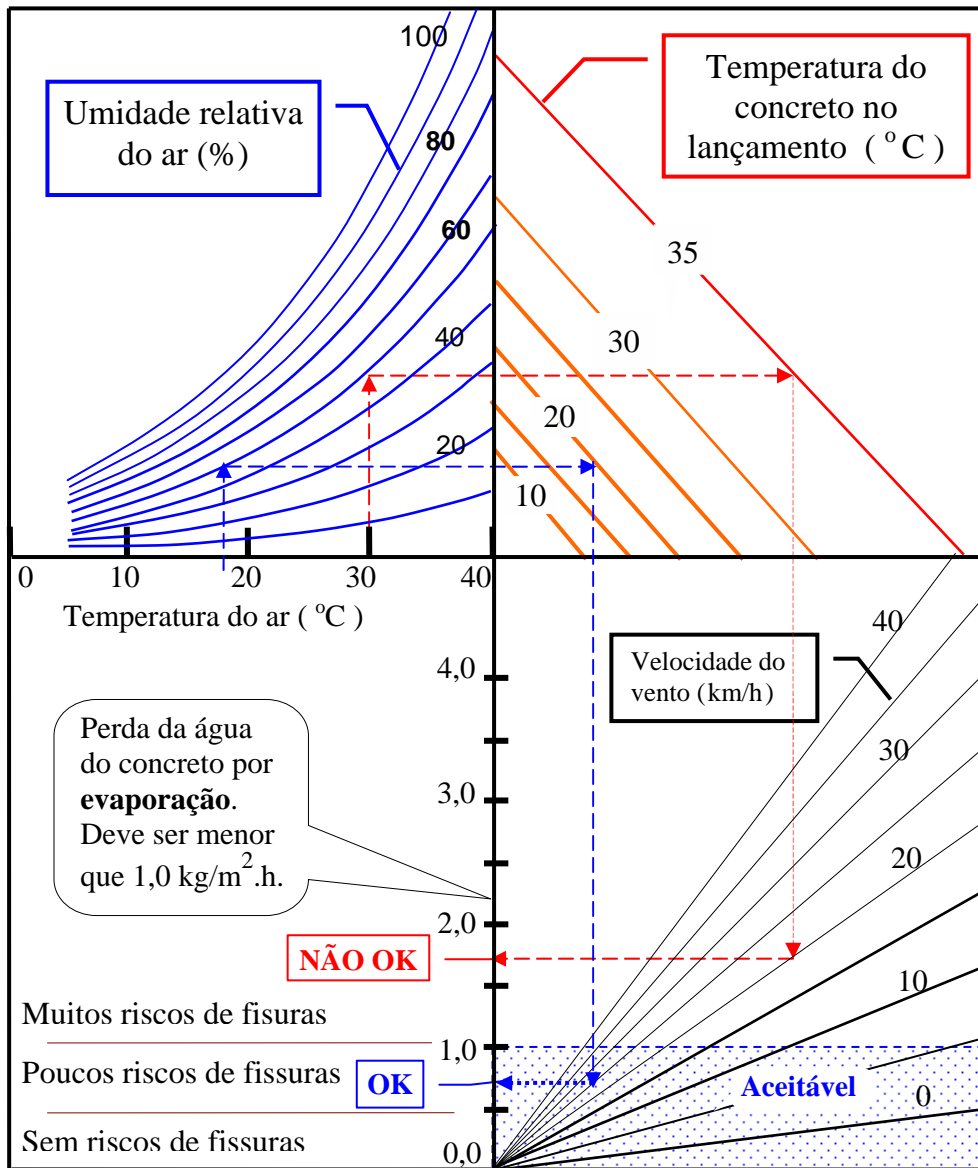
## EXEMPLO Nº 160 : ( CONTINUAÇÃO )

**TIPO DE ESTRUTURA:** Laje de concreto com 22cm de espessura, sobre o terreno.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras formadas logo após a concretagem, causadas pela Retração plástica.

**SOLUÇÃO :** Limitar a taxa de evaporação da água do concreto, usando concreto frio e não concretar em dia com muito vento. Seguir a sugestão da ACI 305R-91, mostrada abaixo.

Ensaio de *Lerch William* - ACI - Journal 1957  
ACI - 308-92 – Standard Practice for Curing Concrete  
ACI - 305R-91 – Hot Weather Concreting



**Exemplo 1:** Temperatura do ar = 30 °C; Umidade relativa do ar = 50 % ; Temperatura do concreto ao ser lançado = 35 °C ; Velocidade do vento = 20 km / hora . Obtemos no gráfico: Taxa de evaporação = 1,7 (kg / m<sup>2</sup>) / hora > 1,0 (kg / m<sup>2</sup>) / hora ⇒ **Com Riscos de Fissuras**

**Exemplo 2:** Temperatura do ar = 18 °C; Umidade relativa do ar = 50 % ; Temperatura do concreto ao ser lançado = 20 °C ; Velocidade do vento = 20 km / hora. Obtemos no gráfico : Taxa de evaporação = 0,7 (kg / m<sup>2</sup>) / hora < 1,0 (kg / m<sup>2</sup>) / hora ⇒ **Poucos Riscos de Fissuras**

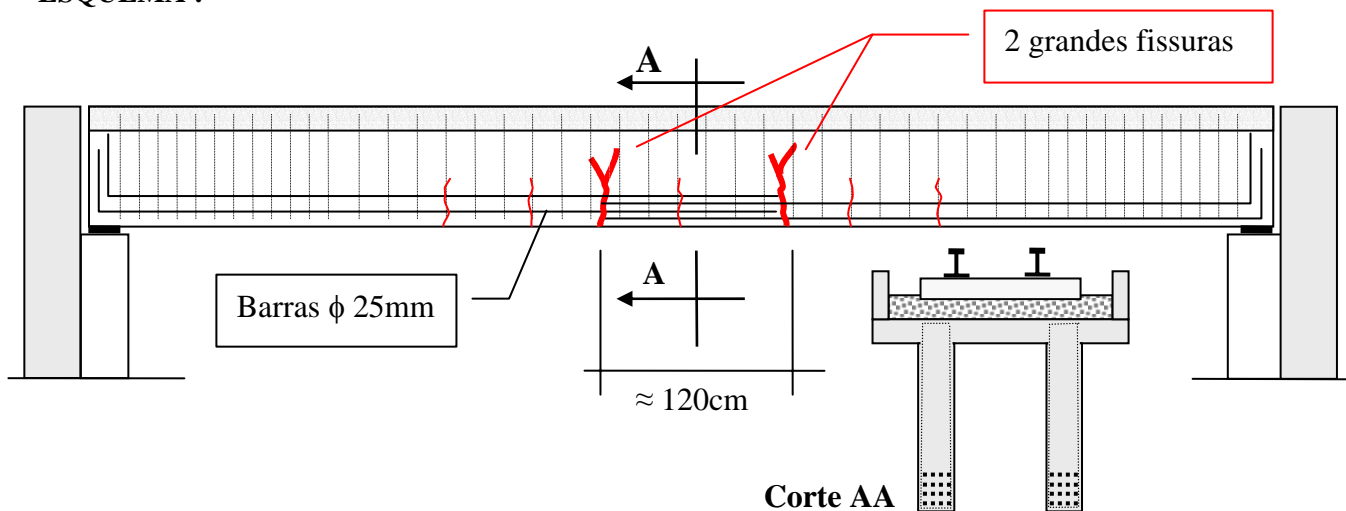
Observação : Entre 0,50 (kg / m<sup>2</sup>) / hora e 1,0 (kg / m<sup>2</sup>) / hora não há riscos de fissuração.

**EXEMPLO Nº 161 :**

**TIPO DE ESTRUTURA:** Ponte Ferroviária -Viga de concreto armado com um vão simples de 19m.

**FISSURAÇÃO :** Duas grandes fissuras espaçadas de  $\approx 120\text{cm}$ . Várias pequenas fissuras.

**ESQUEMA :**



**CAUSA :** O vão foi executado com comprimento insuficiente nas emendas das armaduras.

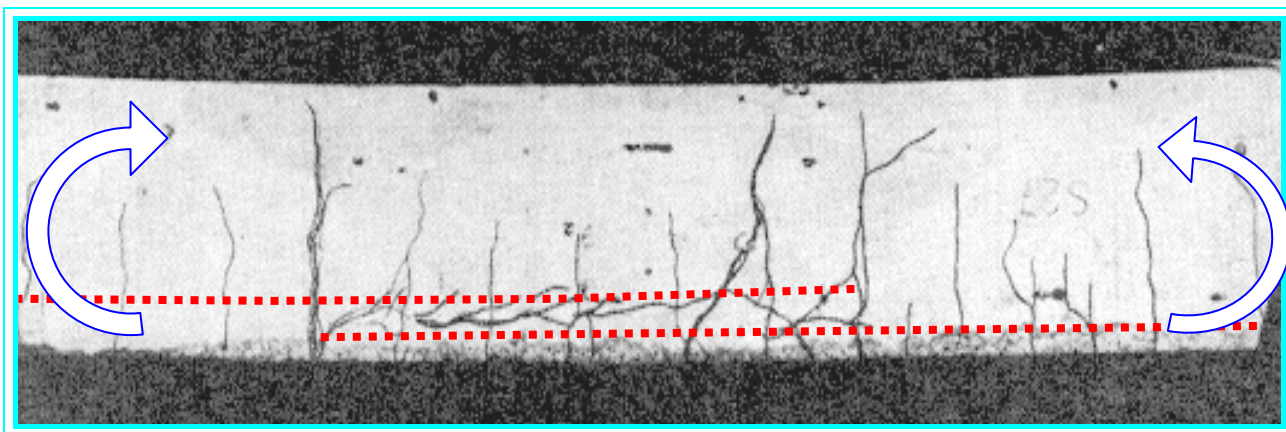
O comprimento da emenda deveria ser maior que  $200\text{cm}$ . O comprimento de  $120\text{cm}$  estava totalmente fora da norma. A emenda foi executada com 100% das barras emendadas em uma mesma seção.

**COMENTÁRIO:** Os ensaios de Y. Goto mostram como funciona a transmissão de carga entre duas barras tracionadas. Ver [146].



Ficam evidentes as bielas comprimidas inclinadas entre as barras.

Nas extremidades das barras formam-se fissuras de grande abertura e grande comprimento.



As grandes fissuras se formam nas extremidades das barras. Fissuras menores ocorrem sobre os estribos. Esse ensaio de Y. Goto mostra a mesma fissuração que foi observada na obra real. [146]

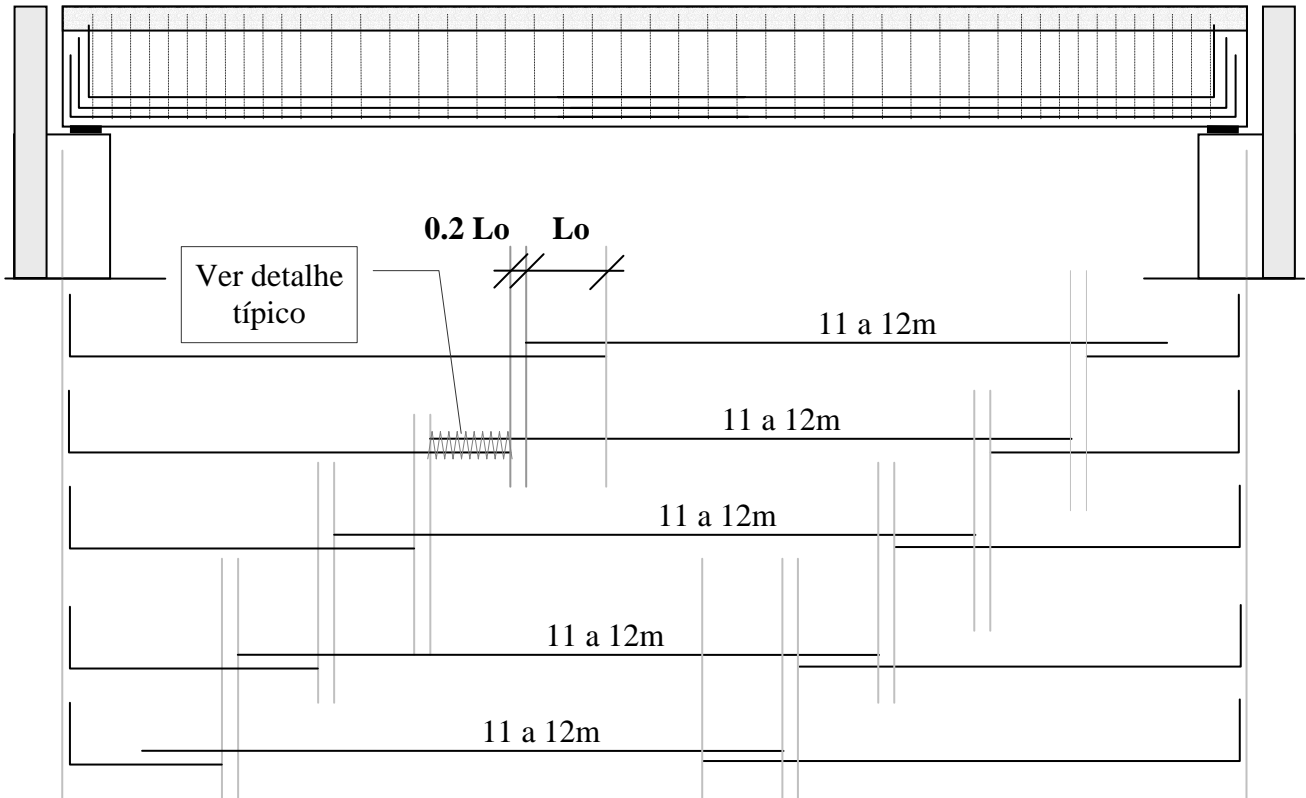
### EXEMPLO Nº 161 : CONTINUAÇÃO

**TIPO DE ESTRUTURA:** Ponte Ferroviária - Viga de concreto armado com um vão simples.

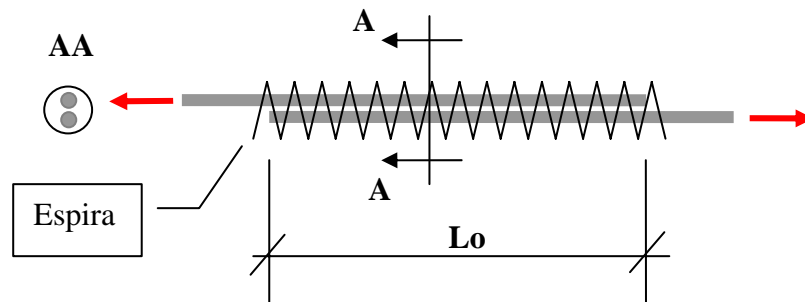
**FISSURAÇÃO :** Duas grandes fissuras espaçadas de  $\approx 120\text{cm}$ .

**SOLUÇÃO :**

- Usar comprimento de emenda  $L_o$ , correto, segundo a norma NBR 6118-item 9.5.2.2.
- Usar no máximo 20 % de emendas na mesma seção.
- Usar emendas defasadas, com distância,  $0,2 L_o$ , entre elas.
- Usar espiras ao longo das emendas.



**SUGESTÃO:** Detalhe típico das emendas com armadura transversal em espiras :



**ESPIRAS :**

$n$  = número de espiras em uma emenda. ;  $A_{\text{esp}}$  = Área da barra da espira.

$A_{\text{long}}$  = Área da barra longitudinal emendada. ;  $n \times (2 \times A_{\text{esp}}) = A_{\text{long}}$  ;  $n = \frac{A_{\text{long}}}{2 \times A_{\text{esp}}}$

**EXEMPLO :**

Barra longitudinal :  $\phi = 25\text{mm}$  ;  $A_{\text{long}} = 5,0\text{ cm}^2$ . Barra da espira :  $\phi = 6,3\text{mm}$  ;  $A_{\text{esp}} = 0,31\text{ cm}^2$

Número de espiras :  $n \geq \frac{A_{\text{long}}}{2 \times A_{\text{esp}}} = \frac{5,0\text{ cm}^2}{2 \times 0,31\text{ cm}^2} \geq 8$  espiras completas

Embora a norma NBR6118 sugira o uso de espiras apenas nas 2 extremidades da emenda, é mais prático estender a espira ao longo de todo o comprimento da emenda, ainda que se use mais espiras que o necessário.

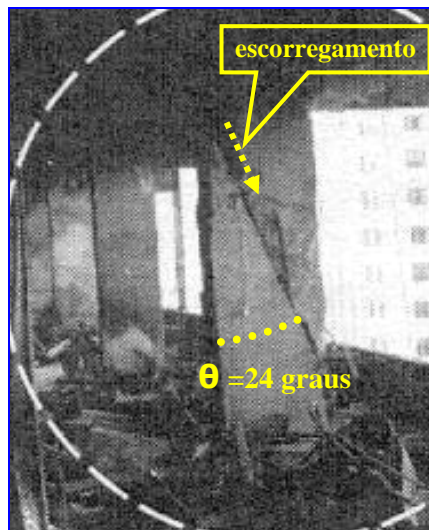
**COMENTÁRIO :** A ponte observada foi reforçada com protensão externa.

**EXEMPLO Nº 162 :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Incêndio em prédio de concreto armado.

**FISSURAÇÃO :** Ruptura inclinada de 24 graus em relação ao eixo do pilar.

**ESQUEMA :** Ver [117] - Clube de Engenharia / RJ



Ruptura em um plano inclinado cerca de 24 graus



Reforço com concreto de alta resistência e com muita armadura longitudinal e estribos.



Pilar já encamisado  
Ver [117] - Clube de Engenharia /RJ

**CAUSA :** A resistência do concreto diminui com o aumento de temperatura.

- Segundo observação, no local do incêndio, havia vidro “derretido”, o que mostra que a temperatura atingiu pelo menos 500°C, pois nessa temperatura o vidro começa a “amolecer”. Embora não haja um ponto bem marcado de fusão, a partir da temperatura de 700°C o vidro fica muito mole e pode ser trabalhado. Ver S.B.Maia [152] .
- Para uma temperatura de 500°C, a resistência do concreto à compressão é cerca de 60% da resistência a 20°C.

Temperatura T ( graus Celsius)	fc(T graus)/ fc(20graus) ( % )
20	100
100	98
200	94
300	86
400	75
<b>500</b>	<b>60</b>
600	44
700	29
800	14

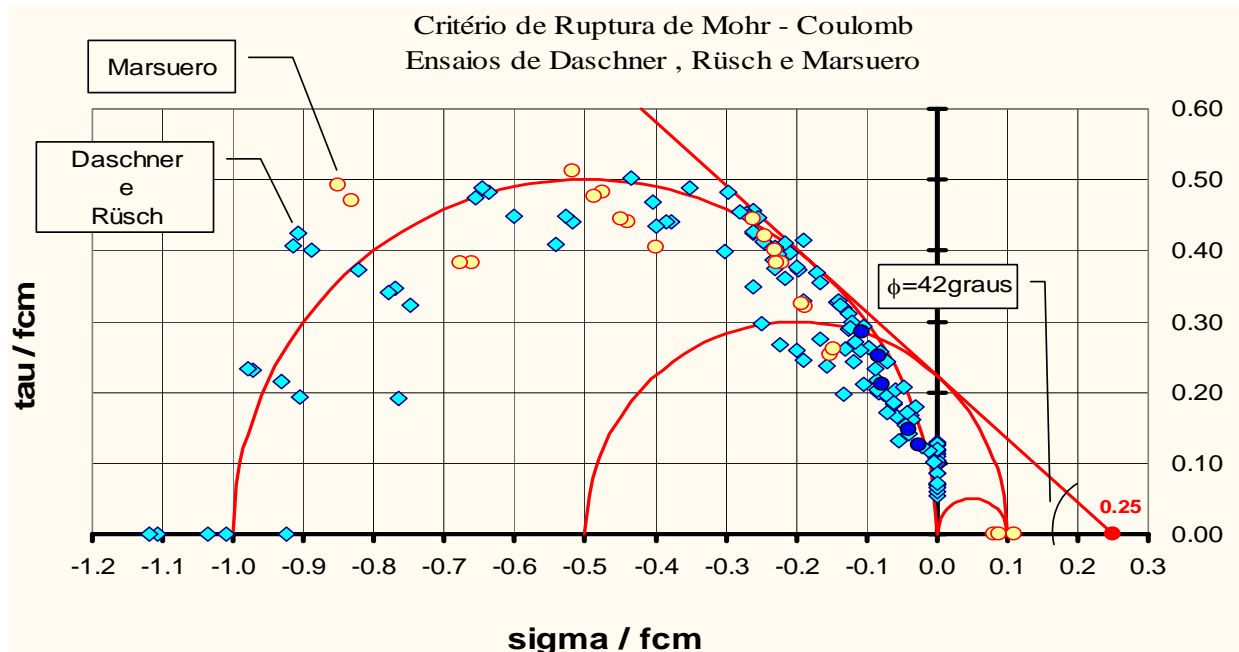
**OBSERVAÇÃO:** O ângulo de inclinação do plano de ruptura, em relação ao eixo do pilar, foi observado como sendo de  $\theta \approx 24$  graus. A tensão normal, atuante no topo do pilar, era igual à resistência à compressão a uma temperatura  $T \approx 500$  graus. A ruptura observada é a de escorregamento, havendo destruição de uma faixa do concreto com a largura de um agregado graúdo. Não é uma ruptura de tração, na qual ocorre a separação de duas superfícies, sem destruição das bordas da fissura.

### EXEMPLO Nº 162 : CONTINUAÇÃO

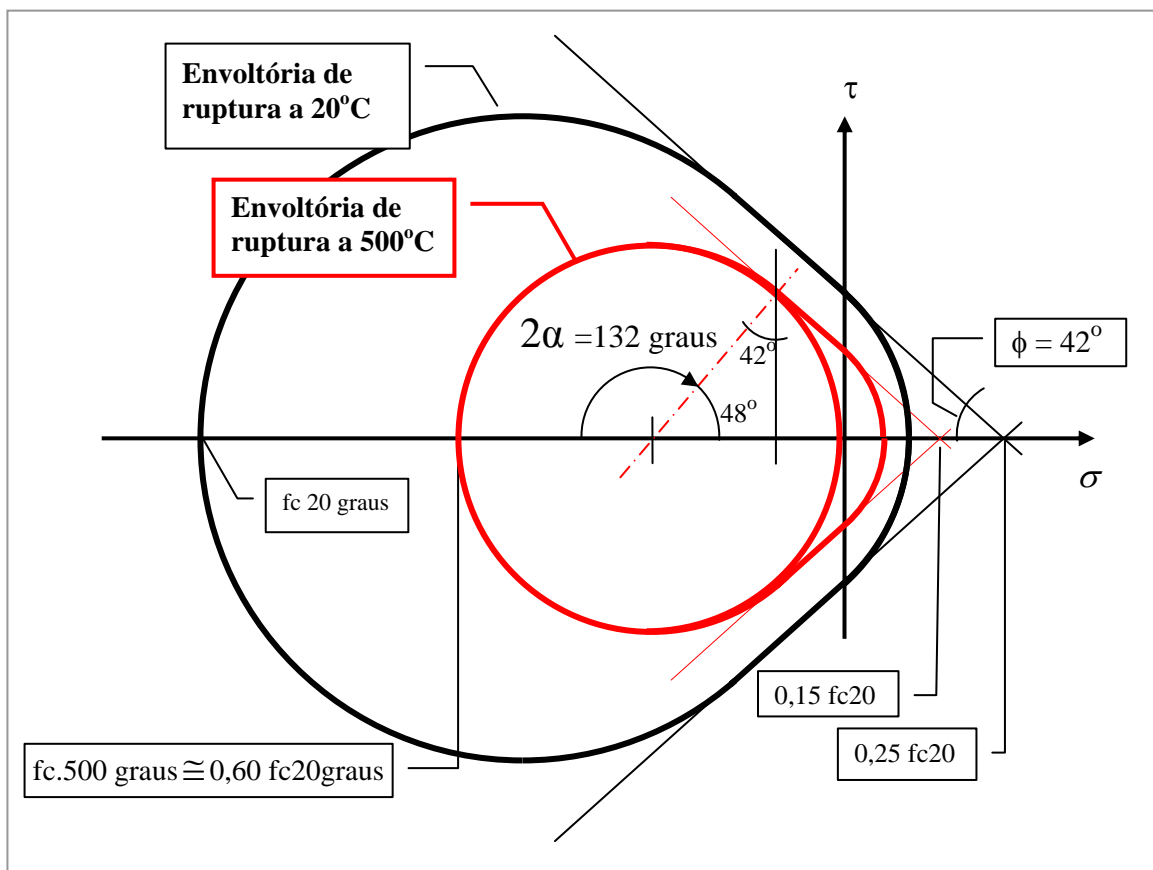
**TIPO DE ESTRUTURA :** Incêndio em prédio de concreto armado.

**FISSURAÇÃO :** Ruptura inclinada de 24 graus em relação ao eixo do pilar.

**ESQUEMA :** Ver Daschner F. [147] - Mansuero [149]



Envoltória de Mohr para a ruptura do concreto, comparada com ensaios de laboratório.



Envoltória de Mohr para o concreto sujeito a uma temperatura de 500°C.

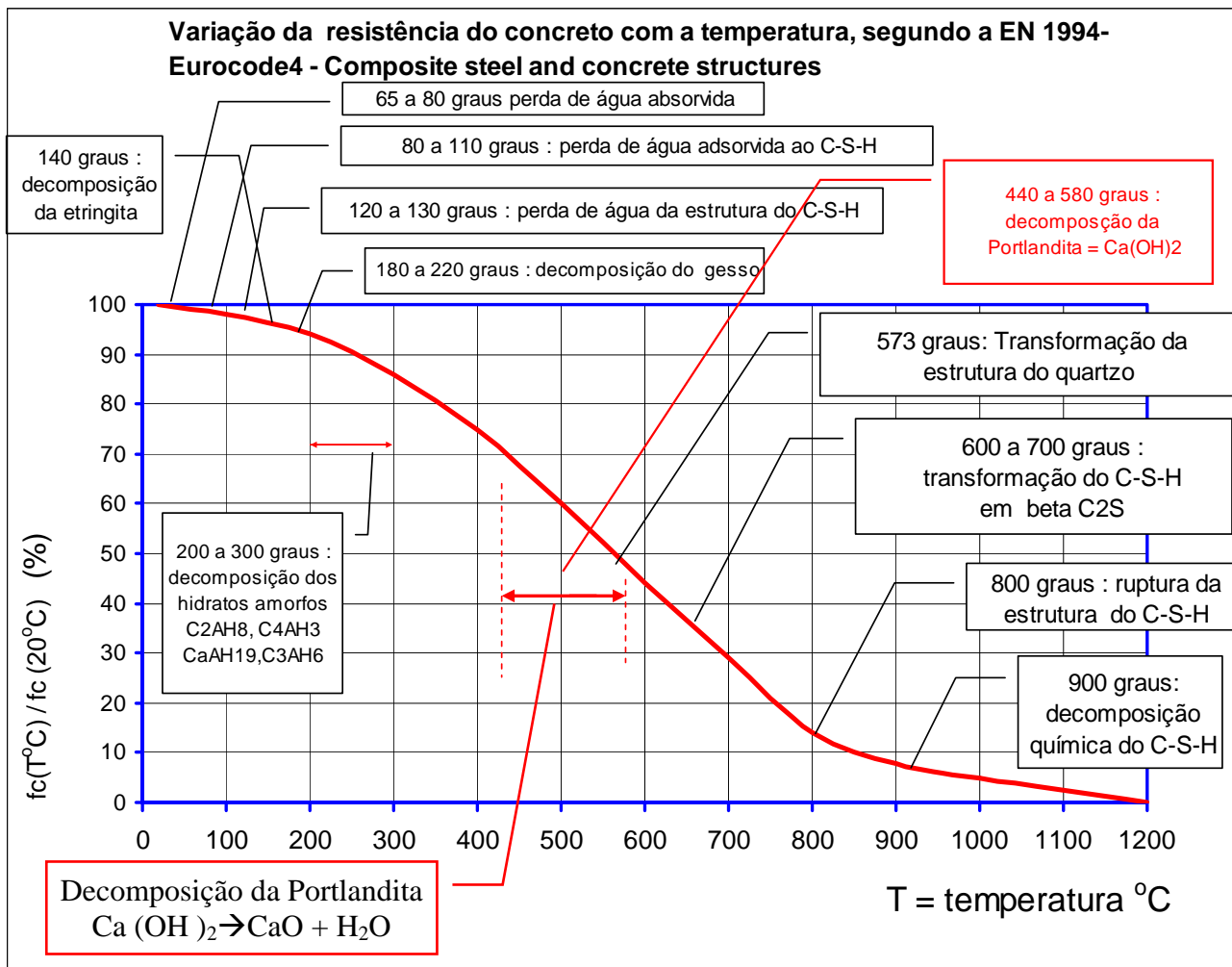
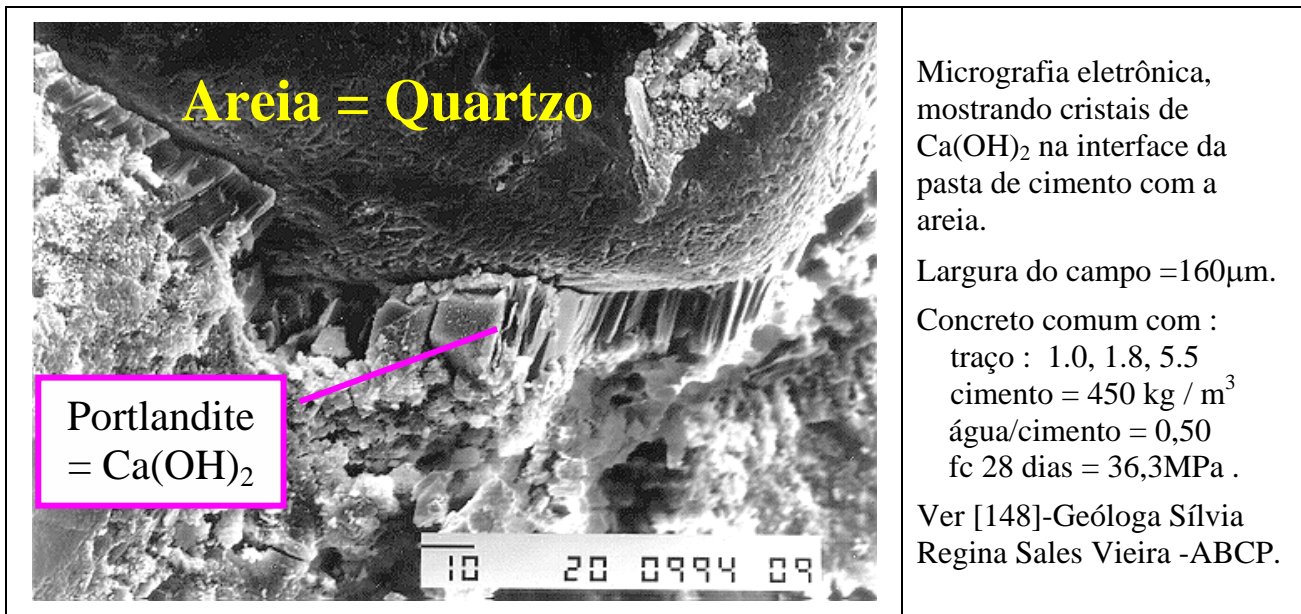
- Segundo a envoltória de MOHR , o ângulo  $2\alpha = 132$  graus. Logo  $\alpha = 66$  graus e o ângulo do plano de ruptura com o eixo do pilar vale  $\theta = (90 - 66) = 24$  graus.
- O ângulo observado no prédio incendiado foi  $\theta \approx 24$  graus, o que valida a envoltória de Mohr.

## EXEMPLO Nº 162 : CONTINUAÇÃO

**TIPO DE ESTRUTURA :** Incêndio em prédio de concreto armado.

**FISSURAÇÃO :** Ruptura inclinada de 24 graus em relação ao eixo do pilar.

**ESQUEMA :** Microestrutura de um concreto comum não submetido ao calor.



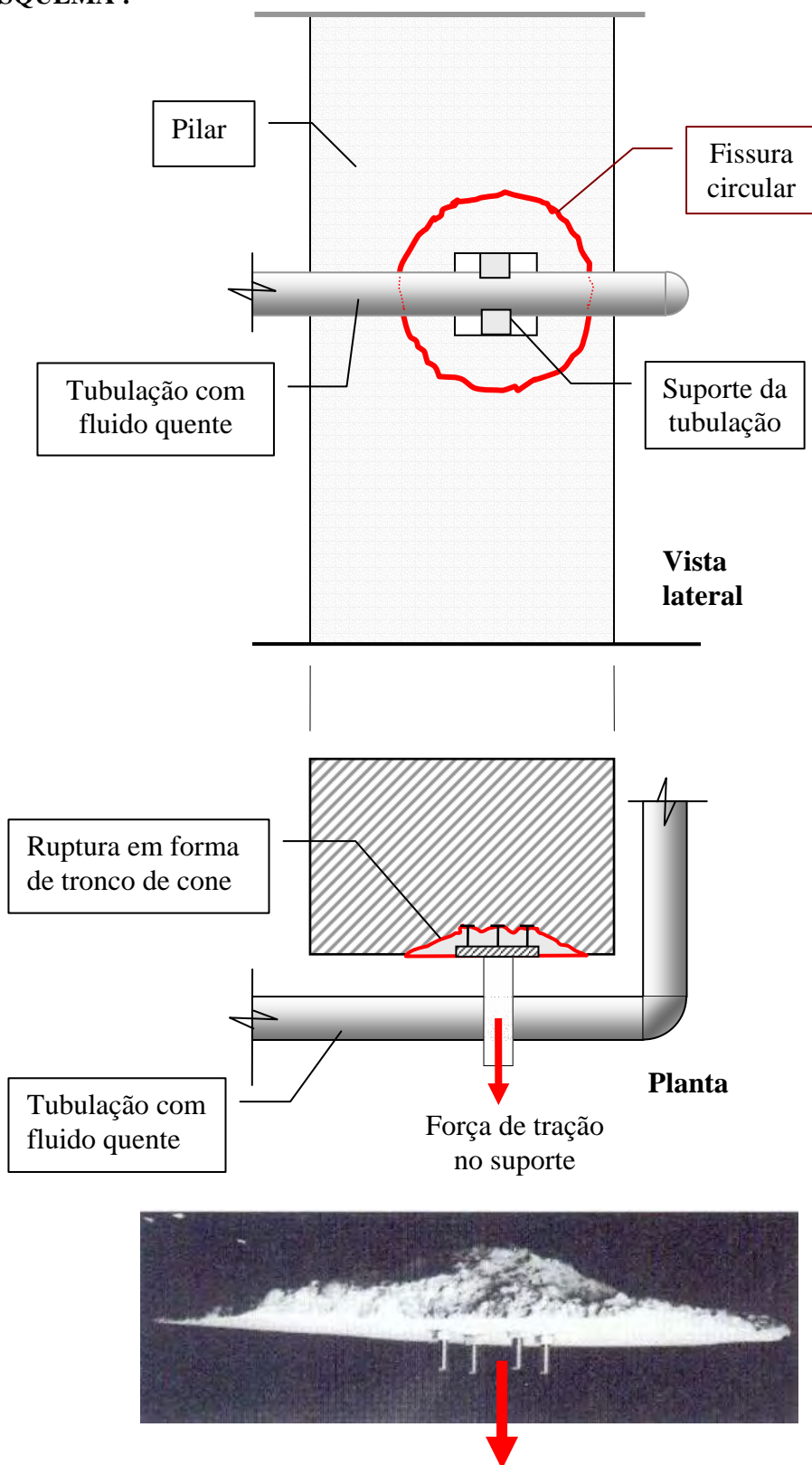
- Em temperaturas entre  $440^\circ\text{C}$  e  $580^\circ\text{C}$ , a Portlandita, isto é, os cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$ , se decompõem. Essa decomposição se localiza na interface entre a pasta de cimento e os agregados, onde existe maior quantidade de Portlandita,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Daí resulta ficar perdida a adesão entre a pasta endurecida de cimento e os agregados (pedras e areia). O concreto tem por isso uma grande perda de resistência.

**EXEMPLO Nº 163 :**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio de concreto armado em uma instalação industrial.

**FISSURAÇÃO :** Fissura em forma circular na face do pilar

**ESQUEMA :**



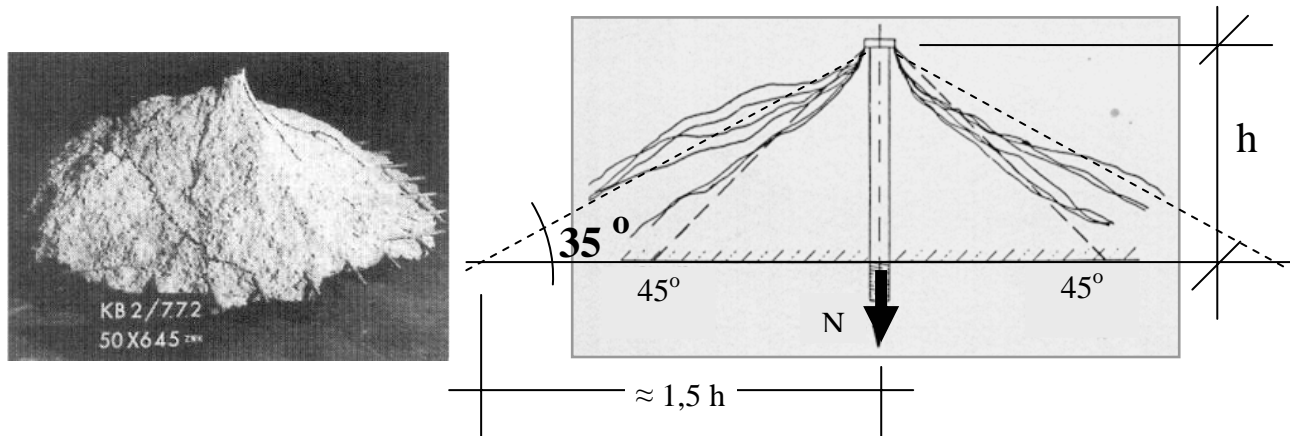
**CAUSA :** A dilatação da tubulação aquecida causou esforços de tração no suporte. Segundo Eligehausen [150], a ruptura do concreto se dá então por “arrancamento” de um tronco de cone. O detalhe dos chumbadores estava incorreto, pois foram usados chumbadores muito curtos e sem a armadura de suspensão.

**EXEMPLO Nº 163 : ( CONTINUAÇÃO )**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio de concreto armado em uma instalação industrial.

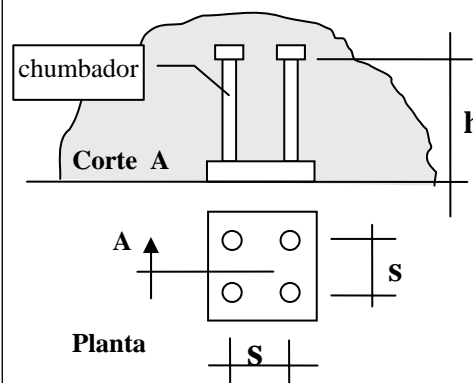
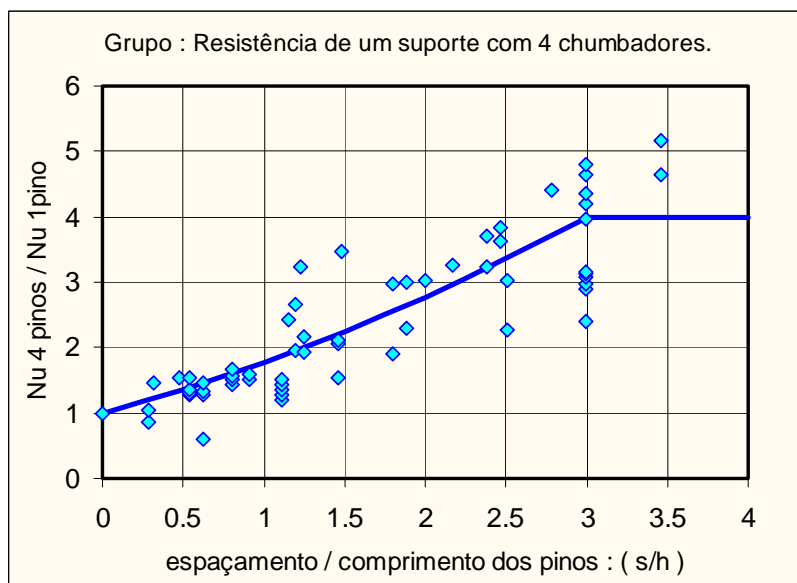
**FISSURAÇÃO :** Fissura em forma circular na face do pilar

**ESQUEMA :** Ruptura em forma de cone. Ver Eligehausen [150]



O cone de concreto arrancado tem um ângulo aproximado de 35 graus.

**OBSERVAÇÃO :** Deve ser considerado o “efeito de grupo”. A resistência de um grupo de chumbadores varia com o espaçamento “S” entre eles.



**Exemplo de efeito de grupo, segundo Eligehausen [150] :**

- Quanto menor o espaçamento entre os chumbadores, menor a resistência “Nu” à ruptura do grupo de chumbadores.
- Para um espaçamento muito pequeno, a resistência “Nu” do grupo de chumbadores se aproxima da resistência de um chumbador isolado.
- A partir de um espaçamento  $s = 3h$ , não há interferência entre as superfícies de ruptura de cada chumbador.
- Para um espaçamento  $s \geq 3h$ , a resistência “Nu” do grupo de chumbadores fica constante.

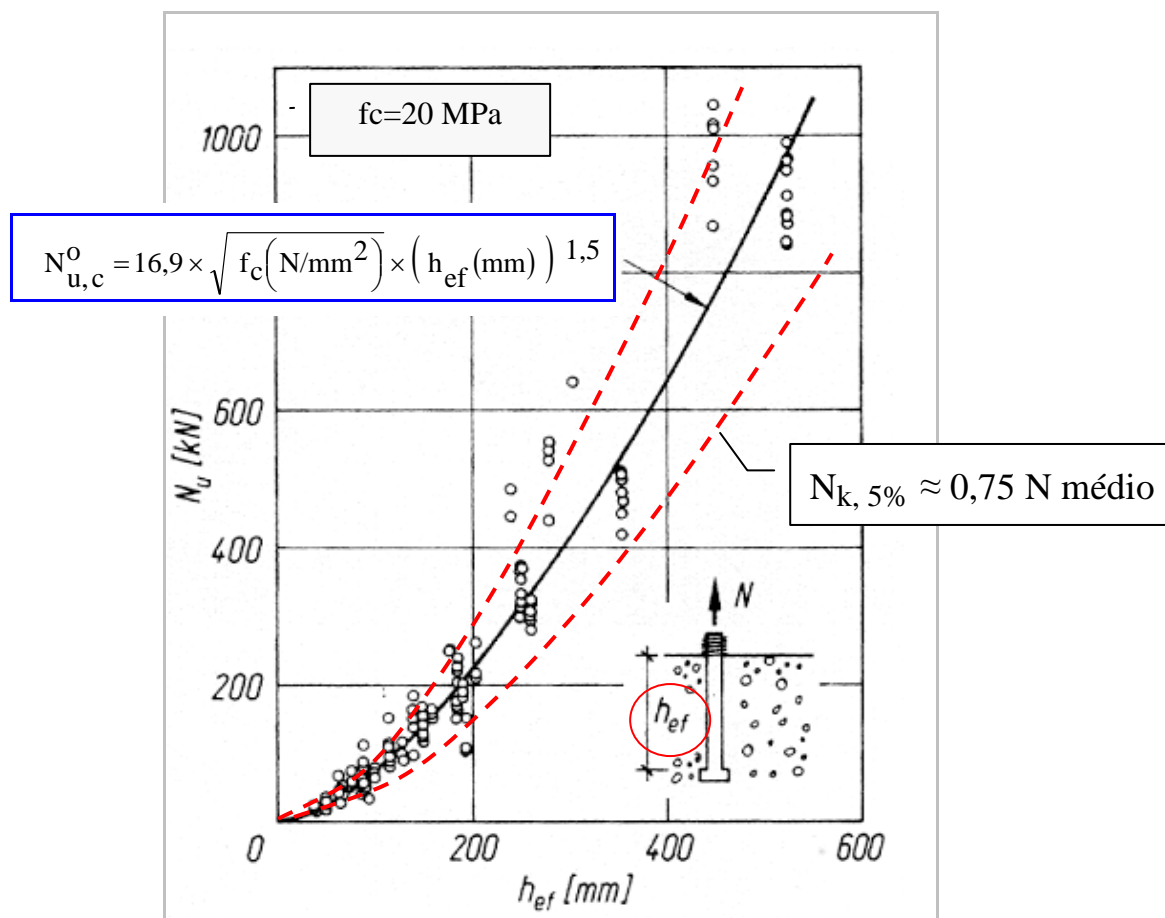


**EXEMPLO Nº 163 : ( CONTINUAÇÃO )**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio de concreto armado de instalação industrial.

**FISSURAÇÃO :** Fissura em forma circular na face do pilar.

**ESQUEMA :** Ruptura em forma de cone. Ver Eligehausen [150].



Segundo Eligehausen [150], a resistência média à tração de um chumbador isolado vale :

Eligehausen ver [150]

$$N_{u,c}, \text{média} \dots (N) = 16,9 \times \sqrt{f_c \text{ (N/mm}^2\text{)}} \times (h_{ef} \text{ (mm)})^{1,5} \dots \text{em concreto não fissurado}$$

O Comitê Europeu de Concreto, CEB [151] estima a resistência característica NRk, 5% em :

CEB ver [151]

$$N_{Rk, 5\%,c} \dots [N] = 12,6 \times \sqrt{f_c \text{ (N/mm}^2\text{)}} \times (h_{ef} \text{ (mm)})^{1,5} \dots \text{em concreto não fissurado}$$

CEB ver [151]

$$N_{Rk, 5\%,c} \dots [N] = 9,0 \times \sqrt{f_c \text{ (N/mm}^2\text{)}} \times (h_{ef} \text{ (mm)})^{1,5} \dots \text{em concreto fissurado}$$

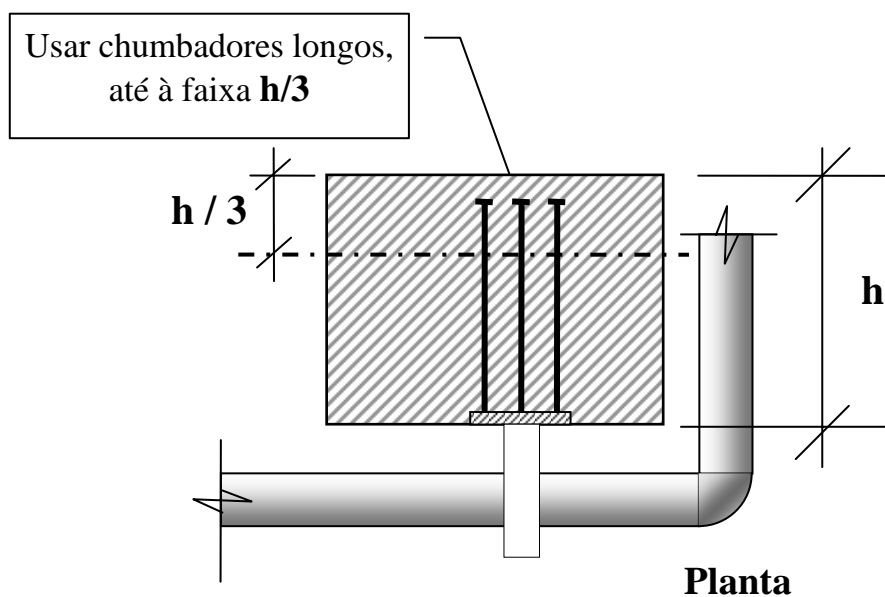
**OBSERVAÇÃO :** A resistência do suporte, com chumbadores tracionados, diminui em estruturas de concreto armado, que tenham fissuras de flexão.

**EXEMPLO Nº 163 : ( CONTINUAÇÃO )**

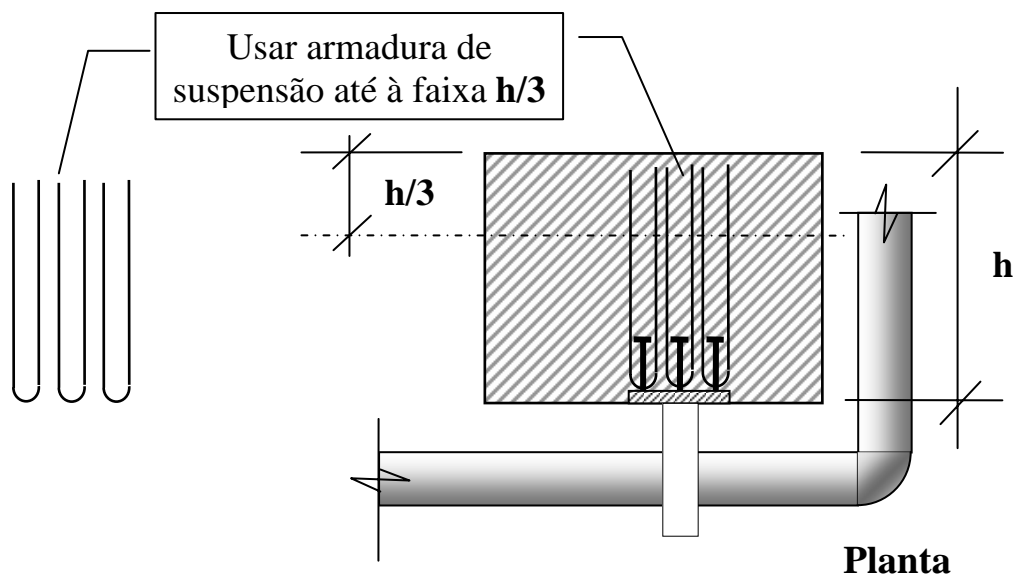
**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédio de concreto armado de instalação industrial.

**FISSURAÇÃO :** Fissura em forma circular na face do pilar.

**SOLUÇÕES :** Usar chumbadores longos ou armaduras de suspensão.



**SOLUÇÃO 1 :** Usar chumbadores longos.



**SOLUÇÃO 2 :** Usar armadura de suspensão longa, atrás dos chumbadores curtos.

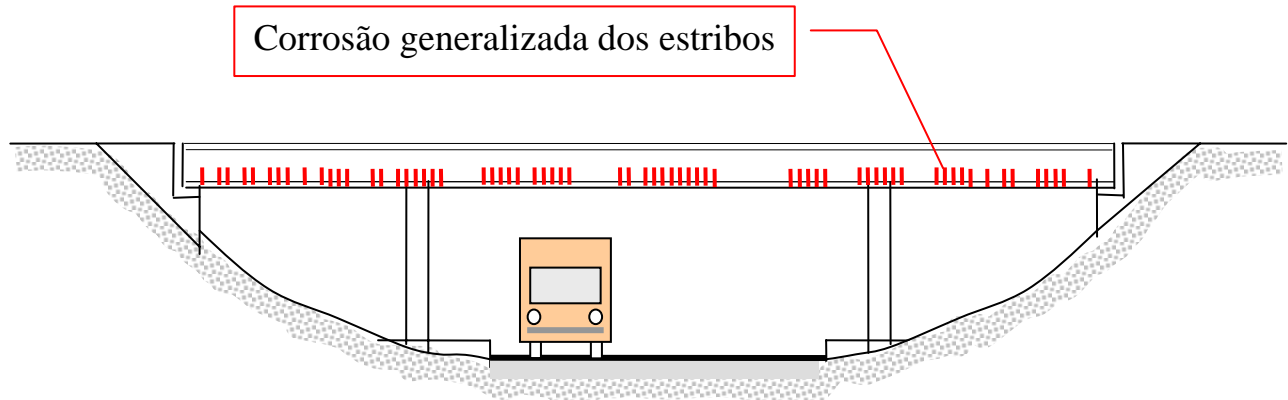
**COMENTÁRIO :** A norma alemã recomenda que os chumbadores, ou as armaduras de suspensão, sejam levados até à zona comprimida da peça estrutural fletida. Isso pode ser respeitado se os chumbadores forem ancorados junto à face oposta ao suporte, no terço da altura da peça estrutural. Ver as figuras acima.

**EXEMPLO Nº 164**

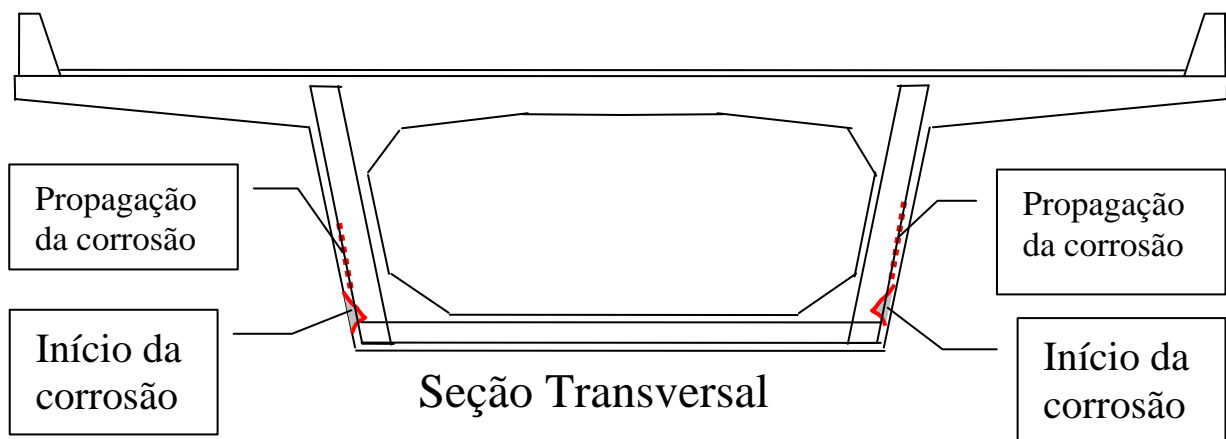
**ESTRUTURA:** Viaduto urbano com tabuleiro celular.

**FISSURAÇÃO :** Fissuração vertical intensa na face lateral das vigas.

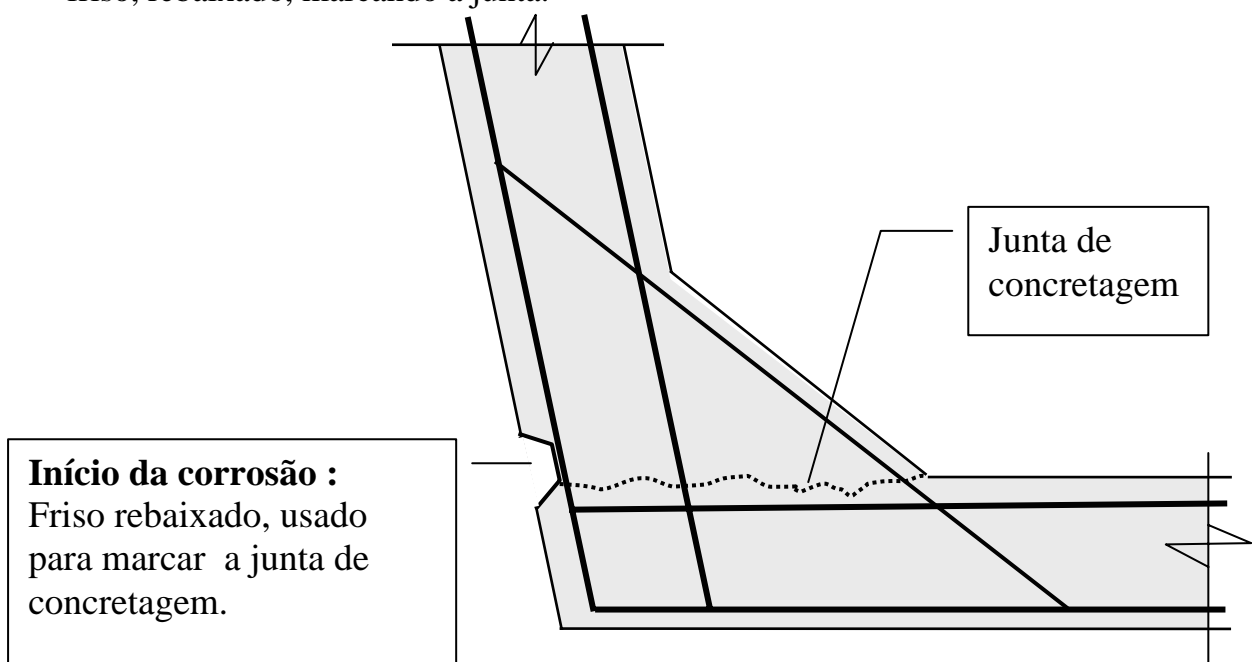
**ESQUEMA:**



**CAUSA:** Barras dos estribos sem qualquer cobrimento de concreto.



- Para obter uma junta de concretagem com boa aparência, o construtor executou um friso, rebaixado, marcando a junta.

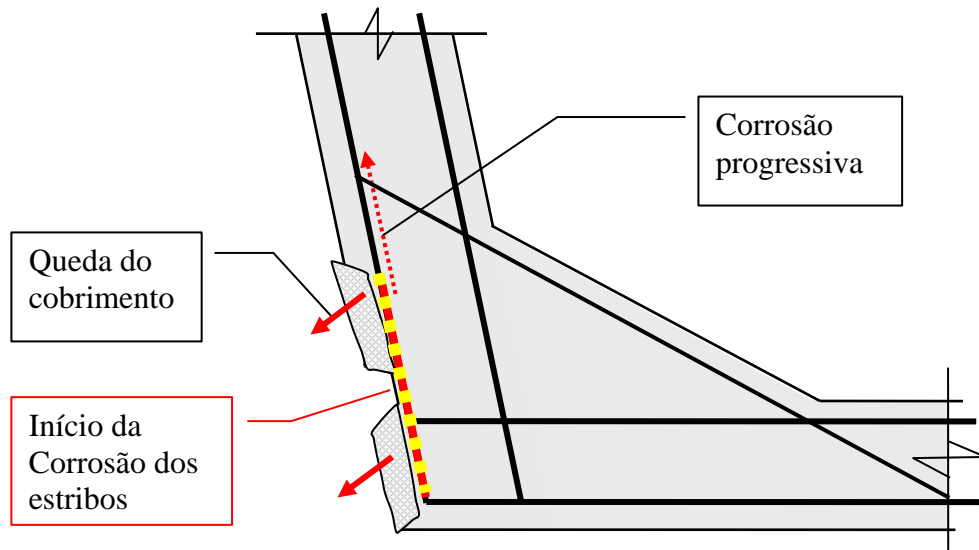


### EXEMPLO Nº 164 ( CONTINUAÇÃO )

**ESTRUTURA:** Viaduto urbano com tabuleiro celular.

**FISSURAÇÃO :** Fissuração vertical intensa na face lateral das vigas.

**ESQUEMA:**



- A armadura de estribos, ficou sem cobrimento de concreto.
- A corrosão dos estribos começou logo após a construção do viaduto. A corrosão ocorreu na maioria dos estribos. A corrosão se propagou rapidamente ao longo dos estribos.
- O aço, quando oxidado, forma óxidos de ferro,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  ou  $Fe_3O_4$ . O volume dos óxidos formados, é maior que o volume inicial do ferro. Os óxidos, expandem e rompem o concreto de cobrimento.

**OBSERVAÇÃO :** A segurança da estrutura ficou reduzida, pois os estribos oxidados eram fundamentais na resistência à força cortante e ao momento de torção.

Foi feita a limpeza da armadura, retirando os produtos da oxidação. Em seguida foram preenchidos os frisos rebaixados e foi refeito o concreto rompido pela ferrugem.

Reforçou-se a viga com compostos de fibras de carbono, colados nas almas das vigas.

**COMENTÁRIO :** Segundo o Prof. Vicente Gentil, da UFRJ, a cor do ferro oxidado depende do tipo de óxido de ferro que se formou. Ver o livro “Corrosão” - 3ª edição [ 71].

“ A ferrugem pode se constituída de três camadas de óxidos de ferro hidratados, em diferentes estados de oxidação :  $FeO$ ,  $Fe_3O_4$  e  $Fe_2O_3$ , da superfície do ferro para a atmosfera.”

“A ferrugem, produto da corrosão, apresenta na parte inferior, isto é aquela em contato imediato com o metal, coloração preta, da magnetita  $Fe_3O_4$ . Na parte superior, aquela em contato com mais oxigênio, a ferrugem apresenta coloração alaranjada ou castanho avermelhada, típica do  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ .” Esta é a conhecida ferrugem avermelhada que escorre do ferro oxidado e aflora na superfície de concreto da estrutura. Ver a foto número 32 do livro “Corrosão” [71], mostrada a seguir.

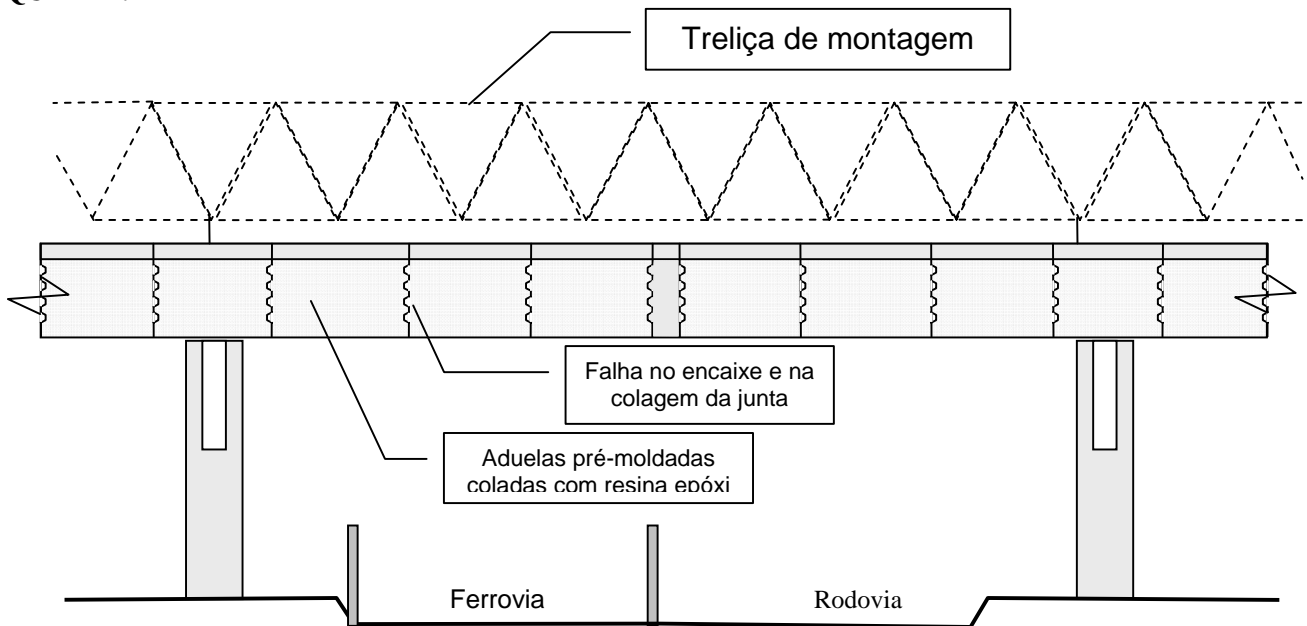


### EXEMPLO Nº 165

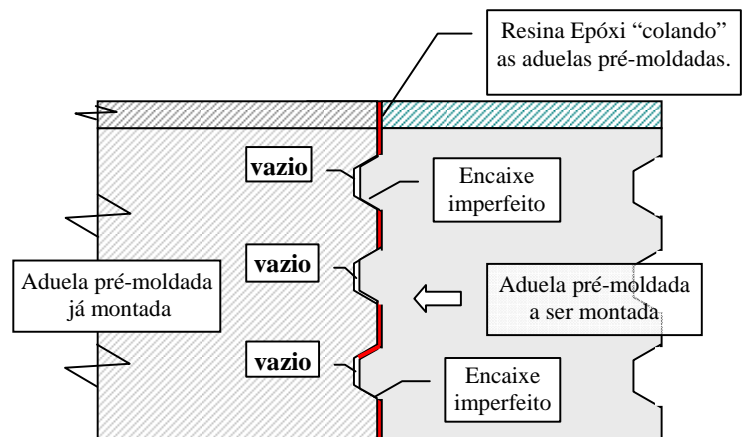
**ESTRUTURA:** Viaduto urbano com tabuleiro celular, construído com aduelas pré-moldadas, coladas com resina epóxi.

**FISSURAÇÃO :** Falhas no preenchimento com resina epóxi na junta colada, entre duas aduelas pré-moldadas.

**ESQUEMA :**



Início da montagem de uma aduela junto a um apoio. Foto de Catálogo SIKA



Encaixe imperfeito - Detalhe da Falha na Junta

**CAUSA :** A geometria da aduela a ser montada **não coincidiu exatamente** com a geometria da aduela já montada. Isso impediu o encaixe completo das duas peças, deixando partes da junta com vazios, sem resina epóxi. A abertura da falha observada era de 1,5cm.

Os dentes ao longo da alma da viga são usados para facilitar a montagem com encaixe e principalmente para aumentar a resistência na transmissão da força cortante. A colagem das aduelas deve ser feita com uma camada de resina epóxi com cerca de 1,6mm de espessura, segundo a norma ASTM C881-90, ver [158].

**SOLUÇÃO :** Nas obras já concluídas, preencher com injeção de resina epóxi os espaços vazios entre as duas aduelas. Nas obras a executar, **concretar, no canteiro da obra, cada aduela “contra” a aduela anterior**. A aduela anterior, já endurecida, serve de forma para a aduela seguinte. Esse método serve de pré-montagem de toda a estrutura, garantindo o encaixe perfeito na fase final de montagem e colagem.

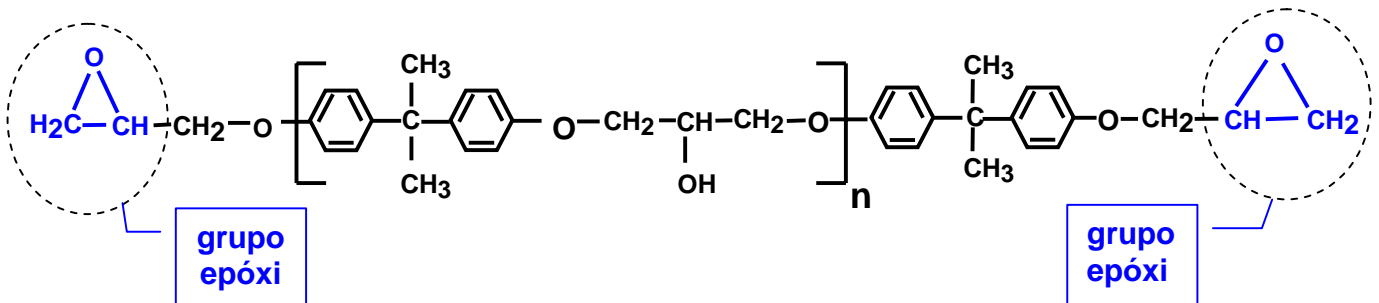
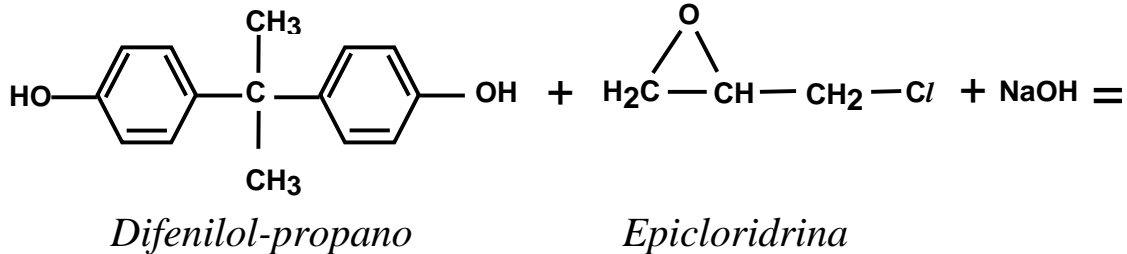
**EXEMPLO No 165 : Continuação**

**ESTRUTURA:** Viaduto urbano com tabuleiro celular, construído com aduelas pré-moldadas, coladas com resina epóxi.

**FISSURAÇÃO :** Falha de preenchimento na junta colada, entre duas aduelas pré-moldadas.

**OBSERVAÇÃO :** Epóxi é um polímero termo-rígido que cura ( polimeriza e "crosslink") quando misturado com um agente catalisador ou "endurecedor". Polímeros termo-rígidos não apresentam fusão, mas sofrem carbonização por aquecimento. Ver S. M. Allen [157] e ASTM C881-90 [158].

As resinas epóxi mais usuais são produzidas pela reação entre *Difenilol -Propano* e *Epicloridrina*.

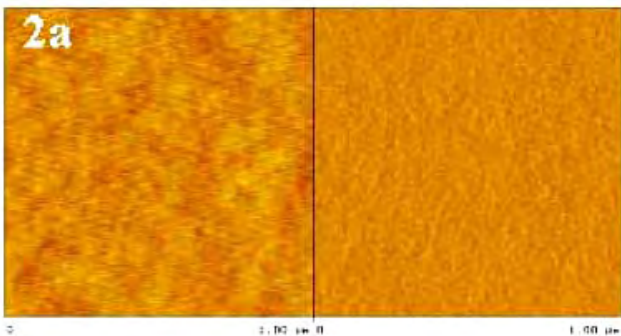


*Resina Epóxi*

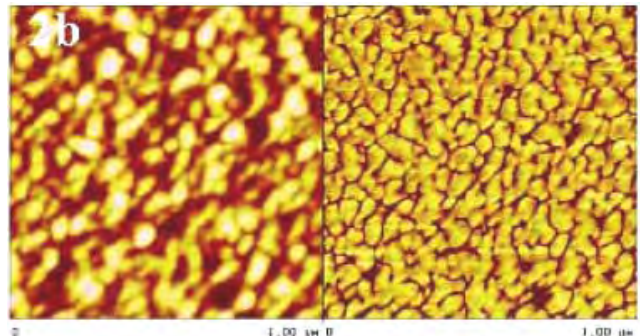
A molécula acima é da resina epóxi antes da mistura com o catalisador ( poliamida / poliamina ).

Misturada com o agente de cura, catalisador (endurecedor), que é uma amina poli-funcional, como o etileno diamina,  $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$ , resulta no polímero termo-rígido *Epóxi endurecida*.

Existe uma proporção ótima para a mistura da resina epóxi com o catalisador. Essa proporção resulta na melhor resistência. Ela é testada pelo fabricante da resina. Se a resina epóxi e o "catalisador" forem misturados em proporções outras, resultarão micro-estruturas diferentes. Isso pode ser observado nas duas micrografias abaixo, feitas com uso de Microscopia de Força Atômica (AFM), em resinas epóxi, misturadas com o endurecedor poliamina, em duas proporções diferentes.



Mistura Epóxi A: Micrografias AFM com tamanho do campo =  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$



Mistura Epóxi B : Micrografias AFM com tamanho do campo =  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$  - Ver T. Nguyen [156]

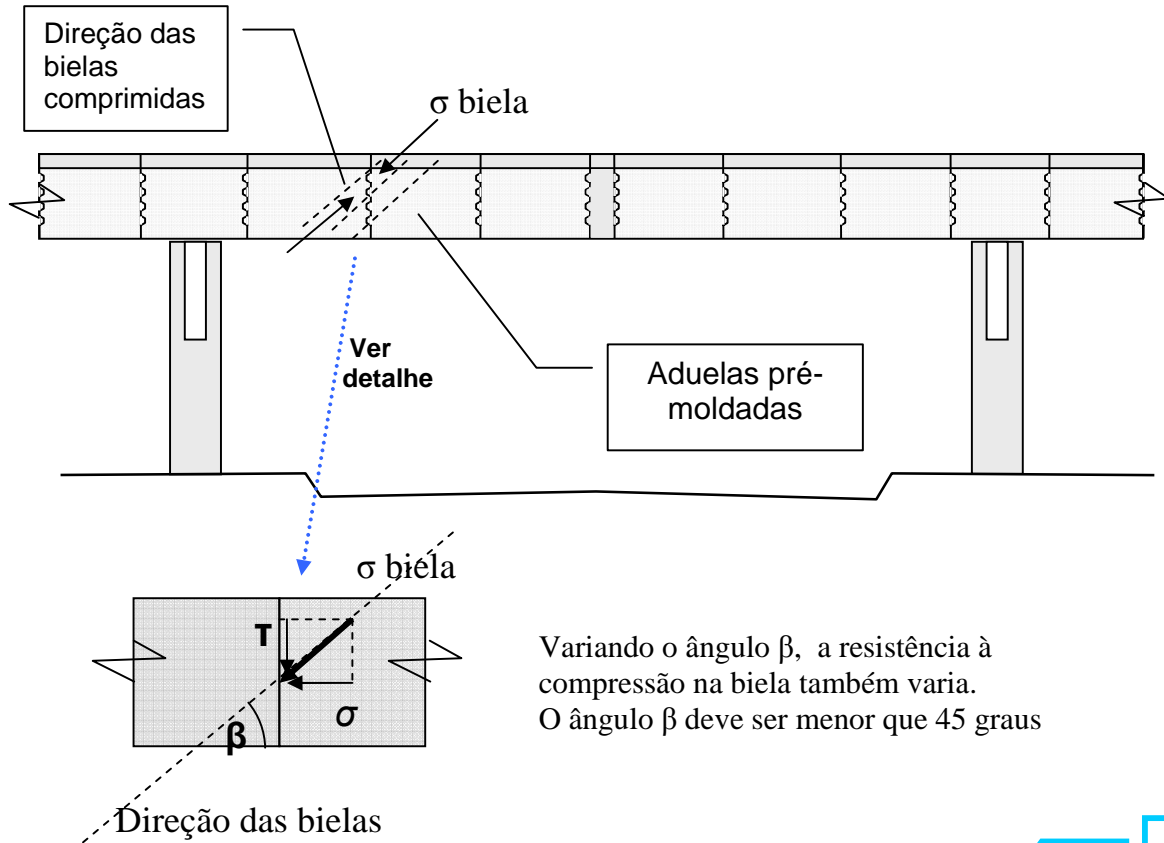
Na montagem das aduelas, a mistura dos componentes (epóxi + endurecedor) deve ser feita com uma proporção pré-testada, pois uma variação nessa proporção causa mudança na resistência da resina epóxi.

### EXEMPLO No 165 : Continuação

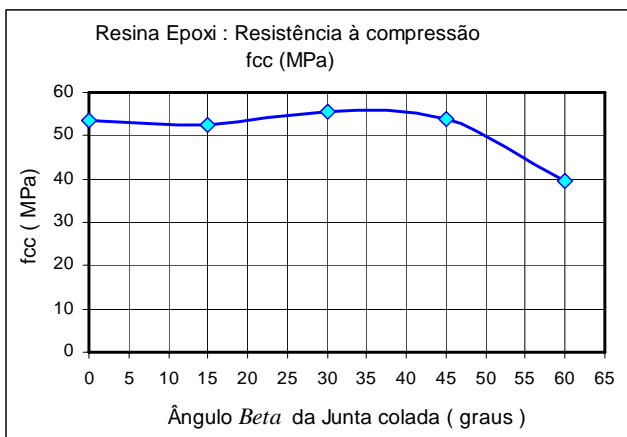
**ESTRUTURA:** Viaduto urbano com tabuleiro celular, construído com aduelas pré-moldadas, coladas com resina epóxi.

**FISSURAÇÃO:** Falha de preenchimento na junta colada, entre duas aduelas pré-moldadas.

**COMENTÁRIO:** As tensões na junta colada entre 2 aduelas pré-moldadas devem ser verificadas.



Variando o ângulo  $\beta$ , a resistência à compressão na biela também varia. O ângulo  $\beta$  deve ser menor que 45 graus



A variação da resistência à compressão na biela, com o ângulo  $\beta$ , deve ser levada em conta no projeto da ponte. Essa variação reflete a influência da relação entre a tensão normal e a tensão tangencial na face da junta. O critério de ruptura de Mohr considera esse efeito, como se pode ver na próxima página.

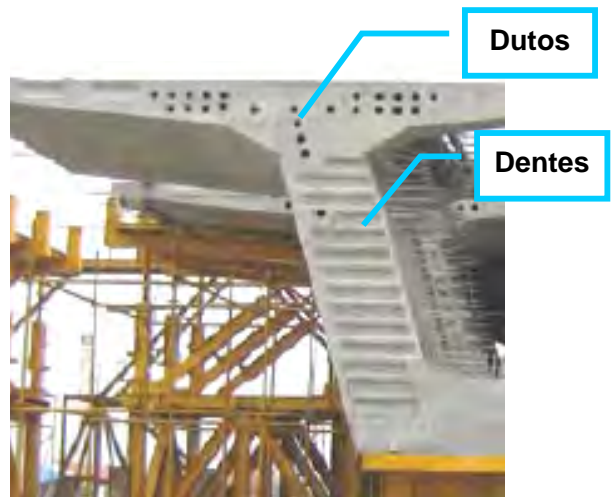


Foto do Catálogo Sika. São usados dentes para melhorar a transmissão da força cortante na alma da viga.

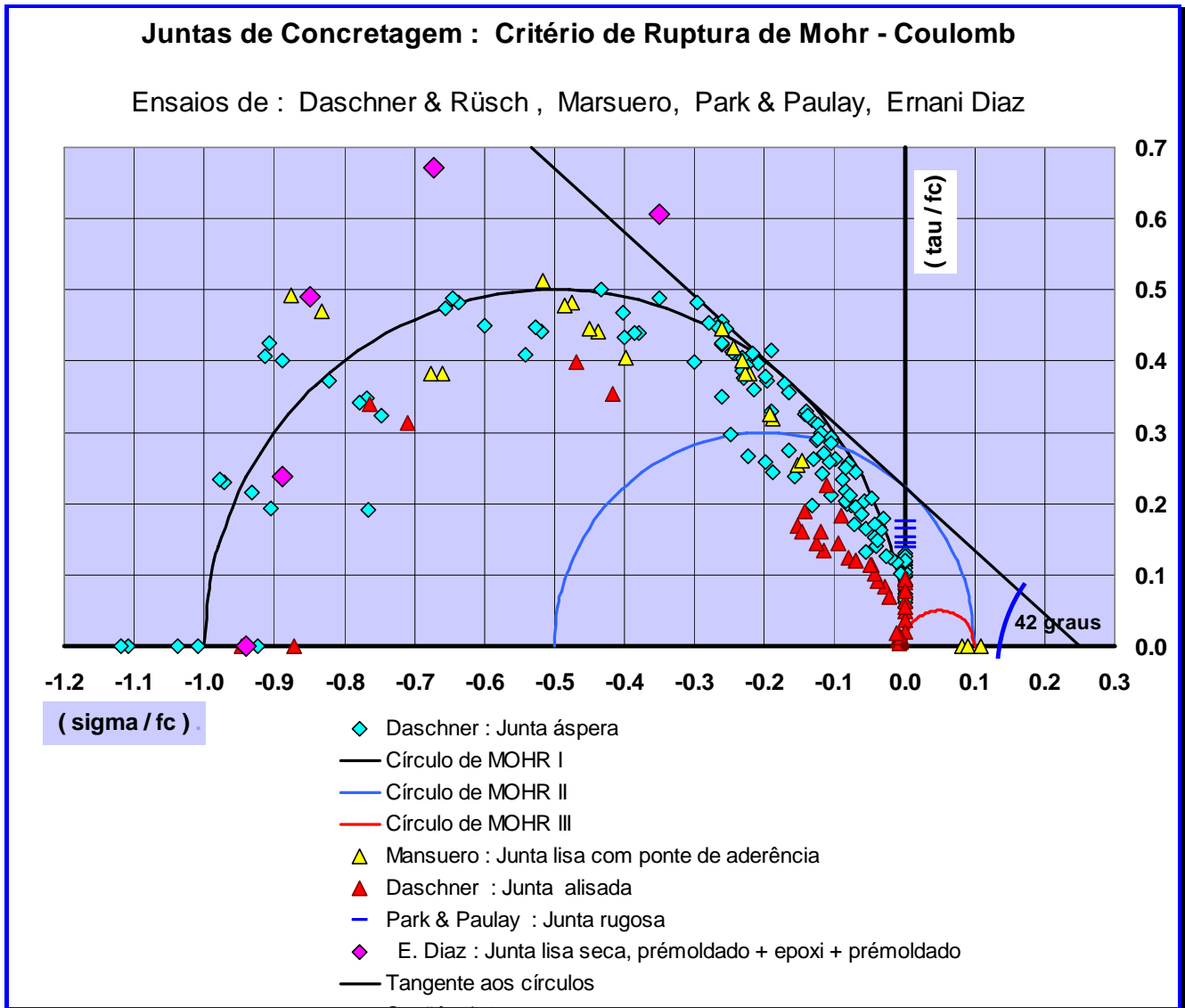
Cuidado deve ser tomado para evitar que a resina epóxi, ainda mole, entupa os dutos, nos quais serão enfiados os cabos de protensão.

## EXEMPLO Nº 165 : Continuação

**ESTRUTURA:** Viaduto urbano construído com aduelas pré-moldadas, coladas com resina epóxi.

**FISSURAÇÃO :** Falha de preenchimento na junta colada, entre duas aduelas pré-moldadas.

**OBSERVAÇÃO :** Ensaios mostram que o critério de ruptura de Mohr – Coulomb serve para o dimensionamento da junta colada, desde que essas juntas sejam bem executadas.



- Todos os ensaios mostrados na figura acima foram feitos com um concreto novo sendo lançado sobre um concreto já endurecido, exceto os ensaios citados por E. Dias [154], que foram feitos com a colagem de dois concretos já endurecidos, usando uma camada de resina epóxi entre eles.
- Segundo E. Diaz [154] a superfície do concreto deve estar totalmente seca no momento da colagem.
- A superfície estando molhada a *eficiência* da junta colada com epóxi diminui muito:
  - Superfície encharcada de água 0,55
  - Superfície úmida 0,58
  - Superfície úmida secada com álcool anidro 0,72
  - **Superfície úmida secada com álcool anidro e fogo 0,92**
  - Superfície secada com jato de ar 0,37

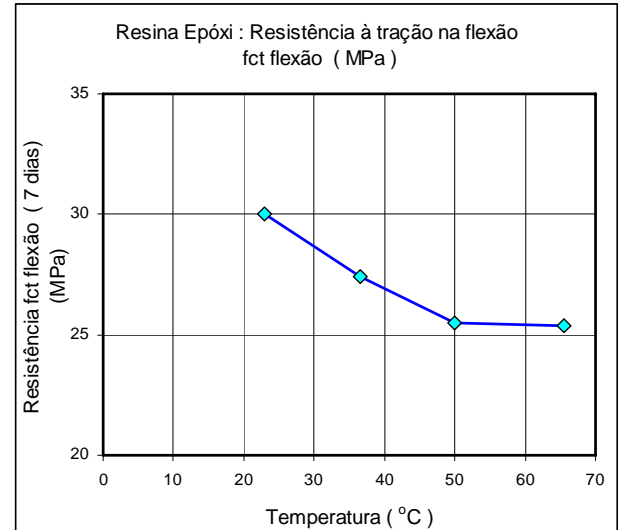
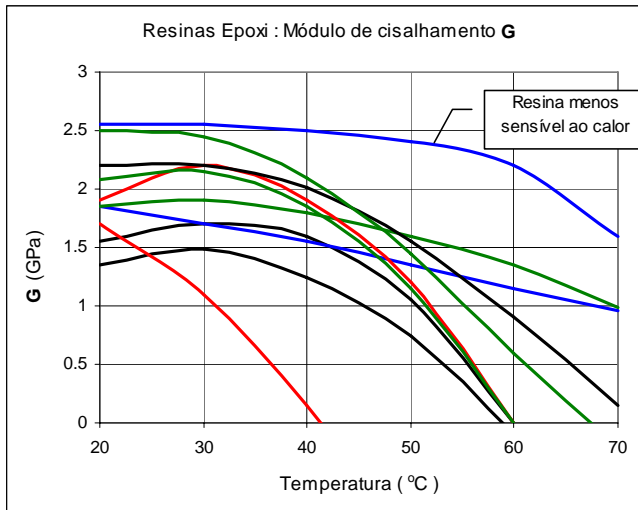


### EXEMPLO Nº 165 : Continuação

**ESTRUTURA:** Viaduto urbano construído com aduelas pré-moldadas, coladas com resina epóxi.

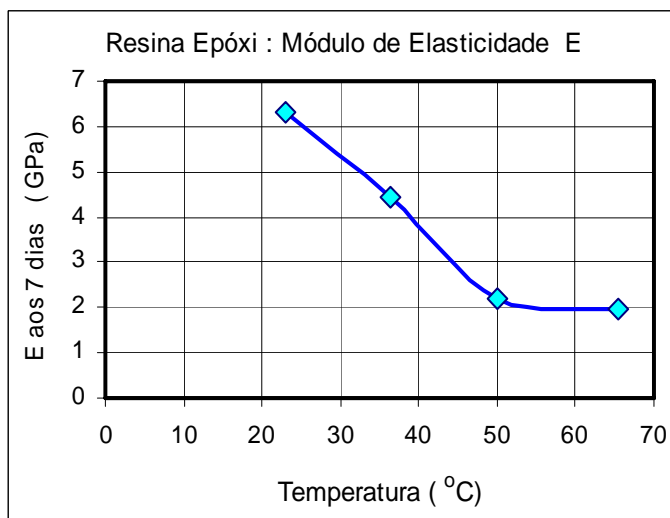
**FISSURAÇÃO :** Falha de preenchimento na junta colada, entre duas aduelas pré-moldadas.

**OBSERVAÇÃO :** Resinas epóxi de diferentes fabricantes apresentam diferente sensibilidade ao calor.



- Módulo de cisalhamento **G** medido em cilindros com diâmetro  $\phi = 3\text{cm}$  e tensão de cisalhamento  $\tau = 5\text{MPa}$ . Ver E.Diaz [154]
- Antes de ser usada, uma resina epóxi deve ter testada a sua sensibilidade ao calor. Em regiões quentes a segurança da estrutura pode ser afetada caso a resina perca muita resistência com o calor.

- O critério básico de projeto é garantir que não exista tensão de tração na seção transversal colada. Isso deve ser obedecido em qualquer fase da obra, inclusive durante a execução.
- São usados cabos de protensão curtos, auxiliares, para evitar tração na fase de montagem.



- As resinas epóxi são sensíveis ao calor. Isto pode ser importante em estruturas com forte insolação.
- O módulo de elasticidade diminui muito com o calor. Ver Prof. E. Diaz [154]
- Segundo a Prof<sup>a</sup>. Eloísa Biasotto Mano  $E = 2,0$  a  $4,5$  GPa . Ver [155].
- A resina epóxi deve respeitar as recomendações da norma ASTM C881-90 para a resina epóxi Tipo VI ( para pontes em aduelas ), Grau 2 (média viscosidade), Classe F ( temperatura entre  $24$  a  $32$  °C). Ver [158].

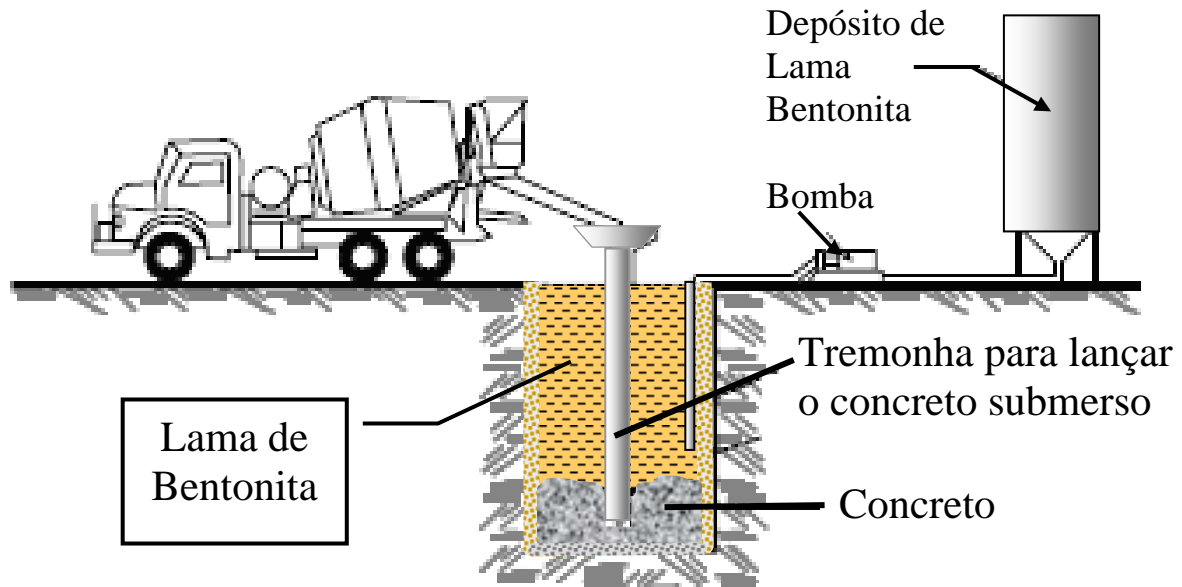
### EXEMPLO Nº 166

**ESTRUTURAS:** Estacas escavadas de concreto armado, com diâmetro de 1,10m e 1,30m, executadas com concreto submerso.

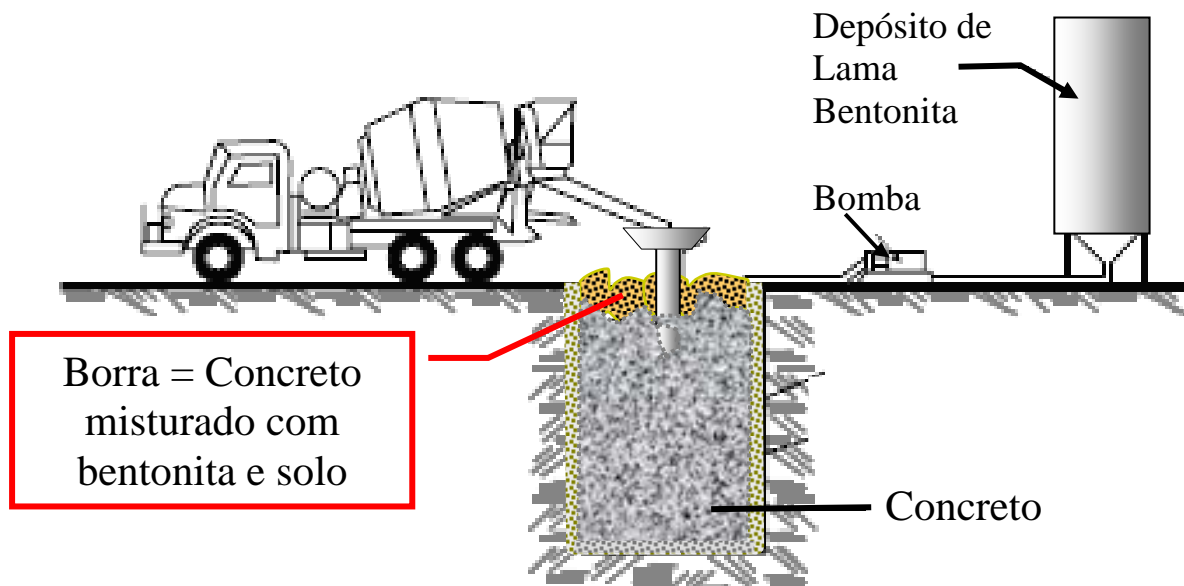
**OBSERVAÇÃO:** Concreto com baixa resistência no topo das estacas. Poroso e misturado com lama.

**ESQUEMA:** Adaptado da ABEF = Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia

Estacas ou Paredes diafragma.



### Início da execução de uma concretagem submersa



### Final da execução de uma concretagem submersa

Bentonita é uma argila composta pelo mineral montmorilonita, cuja microestrutura é composta de “folhas” superpostas. “Folhas” de tetraedros de sílica (54%) e “folhas” de octaedros de alumina (16% a 20%). A bentonita no Brasil também contém óxidos de ferro(10%), óxido de magnésio (2 %), óxido de potássio (1%) e óxido de sódio (0,5%). A bentonita extraída no Estado da Paraíba tem pouco sódio. Para corrigi-la e transformá-la em sódica, os fabricantes de bentonita ativam-na com carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). A microestrutura em folhas da bentonita sódica tem uma grande capacidade de inchamento, quando misturada com água. Inchamento que atinge até 20% do volume inicial.

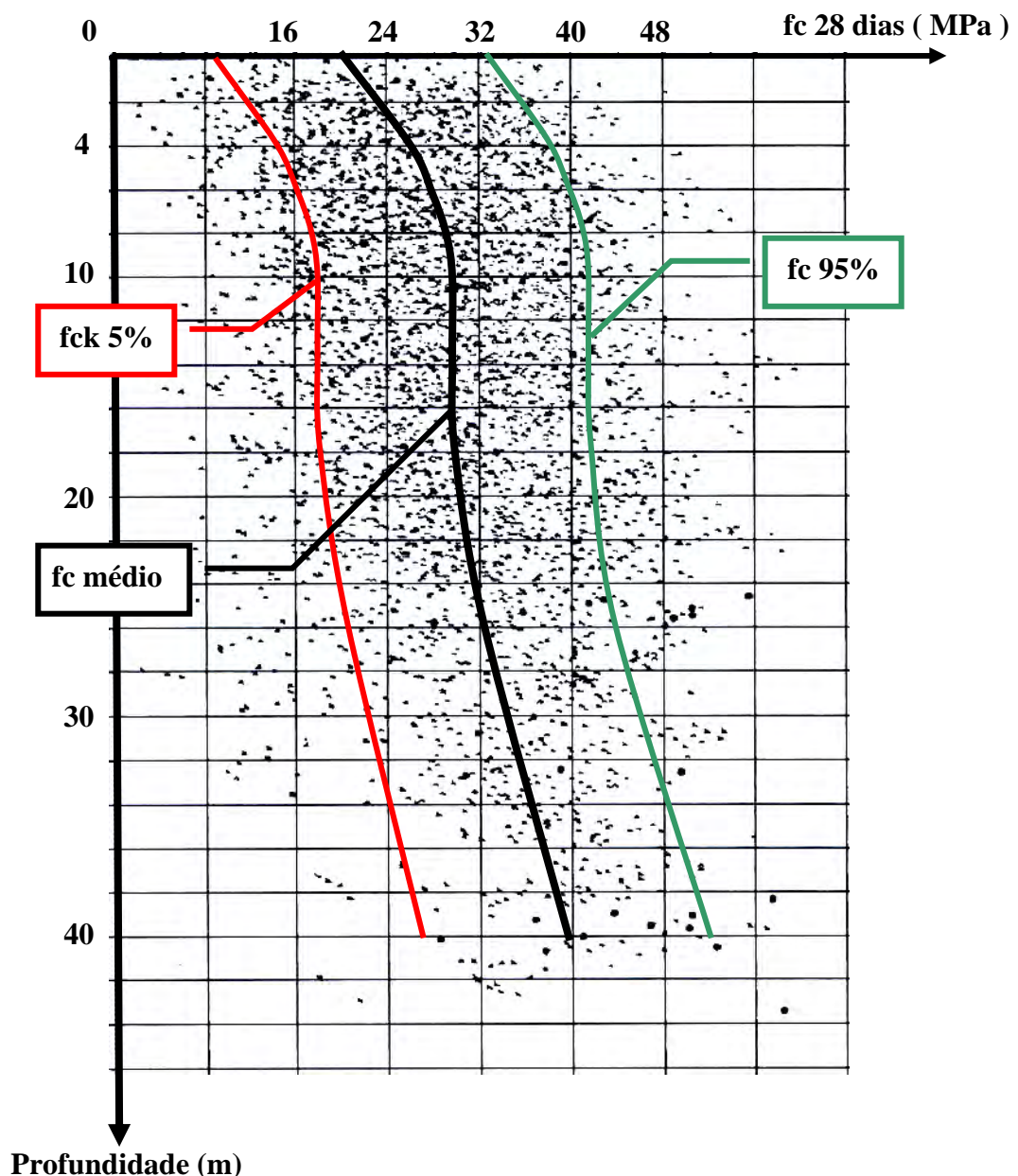
### EXEMPLO Nº 166 (continuação)

**CAUSAS:** São duas as causas para a ocorrência de um concreto ruim no topo das estacas:

1. Mistura do concreto submerso com a lama bentonítica sobrejacente e com resíduos de solo, formando uma borra, sem resistência.
2. A subida de parte da água do concreto para o topo da estaca. É a exsudação (*bleeding*), formando um concreto com elevado fator água/cimento, com baixa resistência. Esse fenômeno da exsudação já é conhecido há muito tempo. Em seu livro "*The properties of fresh concrete*", de 1968, *T. C. Powers* mostra a existência dessas 3 zonas nos concretos, causadas pela exsudação:
  - A zona superior com muita água e densidade e resistência baixas.
  - A zona intermediária com densidade e resistência constantes.
  - A zona inferior com densidade e resistência crescentes com a profundidade.

Essas 3 zonas, previstas por *T. C. Powers*, foram constatadas nos ensaios de compressão feitos nos corpos de prova retirados do concreto, ao longo de todo o comprimento das estacas. Ver figura abaixo.

**CONTROLE DA RESISTÊNCIA:** Ao longo de 116 estacas da obra foram retirados 5477 testemunhos do concreto com diâmetro de 7,5cm e com comprimento de 15cm. Os testemunhos foram ensaiados à compressão. Constatou-se que a resistência do concreto, no topo das estacas, era muito menor do que ao longo do fuste das estacas. O mesmo ocorre em paredes diafragmas.



Referência: Luiz A. Jóia – Dissertação de Mestrado – *Modelo estatístico para cálculo do fator de segurança global de estaqueamentos* - COPPE / UFRJ - 1981

## EXEMPLO Nº 166 (continuação)

### SOLUÇÃO :

- Na obra citada, optou-se por arrasar as estacas 4 m abaixo do topo do concreto. No restante do comprimento das estacas, o  $f_{ck}$  adotado foi 16MPa.
- Excluído o concreto do topo das estacas, e considerando os testemunhos extraídos, a resistência de cálculo do concreto vale  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \frac{16MPa}{1,4} = 11,4 MPa$  ( NBR 6118 ).
- A norma de fundações NBR-6122 / 1996 não permite que se adote  $f_{ck} > 20$  MPa para o cálculo estrutural da estacas ou paredes diafragmas com concreto submerso, mesmo que o concreto seja executado com um  $f_{ck}$  maior.
- A norma NBR-6122 / 1996 recomenda também, que se reduza a resistência  $f_{ck}$  do concreto com um fator de 1,9, para levar em conta o tipo de concretagem submersa,  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,9} = \frac{20MPa}{1,9} = 10,5MPa$  , valor próximo do medido.
- O desvio padrão medido, ao longo das estacas foi de 7MPa.
- A resistência de dosagem de um concreto submerso deverá ser portanto:  
 $f_{cj} > f_{ck} + 1,65 \times s_d = 20,0 + 1,65 \times 7,0 = 32 MPa$
- Usar a resistência de dosagem de um concreto submerso  $f_{cj} > 40 MPa$
- **Os corpos de prova devem ser moldados com o concreto colhido no topo da estaca ( ou parede), assim que a concretagem da estaca ( ou parede) terminar.**

### OUTRAS SOLUÇÕES :

**Alternativa 1:** Em qualquer estaca, ou parede diafragma, executada com concreto submerso, deixar o concreto extravasar até se observar um concreto normal, sem mistura com a bentonita, ou com o solo.

**Alternativa 2:** Cortar o concreto fraco do topo da estaca, ou da parede diafragma, até a uma profundidade onde se observe o concreto de boa qualidade. Essa avaliação visual pode levar a erros, pois o concreto, com muita água, pode ter uma aparência boa, embora a resistência seja baixa.

**Alternativa 3:** Extrair, com broca de diamante, testemunhos do concreto dos metros superiores da estaca ou da parede diafragma. Determinar a resistência real,  $f_{ck}$ , do concreto, e fazer uma verificação da segurança estrutural, com a resistência encontrada.

**CONTROLE DA RESISTÊNCIA:** A correção da resistência, para considerar a idade do concreto das estacas ou das paredes diafragma, aos 28 dias, deve ser feita usando a expressão da norma NBR 6118 :

$$f_c(t) = f_{c28} \times \exp \left( S \times \left[ 1 - \left( \frac{28(\text{dias})}{t} \right)^{0,5} \right] \right)$$

$f_c(t)$  = resistência do concreto na idade de  $t$  dias

$f_{c28}$  = resistência do concreto na idade de 28 dias

$t$  = idade em  $t$  dias

$S$  = fator que depende do tipo de cimento

$S = 0,38$  para o concreto de cimento CIII ( CP de alto-forno) e CP IV ( CP pozolânico)

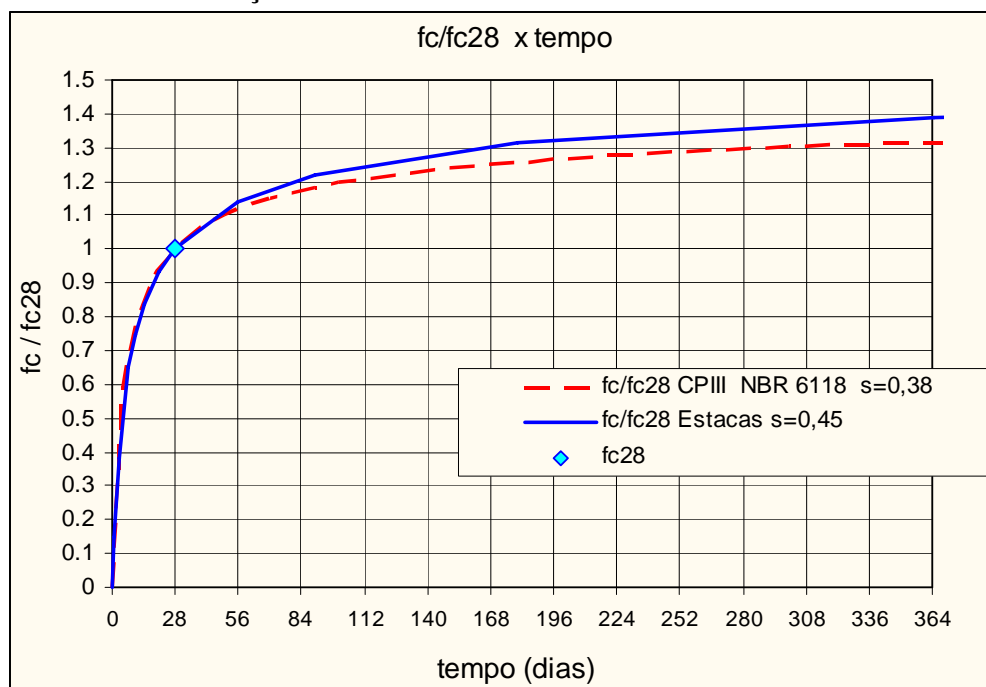
$S = 0,25$  para o concreto de cimento CPI (CP comum) e CII (CP composto: CII-E,CII-Z,CII-F)

$S = 0,20$  para o concreto de cimento CPV-ARI (CP alta resistência inicial).

- Para as estacas da obra citada, a curva da variação da resistência do concreto com o tempo foi aferida, e correspondeu a  $S = 0,45$ , o que caracteriza um cimento com aumento lento da resistência, concreto com adições que retardem o crescimento da resistência, como as escórias de alto forno.  
*Ver o gráfico na próxima página.*

EXEMPLO Nº 166 (continuação)

CURVA DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM O TEMPO.



TRAÇOS PARA CONCRETOS SUBMERSOS:

- Para estacas ou paredes executadas com concreto submerso, o concreto deve ser plástico, e deve ser dosado com  $f_{ck} > 28$  MPa, com  $f_{cm} \approx 40$ MPa.
- O teor de cimento deve ser  $\approx 400 \text{ kg/m}^3$ , e o fator água / cimento  $< 0,60$ .
- A norma americana *ACI 336.3R -93* indica o diâmetro máximo dos agregados  $D_{m\acute{a}x.} = 19\text{mm}$ . A pedra deve ter um formato arredondado, sem forma lamelar. Preferir seixo rolado, e não pedra britada. Não usar pó de pedra.
- O diâmetro máximo da pedra deve, também, ser menor que 1/10 do diâmetro do tubo Tremonha.
- Usa-se, para o concreto submerso, as seguintes faixas de granulometria para os agregados totais (pedra + areia).

Peneira	% passante
0	0
0.15	3 a 4
0.3	5 a 8
0.6	14 a 20
1.2	22 a 32
2.4	32 a 42
4.8	44 a 56
9.5	66 a 76
19	100

- O catálogo da firma Estacas Franki indica o traço do concreto submerso usado em suas obras. Para  $1\text{m}^3$  de concreto: *Abatimento* ( Slump) = 18 a 22 cm; *Cimento* = 400 kg ; *Areia* = 720 kg ; *Brita 1* (19mm - 9,5mm) = 980 kg; *Água* = 240 kg ; *Plastificante e retardador de pega* =1,2 litros.
- Pode ser usado, também, um aditivo anti-segregação, como o Sikament 100SC, ou como o MC-Bauchemie Murapor Estabilizador, ou similares.
- O tubo tremonha, para lançamento do concreto, deve ficar sempre 1,5m imerso no concreto já lançado.
- Terminar a concretagem em cerca de 3horas, para que o tubo tremonha não fique preso no concreto já endurecido.

## EXEMPLO Nº 166 (continuação)

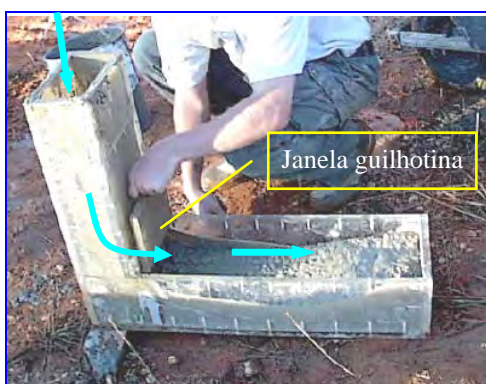
Prof. Dan Brown - <http://danbrownandassociates.com/publications/>

Prof. Anton Schindler - <http://www.eng.auburn.edu/users/antons/index.htm>

High Performance Concrete and Drilled Shaft - Construction Dept. of Civil Engineering, Auburn University - 2<sup>nd</sup> Annual Mike O'Neill Lecture, March 2, 2007 Houston, Texas



- Concretos submersos, para estacas com diâmetro até 2,5m, devem ter um abatimento de 18cm a 23cm.
- O espaço livre entre as barras das armaduras da estaca, tanto na vertical como na horizontal deve ser maior que 15cm.
- ← É muito usado o ensaio de abatimento, medindo-se, não o abatimento, mas o diâmetro de alargamento do concreto, como mostrado na figura.
- O diâmetro **D** médio do alargamento deve ser de 45cm a 60cm.



- ← Também é usado o ensaio de percolação do concreto através da malha da armadura. É o ensaio feito em uma caixa com a forma de um **L**.
- O concreto é colocado na caixa vertical, enchendo até o topo.
- Após a abertura da janela *guilhotina*, entre as duas caixas, o concreto deve escoar horizontalmente e preencher toda a caixa horizontal.
- As dimensões da janela entre as duas caixas são iguais às distâncias livres, na vertical e na horizontal, entre as barras da armadura da estaca.



- ← Estaca com  $\phi = 1,5\text{m}$ , desenterrada após a execução, mostrando falhas no concreto. “Brocas” deixadas pelo concreto pouco plástico.
- O concreto submerso, não sendo bastante fluido, tem dificuldades em escoar através da malha da armadura, composta de muitos ferros longitudinais e muitos estribos.
- No topo das estacas, em geral, os momentos fletores são maiores e os projetistas usam duas camadas de ferros. Isso dificulta a passagem do concreto.
- Deve-se evitar o uso de 2 ou mais camadas de ferros. É preferível usar ferros mais grossos com emendas com luvas, todos em uma só camada.

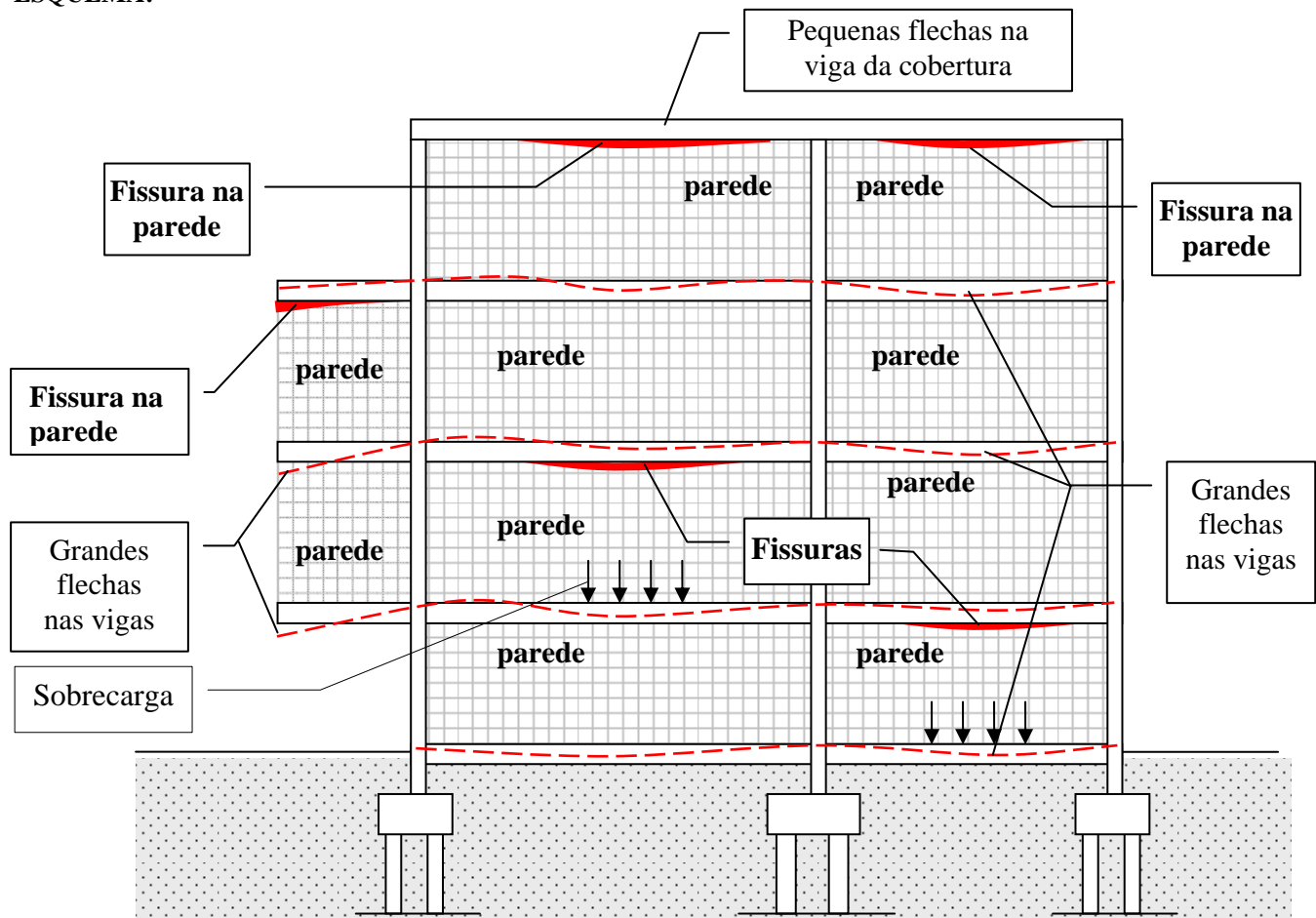
- Usar agregados redondos, preferencialmente seixos rolados, com  $D_{\text{máx.}} = 19\text{mm}$  ou  $12,5\text{mm}$
- Usar relação em massa, areia/(seixo + areia) = 0,44 a 0,50.
- Usar aditivo redutor de água e aditivo retardador da pega.
- Usar alto teor de cinzas, ou de escórias, para reduzir o teor de cimento Portland, reduzindo o calor de hidratação nas primeiras horas.
- Controlar a resistência aos 56 dias, ou aos 90 dias e não aos 28 dias.
- Usar aditivos para aumentar a viscosidade e evitar a exsudação (*bleeding*) no concreto.
- Controlar a temperatura de lançamento do concreto fresco. Usar menos que  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Ao testar o traço do concreto, considerar o efeito da elevação da temperatura na trabalhabilidade e também no tempo de início da pega.
- Avaliar também, nos ensaios de dosagem do concreto, a elevação da temperatura com o tempo.

### EXEMPLO Nº 167

**ESTRUTURAS:** Prédios de concreto armado.

**OBSERVAÇÃO:** Fissuras na interface das alvenarias com as vigas.

**ESQUEMA:**



**CAUSAS:** Ver também o exemplo Nº 39.

- Com o uso de concretos com resistências mais altas,  $f_{ck} \geq 35$  MPa, os vãos das vigas se tornam cada vez maiores.
- Vãos maiores que 5m são usuais atualmente, o que não ocorria com concretos de  $f_{ck} = 20$  MPa.
- A consequência imediata é o surgimento, nas vigas, de grandes flechas imediatas e lentas, pois o módulo de elasticidade do concreto não aumenta na mesma proporção que a resistência à compressão.
- Daí resulta o surgimento de grandes fissuras nas alvenarias, principalmente no último pavimento, pois a cobertura tem menos carga de paredes e se deforma menos. Nos andares intermediários também surgem grandes fissuras devidas às diferenças de sobrecarga nos diversos pisos.
- É difícil evitar essas fissuras nas alvenarias a não ser que sejam usadas vigas com grande altura e grande rigidez. Nesse caso não se aproveita a boa resistência do concreto à compressão.
- As flechas imediatas devidas à carga permanente não têm tantas consequências, pois os revestimentos da parede, ainda na fase de execução, cobrem as eventuais fissuras entre as alvenarias e as vigas. As flechas lentas, sim, geram problemas. As flechas causadas pelas sobrecargas variáveis também.
- As fissuras nas paredes externas dão lugar a grandes infiltrações de água da chuva, com grandes transtornos para o morador.
- As fissuras nas paredes divisórias, entre dois apartamentos, ou entre duas lojas, além da sensação de insegurança, geram conflitos. Quem deve reparar os danos?

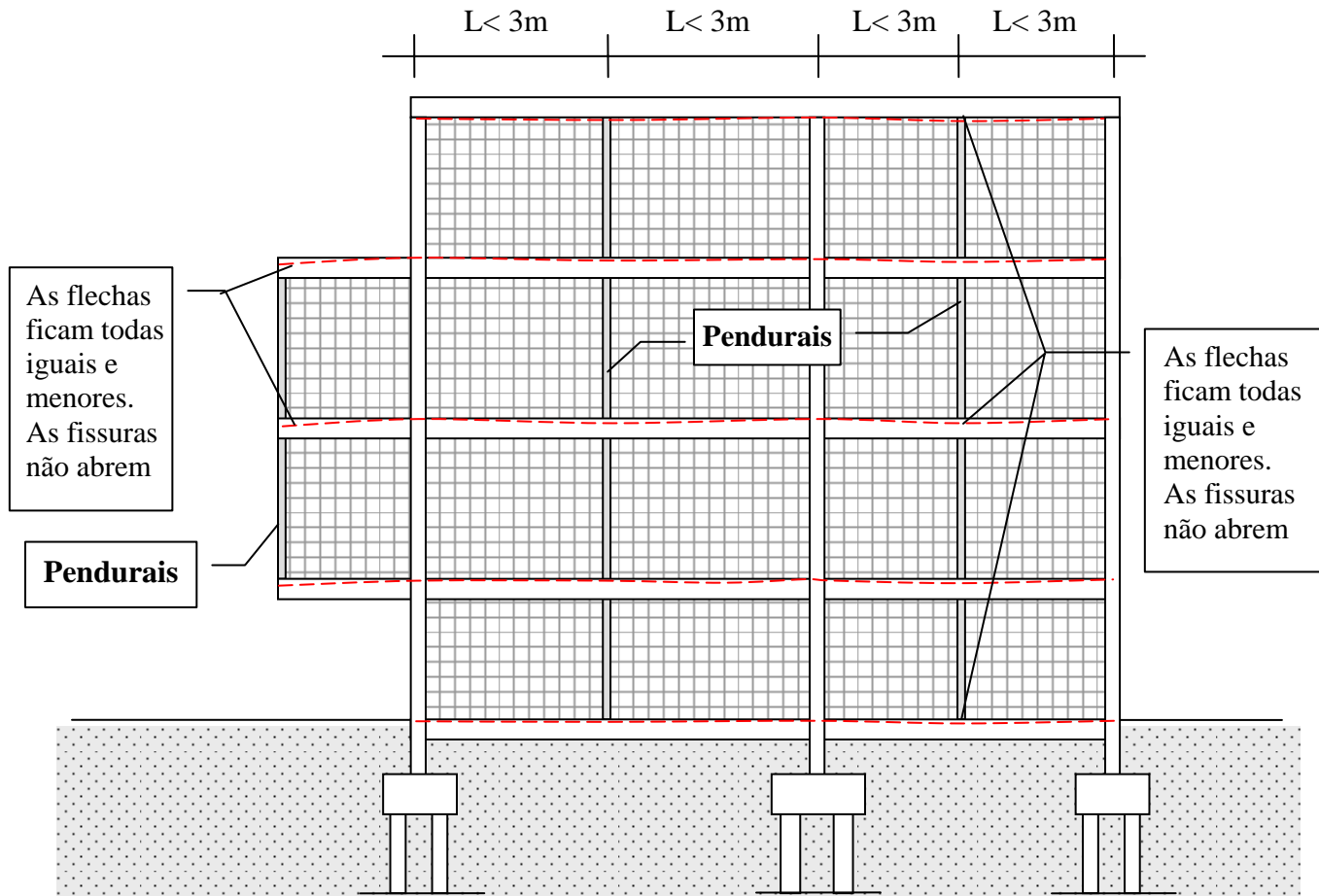
### EXEMPLO Nº 167 : ( continuação )

**ESTRUTURAS:** Prédios de concreto armado.

**OBSERVAÇÃO:** Fissuras na interface das alvenarias com as vigas.

**SOLUÇÃO:** Projetar e executar “*pendurais*” de concreto armado entre todos os pavimentos, nas paredes internas e externas, de modo a ter “painéis” de paredes menores que 3m.

Ver também o exemplo Nº 39.



### OBSERVAÇÕES:

- Com o projeto de pendurais, as flechas diferenciais entre os pisos desaparecem e as fissuras não se formam, ou as fissuras que se formam são imperceptíveis.
- As forças normais nos pendurais são pequenas, pois esses pendurais não se apóiam nas fundações. Alguns pavimentos, mais carregados, tendem a se deformar mais que os outros. Os pendurais “*penduram*” as diferenças das cargas. Como os pendurais ligam todos os pavimentos, surgem pequenas trações ou pequenas compressões.
- As dimensões dos pendurais podem ser mínimas: Exemplo: 15cm x 20cm
- Esse tipo de solução estrutural tem sido muito usado nos novos prédios em concreto armado com grandes vãos, e o resultado é a eliminação das indesejáveis fissuras nas alvenarias, nas interfaces com as vigas.
- Com o uso dos programas correntes de análise estrutural 3D, com modelos globais das edificações, o dimensionamento dos pendurais é imediato e não há qualquer dúvida quanto ao comportamento dos mesmos. É só carregar aleatoriamente os diferentes pavimentos com suas sobrecargas e obter as forças normais e as armaduras nos pendurais.



### EXEMPLO Nº 167: continuação

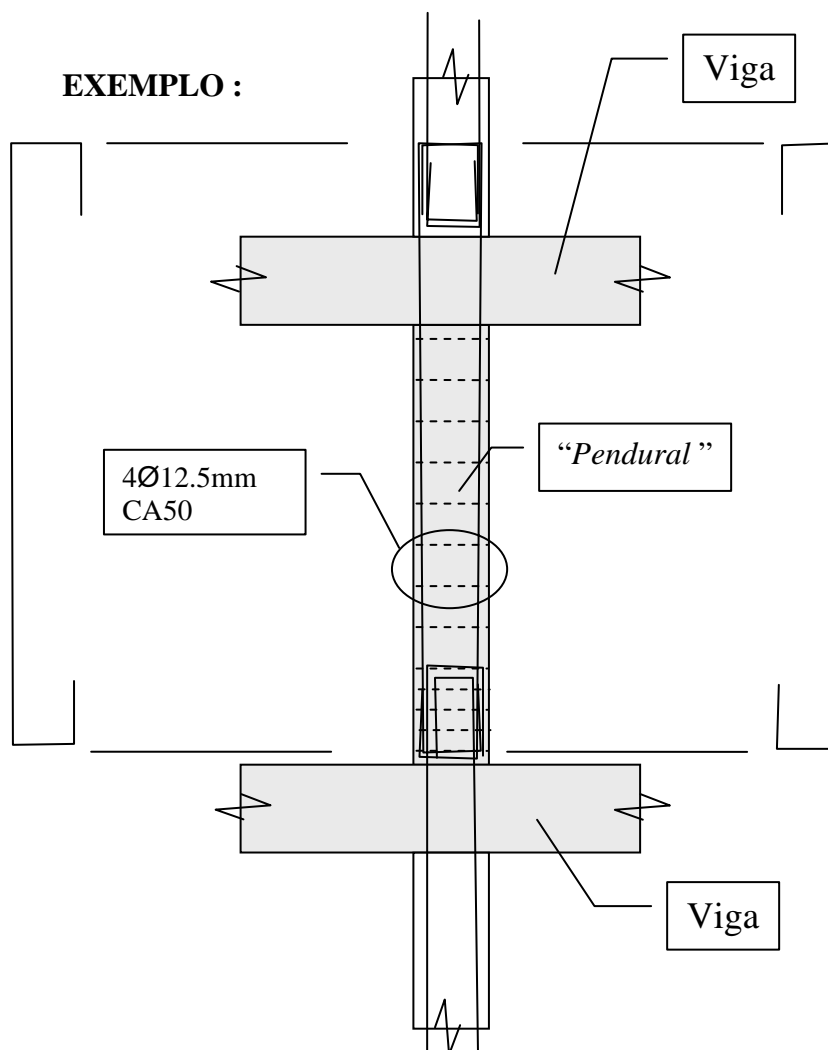
**ESTRUTURAS:** Prédios de concreto armado.

**OBSERVAÇÃO:** Fissuras na interface das alvenarias com as vigas.

**SOLUÇÃO:** Execução de “pendurais” de concreto armado entre todos os pavimentos.

**SUGESTÃO:** Detalhe da armadura dos pendurais :

- As armaduras tracionadas devem ser dimensionadas e detalhadas prevendo boa ancoragem das barras .



- Esse tipo de “pendural” tem sido usado com bons resultados pelos engenheiros que usam os programas tipo TQS, Eberick, Cypecad, etc..., nos projetos das edificações.

- O eng. Lívio Rios, da TQS ( [livorios@uol.com.br](mailto:livorios@uol.com.br)), tem desenvolvido essa técnica dos “pendurais”, obtendo edificações sem fissuras nas alvenarias.

**Observação:** Também se usa esse tipo de “pendural” em lajes lisas, quando são construídas paredes sobre essas lajes. Nessas lajes lisas, sem vigas, esse tipo de fissuração é ainda mais freqüente. As fissuras têm abertura ainda maior do que em estruturas com vigas.

- Os pequenos painéis de alvenaria, totalmente emoldurados por vigas, pilares e pendurais, funcionam como enrijecedores da estrutura para esforços horizontais como o vento, embora não se possa considerar no cálculo das estruturas.

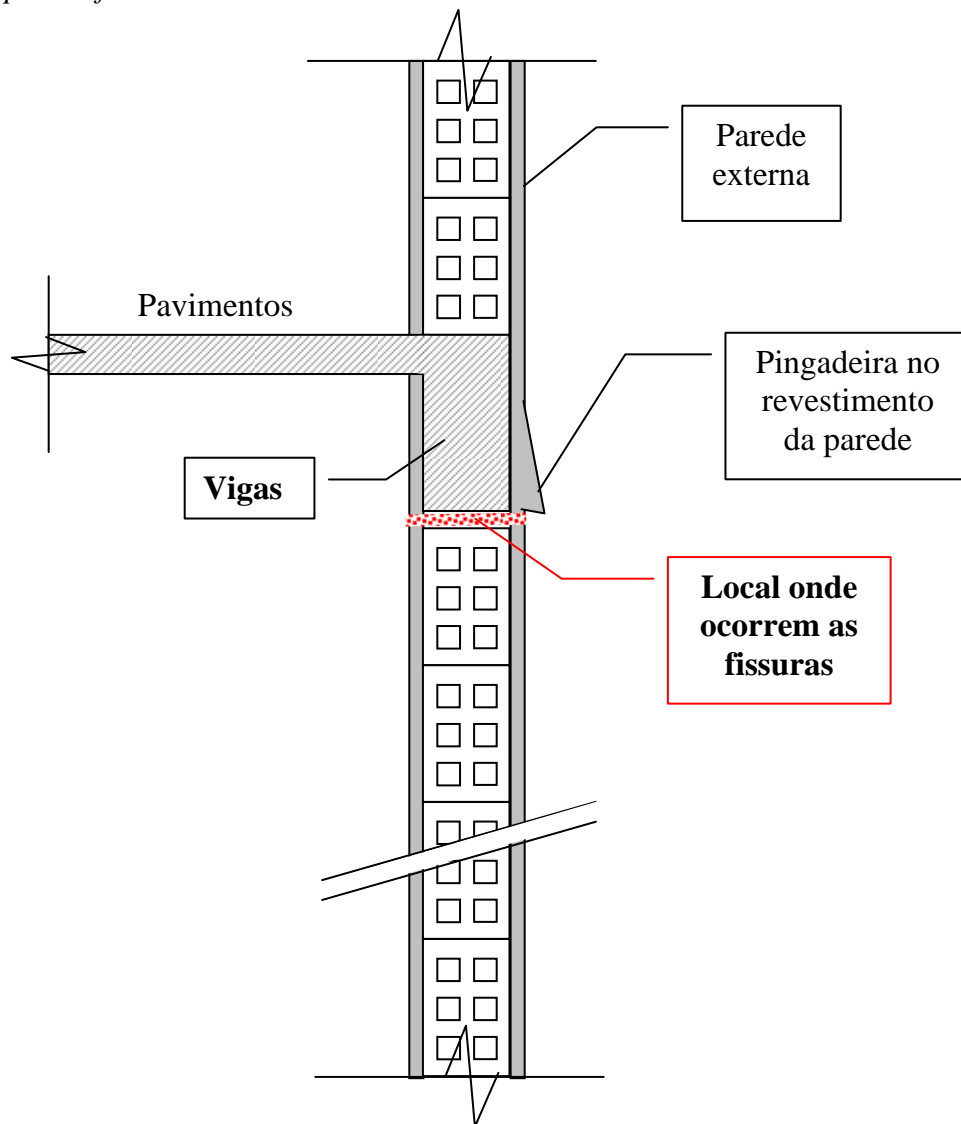
**EXEMPLO Nº 167: ( continuação )**

**ESTRUTURAS:** Prédios de concreto armado.

**OBSERVAÇÃO:** Fissuras na interface das alvenarias com as vigas.

**SOLUÇÃO:** Execução de “pendurais” de concreto armado entre todos os pavimentos.

**RECOMENDAÇÃO ADICIONAL :** Também é aconselhável o uso de pingadeiras nas alvenarias externas, exatamente na interface alvenaria × viga, como mostrado na figura. Isso evita infiltrações de água nesses “pontos fracos”.



**COMENTÁRIOS :**

- É crescente o número de problemas causados por fissuras e mesmo por grandes trincas nas alvenarias. O uso de um concreto com grande resistência torna as vigas e as lajes muito deformáveis, pois elas têm menores espessuras. Daí surgirem fissuras nas alvenarias. Esses problemas devem ser evitados pelo calculista da estrutura, pois cabe a ele o controle da deformabilidade das vigas e lajes. O uso de “pendurais” é uma boa solução para evitar essas fissuras nas alvenarias.
- **Comentários:** As empresas construtoras e incorporadoras estão dando preferência às estruturas com pendurais, pois nessas estruturas não há a formação de fissuras nas alvenarias, o que costuma gerar muitos problemas, como reclamações na justiça para indenizações e refazimentos. Grandes despesas são evitadas executando esses pequenos pendurais com pouca armadura.

**EXEMPLO Nº 168:**

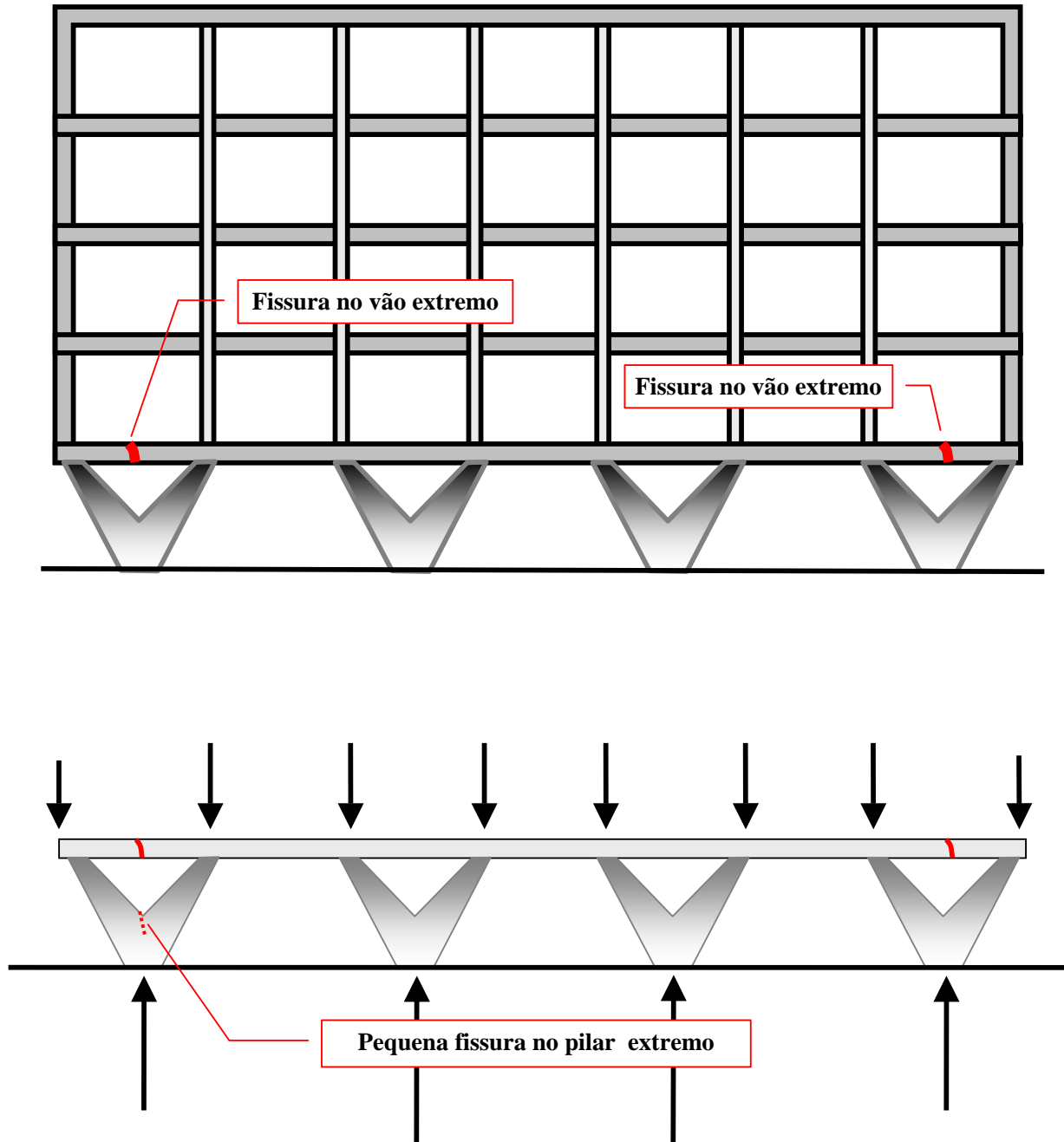
**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V**

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

**Esquema :** Durante uma certa época, 1950 a 1975, foram projetados muitos prédios com pilares em **V V V**.

Ver revista ESTRUTURA – Nº 25 - 1960

**Fissuração:** Em alguns deles surgiram fissuras nos vãos extremos, como mostrado abaixo.



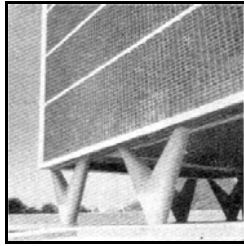
**Causa das fissuras :** Cálculo estrutural incorreto. O modelo estrutural não levou em conta que os dois vãos extremos, e outros vãos centrais, têm grandes forças de tração horizontal. A armadura tracionada deve ser dimensionada com tensões baixas, para reduzir a abertura de eventuais fissuras. O grande alongamento do aço da viga pode conduzir até mesmo à fissuração do pilar. Por isso a tensão na armadura deve ser baixa. Sugerimos usar em serviço  $\sigma_{adm.aço}$  nas vigas = 150 MPa.

**EXEMPLO Nº 168:**

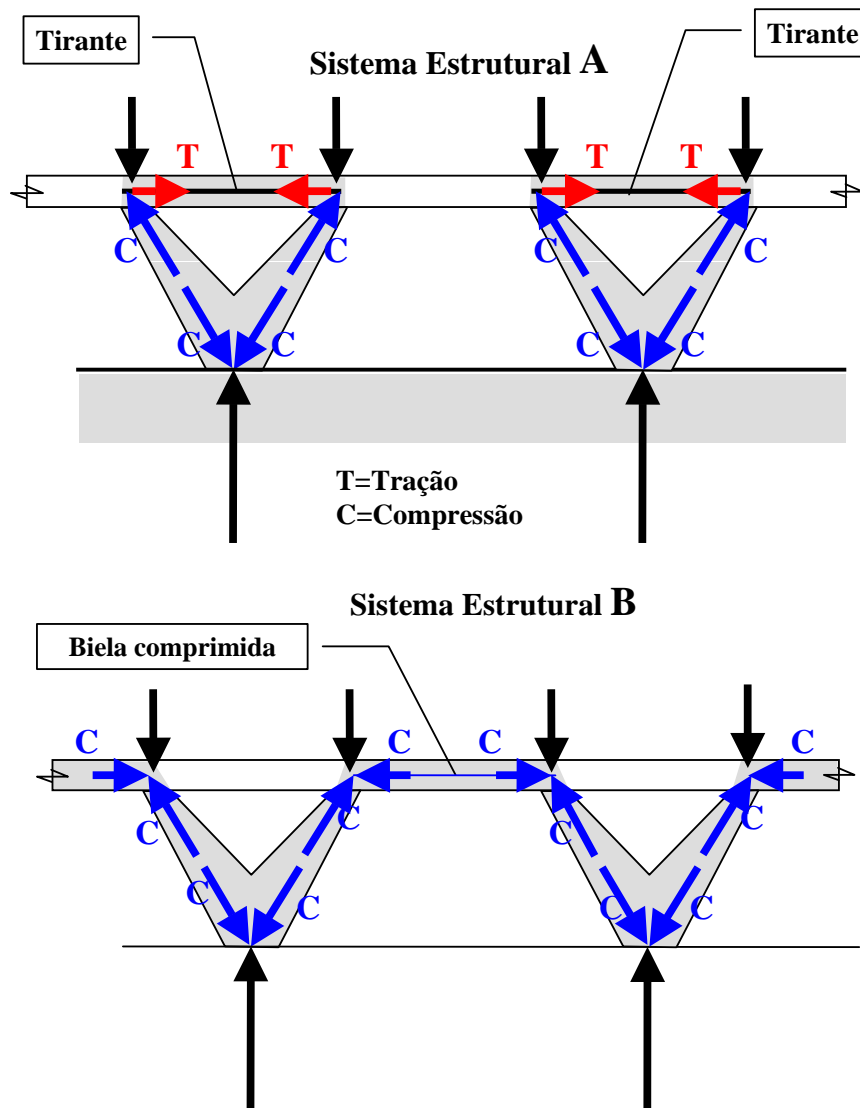
**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V**

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

**Esquemas estruturais possíveis :** Ver Sidney M.G.Santos – Formas em Concreto Armado – Revista ESTRUTURA – Nº 4 – fevereiro 1958



Fotos: Ver revista ESTRUTURA – Nº 25 – 1960



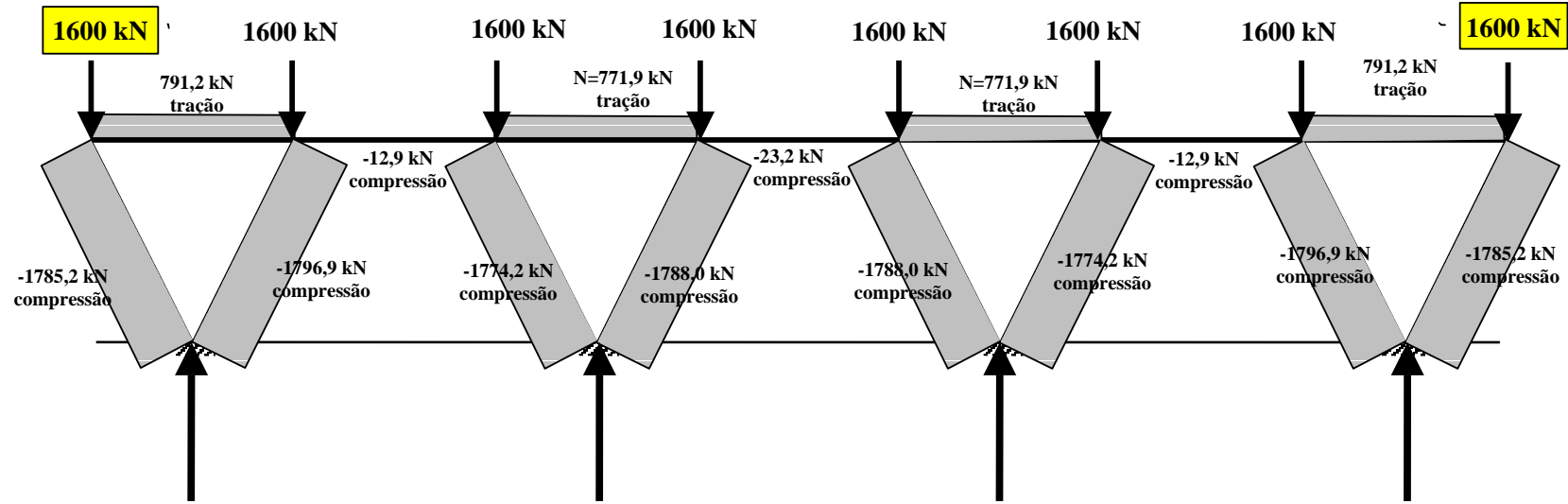
- A seguir um exemplo numérico, não mostrando os diagramas de momento fletor e de força cortante

**EXEMPLO Nº 115:**

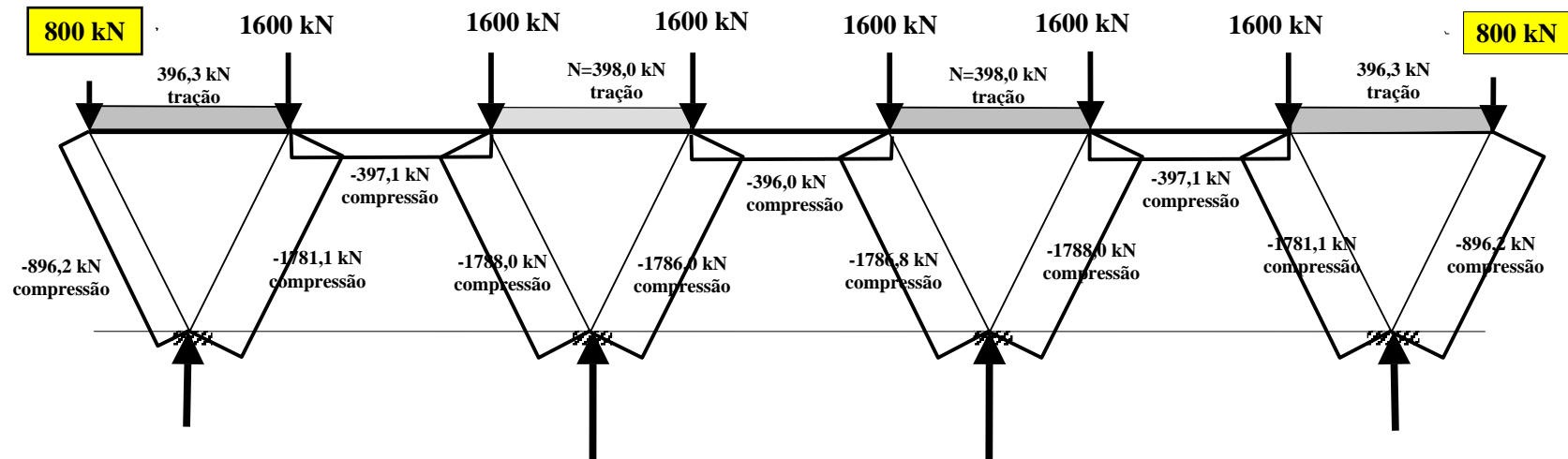
**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de V V V

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

**Se todas as cargas forem iguais predomina o Sistema Estrutural A**



**Se as cargas nas extremidades do prédio forem cerca da metade das demais cargas, o que é comum em um prédio com esse tipo de modulação, os sistemas estruturais A e B funcionam igualmente.**



Colaboração: Eng Alexandre Celles Cordeiro

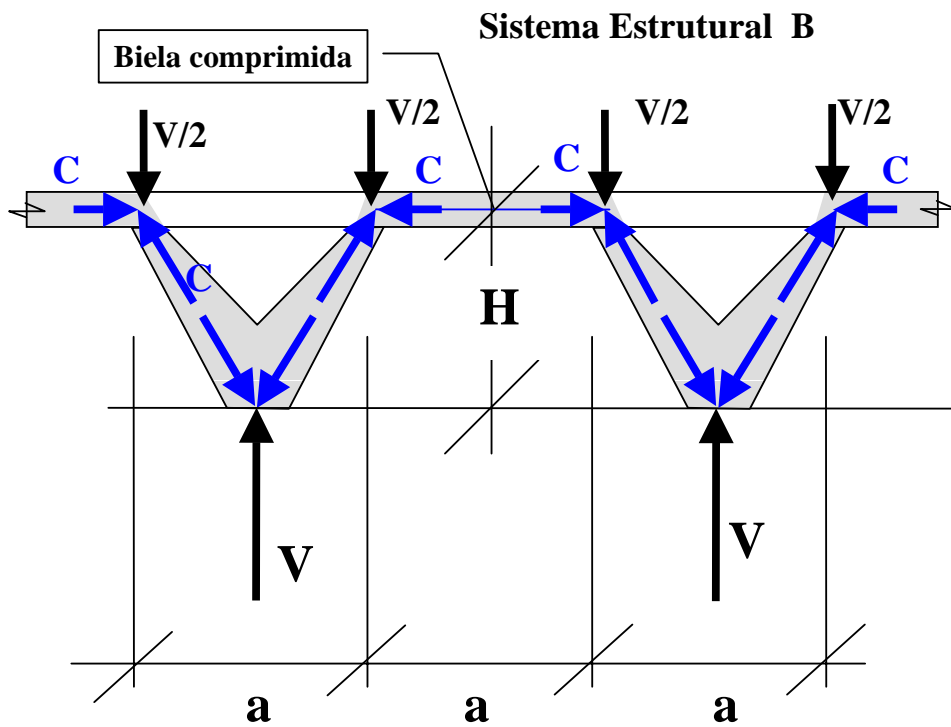
**EXEMPLO Nº 115:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V**

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

**Sugestão :**

1. Para estimar as dimensões da viga comprimida, usar o modelo **B**. Calcular a seção comprimida da viga com uma tensão baixa, como por exemplo,  $\sigma_c \text{ serviço} < (f_{ck} / 4)$ .



- Exemplo :  $V = 320 \text{ ton} = 3200 \text{ kN}$ ;  $a = 5 \text{ m}$  ;  $H = 5 \text{ m}$

Trecho comprimido:

$$C = \left(\frac{V}{2}\right) \times \frac{(a/2)}{H} = \left(\frac{3200 \text{ kN}}{2}\right) \times \frac{(5,0 \text{ m} / 2)}{5 \text{ m}} = 800 \text{ kN}$$

Considerando uma tensão de compressão em serviço igual a  $(f_{ck}/4) = (32 \text{ MPa} / 4) = 8 \text{ MPa}$

$$\text{Área concreto} = \frac{800 \text{ kN}}{8000 \text{ (kN/m}^2)} \geq 0,10 \text{ m}^2$$

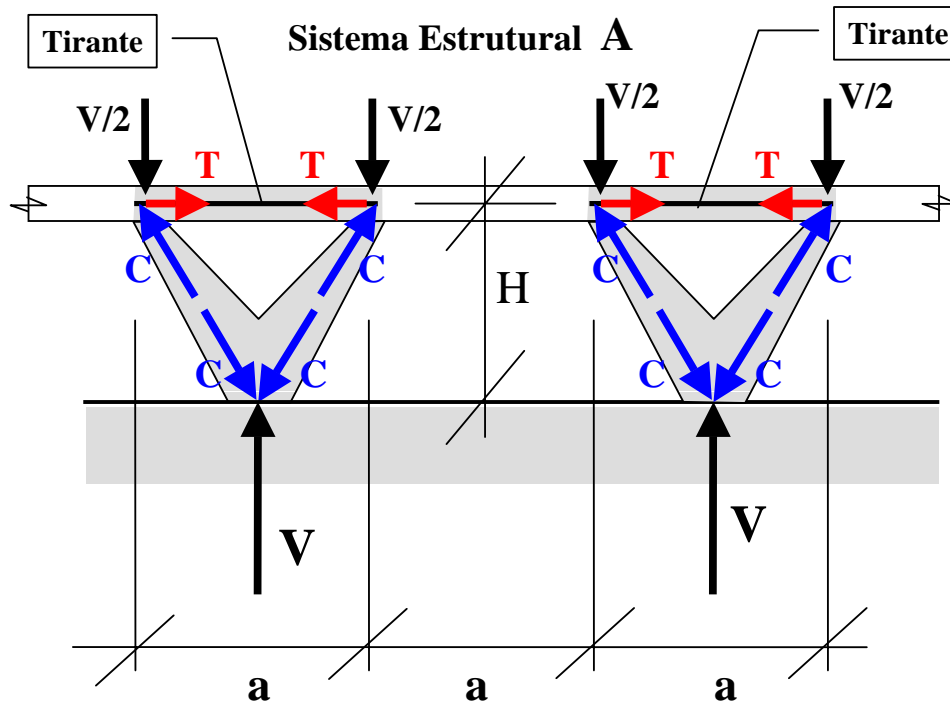
$$\text{Usar uma viga} = (b = 0,45 \text{ m}) \times (h = 0,5 \text{ m}) = 0,225 \text{ m}^2$$

**EXEMPLO Nº 115:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V**

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

2. Para estimar a armadura, considerar o sistema estrutural **A**. Calcular a armadura de tração com uma tensão em serviço baixa, por exemplo,  $\sigma_{aço} = 150\text{MPa}$ . Isso limita a abertura de eventuais fissuras
- Estende-se a armadura de tração, do sistema estrutural **A**, ao longo de toda a viga, inclusive através da zona comprimida **B**, i.e, nas bielas.



$$T = \left(\frac{V}{2}\right) \times \left(\frac{a/2}{H}\right);$$

$$\text{Estado Limite de Utilização: } T = \left(\frac{V}{2}\right) (\text{kN}) \times \left(\frac{a/2}{H}\right)$$

$$\text{Área aço} \geq \frac{T (\text{kN})}{15 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)} = \frac{\left(\frac{V}{2}\right) (\text{kN})}{15 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)} \times \left(\frac{a/2}{H}\right)$$

Estado Limite Último:

$$\text{Área aço} \geq \frac{1,4 \times T}{f_{yd}} = \frac{1,4 \times \left(\frac{V}{2}\right) (\text{kN})}{\frac{50 (\text{kN/cm}^2)}{1,15}} \times \left(\frac{a/2}{b}\right)$$

**EXEMPLO Nº 115:****TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V****FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos**Exemplo:**  $V = 320 \text{ ton} = 3200 \text{ kN}$ ;  $a = 5 \text{ m}$  ;  $H = 5 \text{ m}$ No trecho tracionado:Estado Limite de **Utilização**, sem considerar momentos fletores :

$$T = \left(\frac{V}{2}\right) (\text{kN}) \times \left(\frac{a/2}{H}\right) = \left(\frac{3200}{2}\right) (\text{kN}) \times \left(\frac{5\text{m}/2}{5\text{m}}\right) = 800 \text{ kN}$$

$$A_{\text{aço}} \geq \frac{\left(\frac{3200}{2}\right) (\text{kN})}{15 \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)} \times \left(\frac{5\text{m}/2}{5\text{m}}\right) = 54 \text{ cm}^2 = 12 \phi 25 \text{ mm CA50}$$

Estado Limite **Último**, sem considerar momentos fletores :

$$A_{\text{aço}} \geq \frac{1,4 \times \left(\frac{3200}{2}\right) (\text{kN})}{\frac{50 (\text{kN/cm}^2)}{1,15}} \times \left(\frac{5\text{m}/2}{5\text{m}}\right) = 26 \text{ cm}^2 = 6 \phi 25 \text{ mm CA50}$$

**Resumo do exemplo :**

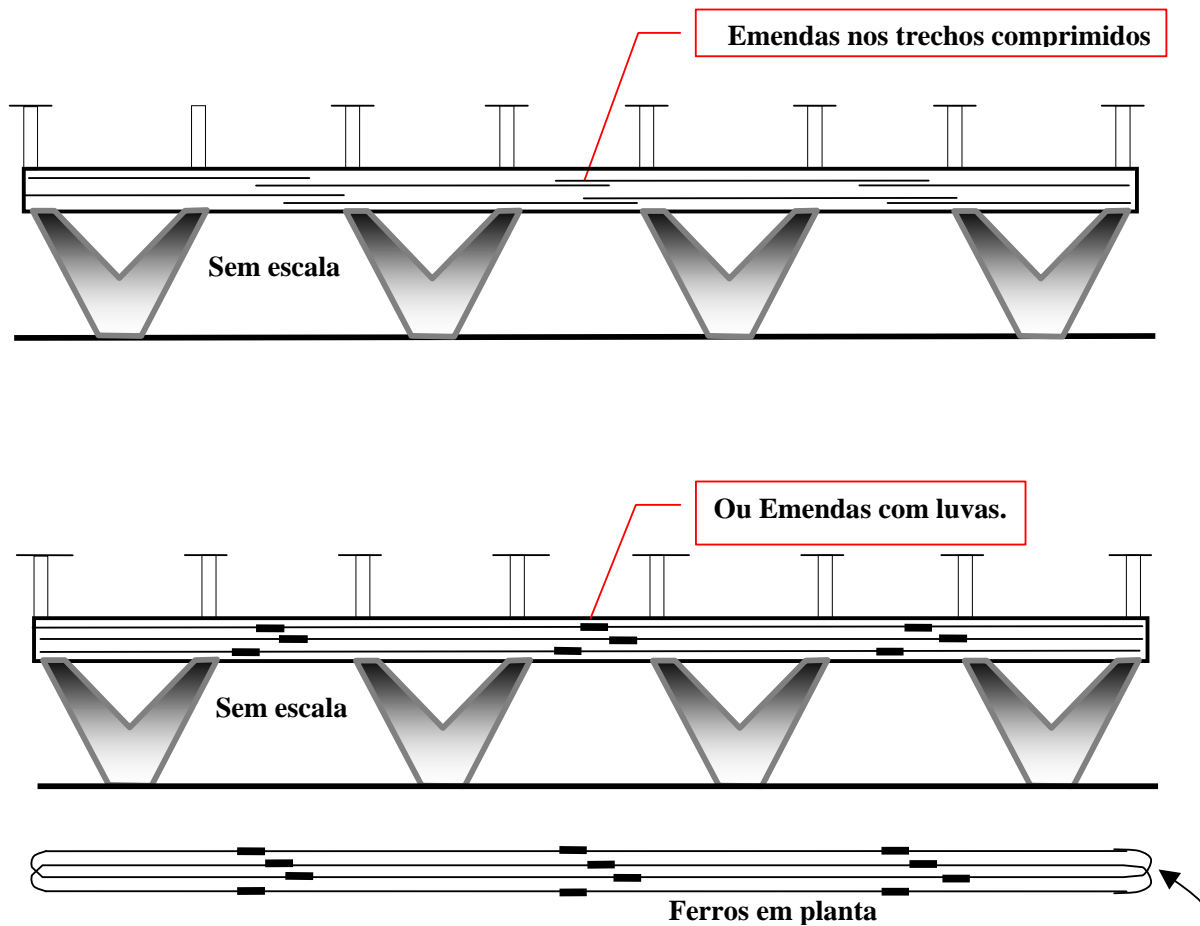
- Tração axial : Armadura superior =  $27 \text{ cm}^2$  ; Armadura inferior =  $27 \text{ cm}^2$ .
- Deve-se considerar, também, a existência do **momento fletor** na viga, devido à carga das lajes e ao peso próprio da viga e das paredes.
- Considerando a existência de momentos fletores na viga a armadura total aumenta .  
Armadura superior =  $40 \text{ cm}^2 = 8 \Phi 25 \text{ mm}$  ; Armadura inferior =  $40 \text{ cm}^2 = 8 \Phi 25 \text{ mm}$ .
- Usar ferros costelas de grande diâmetro ( $\Phi > 12,5 \text{ mm}$ ) , para limitar abertura de eventuais fissuras.
- As emendas necessárias das barras devem ser projetadas e executadas nos trechos comprimidos, i.e. nos trechos das bielas comprimidas.



**EXEMPLO Nº 115:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V**

**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos



- Atenção especial deve ser dada à ancoragem das barras nos dois extremos da viga.



Pilotis do Prédio da Fundação Getúlio Vargas 1958 (Rio de Janeiro),

**EXEMPLO Nº 115:**

**TIPO DE ESTRUTURA :** Prédios de concreto armado com pilares em forma de **V V V**

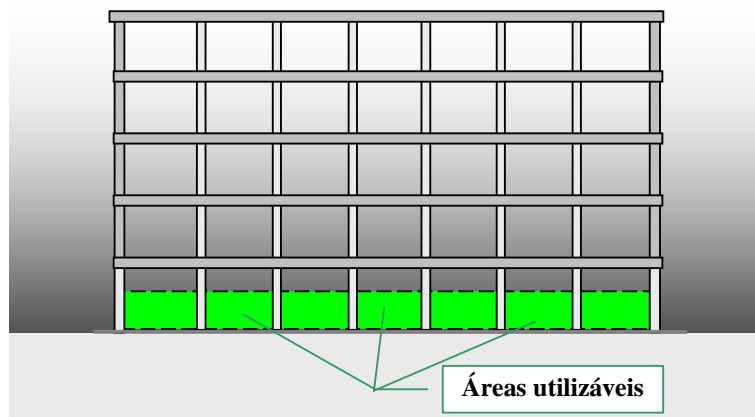
**FISSURAÇÃO :** Fissuras nas vigas do teto do pilotis nos vãos extremos

**Comentários :**

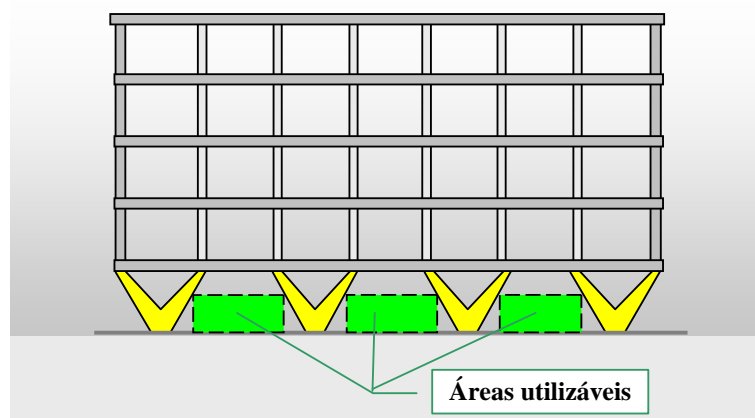


Fotos: Ver revista ESTRUTURA – Nº 25 - 1960

Esse tipo de pilar em **V V V V**, na prática, não aumenta o espaço útil total nos pilotis, nem aumenta o espaço útil na garagem. Pelo contrário, a circulação das pessoas e dos veículos fica menos regular.



- A solução usual, com pilares verticais até a fundação, é mais eficiente estruturalmente e não reduz a circulação pelos espaços úteis.



- A solução com pilares em **V V V V**, reduz a circulação pelos espaços úteis em até 50%. Por isso, esse tipo de pilar **V** não é mais usado. Além disso, pessoas desatentas batem com a cabeça no pilar inclinado.



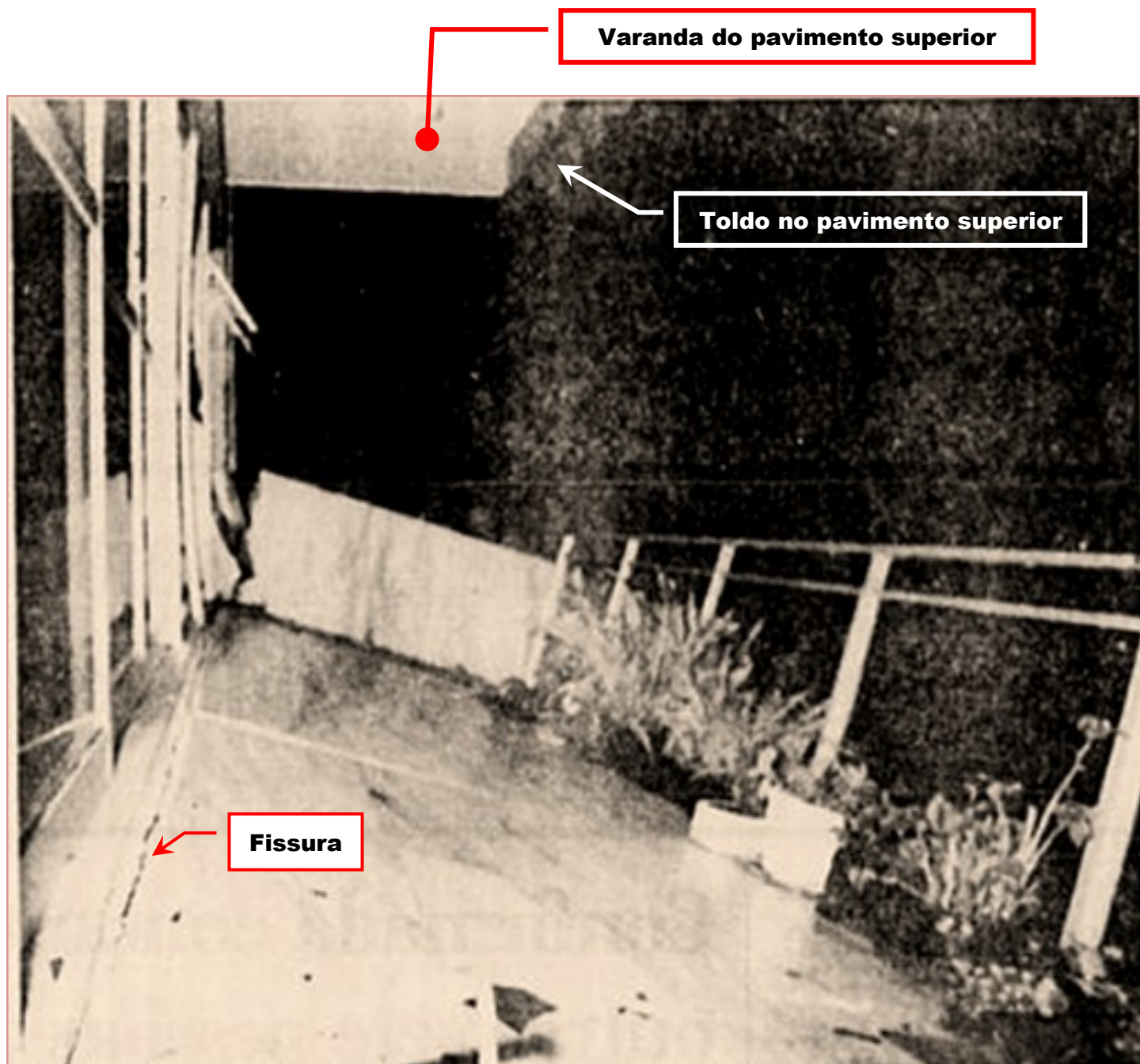
## **Exemplo 169 - Varanda em balanço Acidente devido ao Empuxo no vazio**

Prof. Eduardo  
C. S. Thomaz  
Notas de aula

JORNAL DO BRASIL – CIDADE – DOMINGO - 21 DE MARÇO 1993 – PÁG. 23

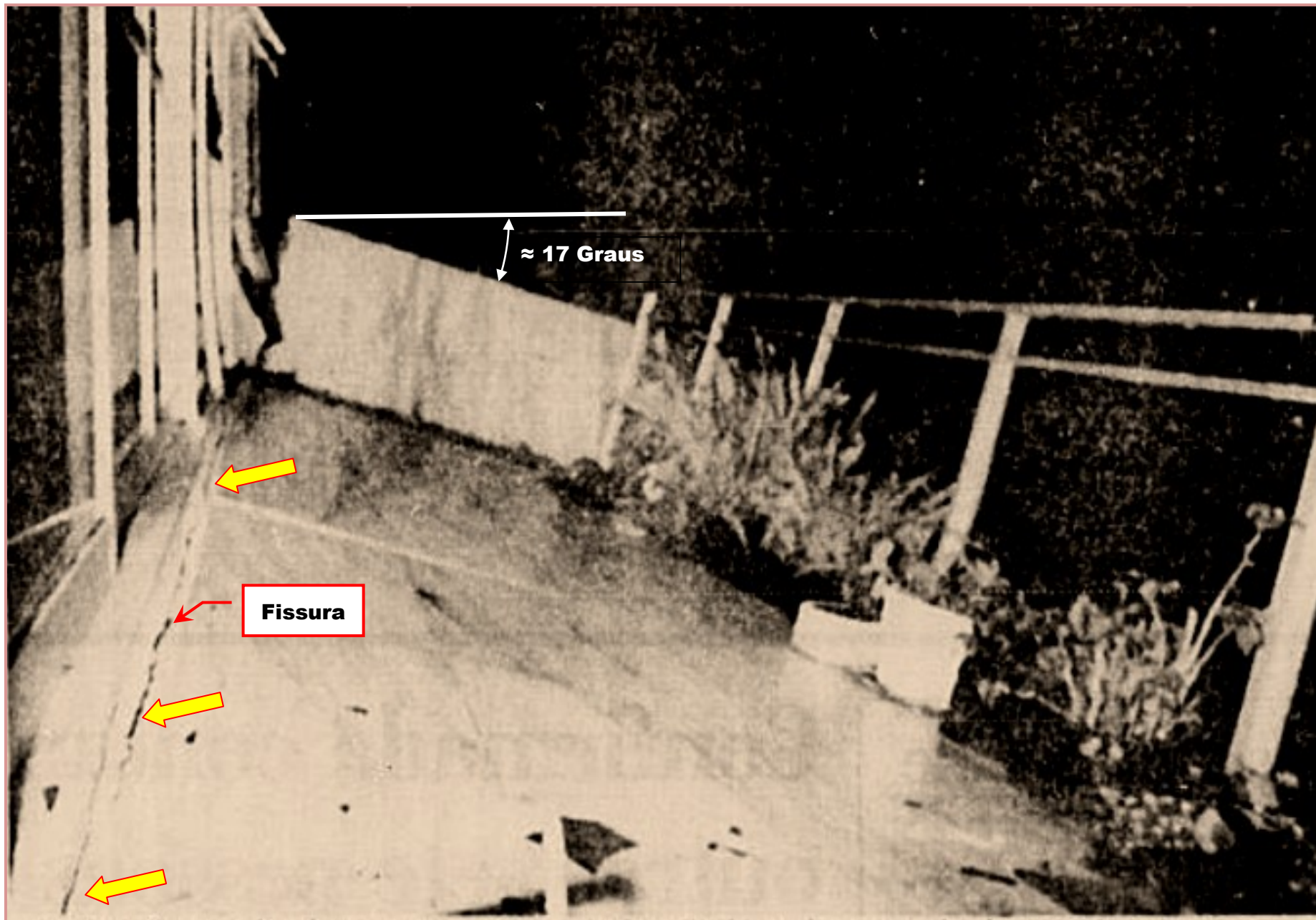
### **VARANDA EM BALANÇO**

PRÉDIO CONSTRUÍDO EM 1981 = 12 ANOS ANTES DO ACIDENTE .



**VARANDA EM PRÉDIO NA AV. MARACANÃ / RJ**

**GRANDE FISSURA AO LOMGO DE TODO O ENGASTE DA LAJE = VARANDA COM PISO INCLINADO  
ARMADURA MAL DETALHADA, CRIANDO EMPUXO NO VAZIO.**



AMPLIADO : GRANDE FISSURA NO ENGASTE DA LAJE = PISO INCLINADO NA VARANDA

## EMPUXO NO VAZIO

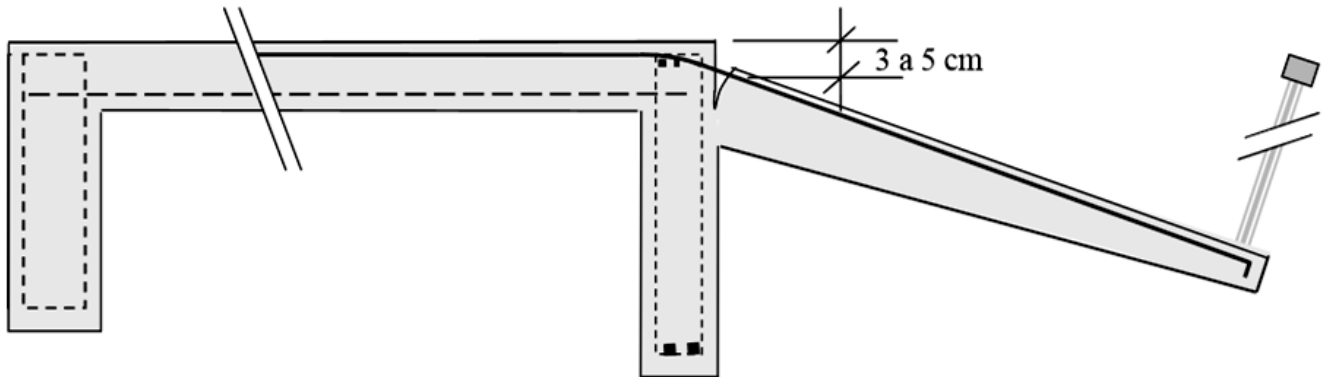
<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo136.pdf>

### Exemplo semelhante ao Exemplo 136

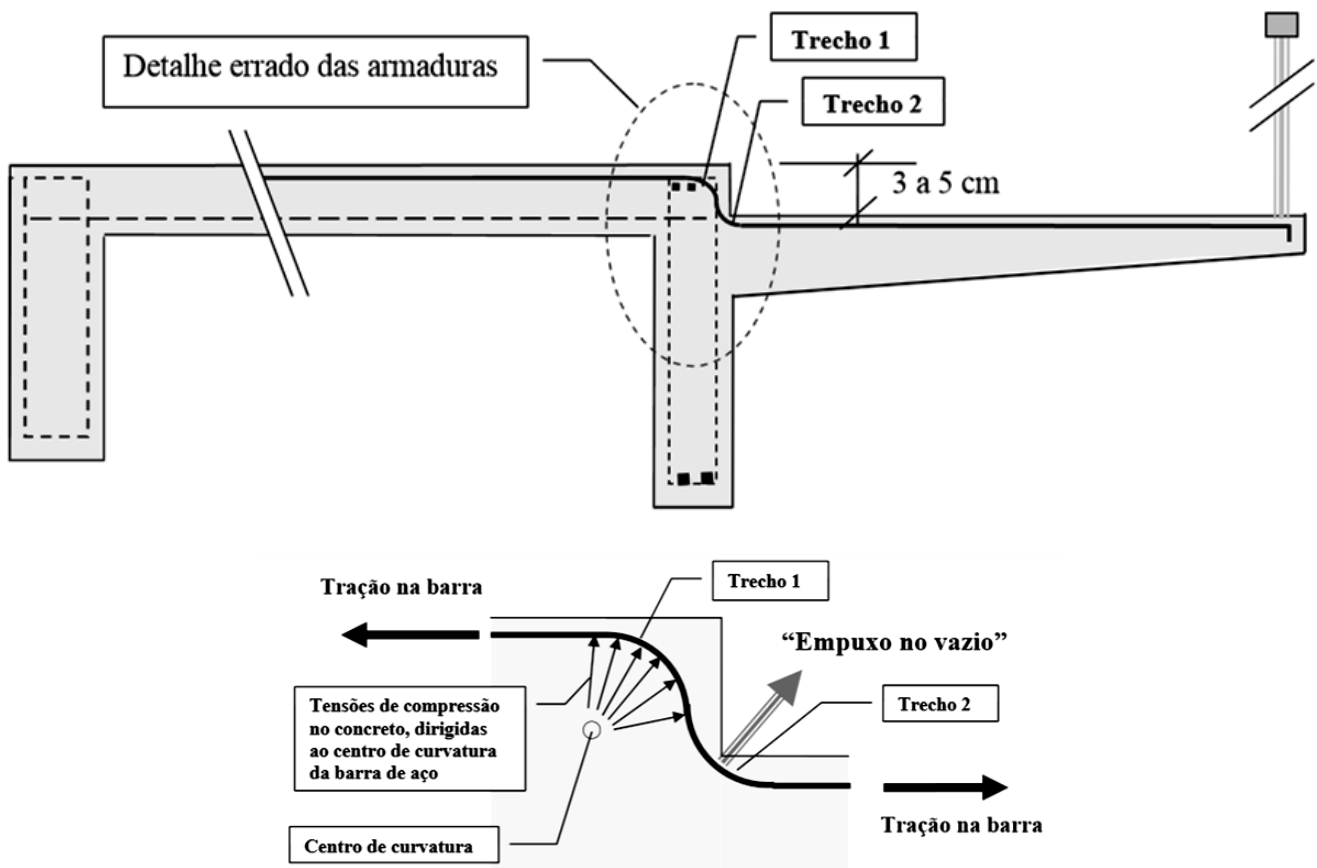
**ESTRUTURA :** Edifício em concreto armado, com varandas rebaixadas de 3cm a 5cm.

**FISSURAÇÃO :** Fissuras na ligação das lajes da varanda com a laje que serve para engastá-la. Grande rotação da varanda. Ver reportagem no jornal JB [114]

**ESQUEMA :**



**CAUSA DA RUPTURA :** Retificação da barra mal detalhada no projeto. É o chamado empuxo no vazio. Ao ser tracionada, a barra tende a retificar. No trecho 1 da barra, com centro de curvatura dentro do concreto, surgem tensões de compressão, como mostrado na figura abaixo. No trecho 2, com centro de curvatura fora do concreto, surgem forças dirigidas para fora do concreto. Nesse trecho 2, a barra arranca o concreto de cobertura e se torna reta. É o conhecido efeito “empuxo no vazio”. Ver também o exemplo N<sup>o</sup> 50. Ver também Nelson A. Lima [113].

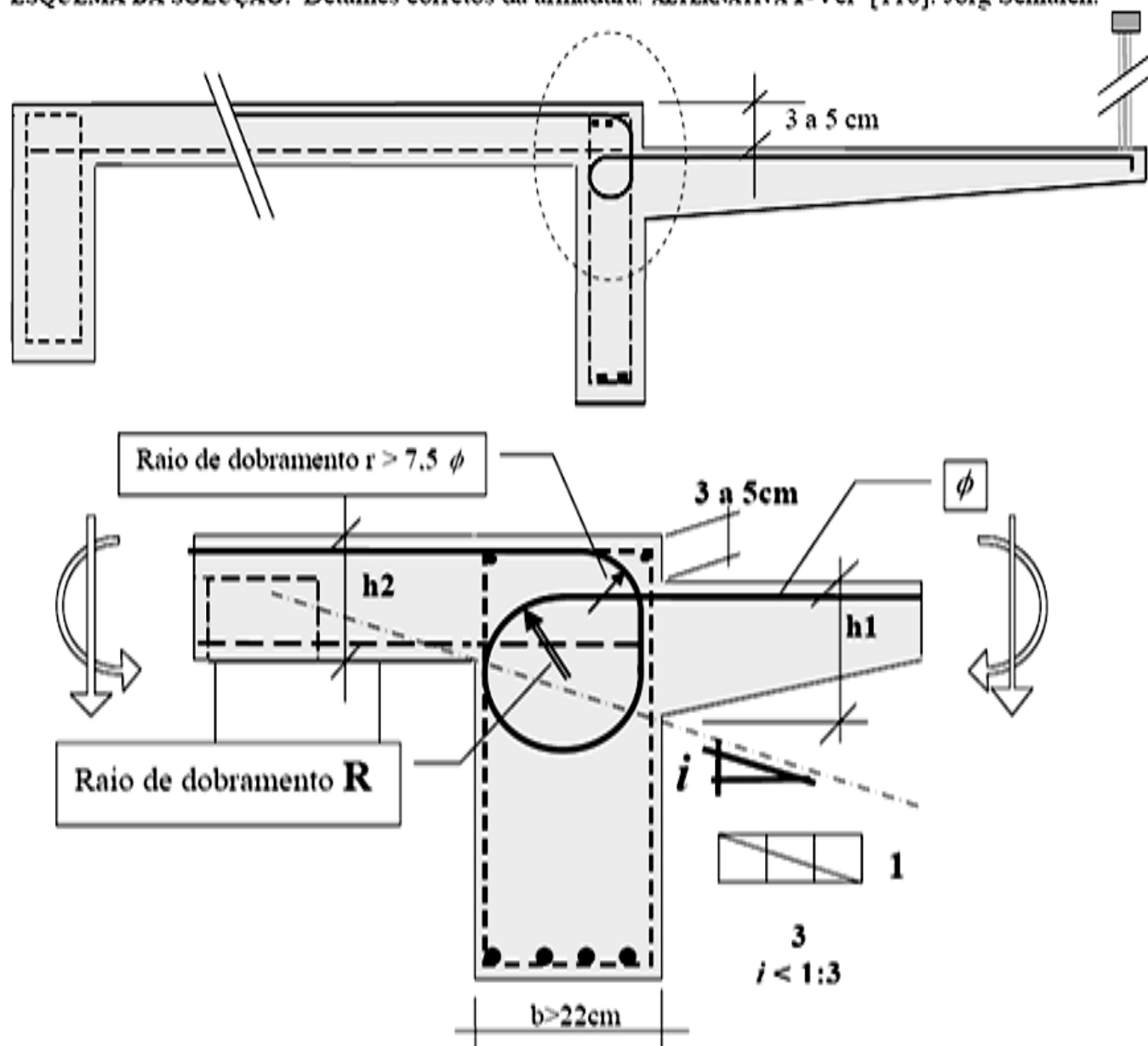


Ver link: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo136.pdf>

**ESTRUTURA :** Edifício em concreto armado, com varandas rebaixadas de 3cm a 5cm

**FISSURAÇÃO :** Fissuras na ligação das lajes da varanda com a laje que serve para engastá-la.

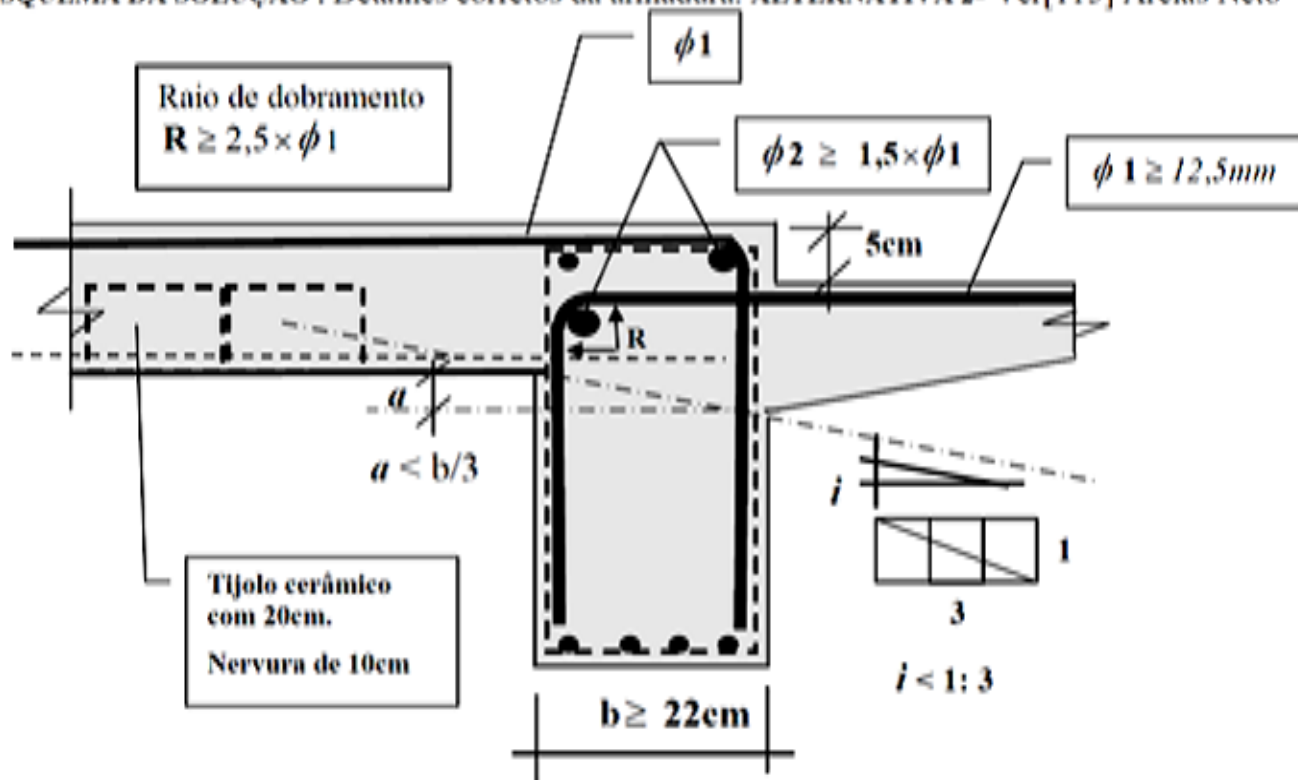
**ESQUEMA DA SOLUÇÃO :** Detalhes corretos da armadura. ALTERNATIVA 1-Ver [116]: Jorg Schlaich.



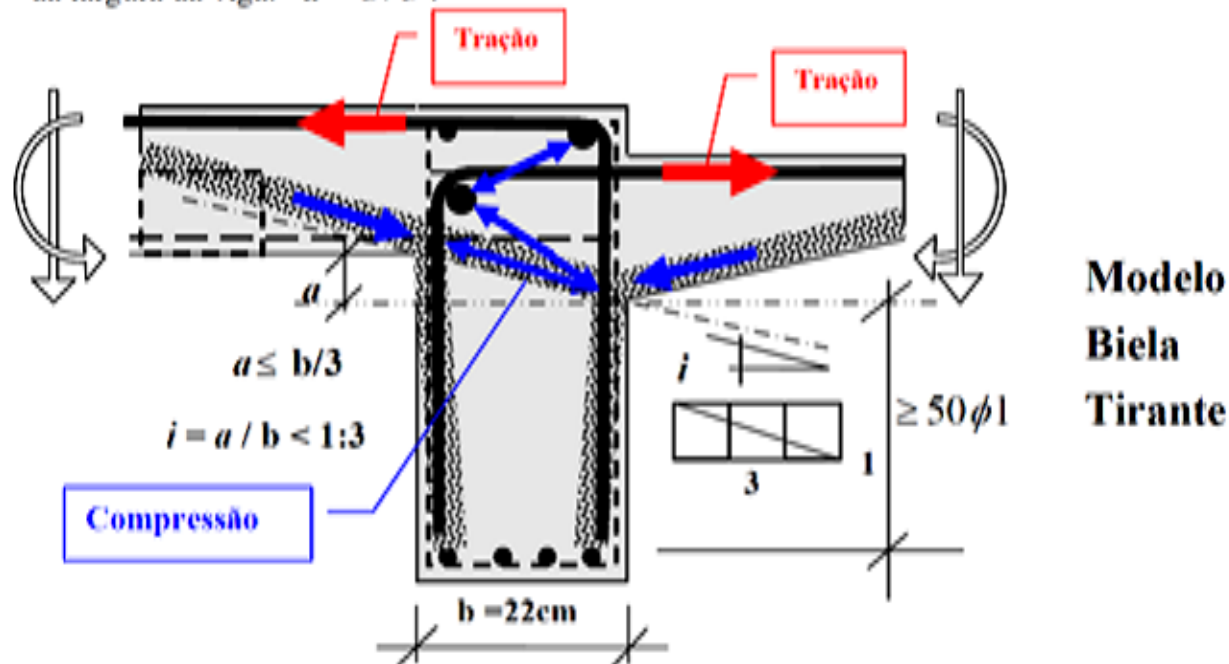
**COMENTÁRIOS :**

- O raio de dobramento **R** da barra deve ser o maior possível dentro da largura da viga.  
 $b = 2R + 2\phi + 2c$ , sendo  $c$  = cobrimento da armadura.
- Os raios de dobramento deve ser maiores que os exigidos pela norma.  $R \geq 7,5 \times \phi$  ;  $r \geq 7,5 \times \phi$
- O raio de dobramento do “laço” **R** deve ser maior que  $\left(\frac{h1}{2}\right)$  para que o “laço” envolva toda a espessura da laje do balanço.  $R \geq \left(\frac{h1}{2}\right)$
- Exemplo:  $\phi = 12,5\text{mm}$  obtemos: Dobramento da parte superior :  $r \geq 7,5 \times 1,25 = 9,4\text{cm}$
- Dobramento do “laço”:  $R \geq 7,5 \times 1,25 = 9,4\text{cm}$  ;  $\left(\frac{h1}{2}\right) \leq R = 9,4\text{cm}$  ;  $h1 < 19\text{cm}$
- $b = 2R + 2\phi + 2c = 2 \times 9,4 + 2 \times 1,25 + 2 \times 2 = 25,3\text{cm}$
- A viga não é dimensionada para engastar a varanda, isto é, não é dimensionada com torção.
- Todo o momento de flexão da laje da varanda deve ser transmitido para a laje anexa.
- A laje anexa à varanda deve ter uma grande espessura. Em geral, a laje é feita com nervuras de tijolos cerâmicos. Junto ao engaste da varanda não devem ser colocados tijolos.

**ESTRUTURA:** Edifício em concreto armado, com varandas rebaixadas de 3cm a 5cm.  
**FISSURAÇÃO:** Fissuras na ligação das lajes da varanda com a laje que serve para engastá-la.  
**ESQUEMA DA SOLUÇÃO:** Detalhes corretos da armadura. ALTERNATIVA 2- Ver[115] Arcias Neto



- A colocação das barras  $\phi 2 \geq 1,5 \times \phi 1$  é de grande importância para transmissão do momento fletor do balanço para a laje adjacente.
- O raio  $R$ , de dobramento das barras  $\phi 1$ , deve ser maior que  $1,5 \times \phi 1$ .
- A viga deve ter uma largura de 22cm para facilitar a concretagem.
- A viga deve ter 22cm para ficar embutida na parede externa de 25cm, onde existir essa parede.
- O desnível entre o fundo da laje em balanço e o fundo da laje vizinha não deve ser maior que  $1/3$  da largura da viga.  $a < b/3$ .



**OBSERVAÇÃO:** Essas vigas, que suportam varandas, têm grande carga e podem ter grandes flechas, após algum tempo. É recomendável o uso de armadura de compressão. Ver exemplos N<sup>o</sup> 141 e 142.



**FISSURAÇÃO – CASOS REAIS**  
**EXEMPLO 170 : CORROSÃO DA ARMADURA**  
**EM UM BANCO DE JARDIM**

Prof.. Eduardo  
C. S. Thomaz  
Notas de aula



O M.A.M. , foi executado em 1958 , em concreto aparente, com 550 kg de cimento por m<sup>3</sup> de concreto. Está em perfeito estado, sem qualquer corrosão das armaduras. O concreto do banquinho de jardim, ao contrário, foi executado, intencionalmente, com pouco cimento para apresentar uma textura porosa rústica. A armadura foi corroída.



**O banquinho de jardim fica situado em frente a uma praia.**



**O concreto foi intencionalmente executado poroso, com pouco cimento, para apresentar uma textura rústica. Foi tomado o cuidado de garantir o “cobrimento” correto das armaduras, mas, através dos poros do concreto poroso, as armaduras foram atingidas pela maresia contendo cloro. A corrosão da armadura ocorreu.**

## **Detalhe do concreto poroso**



**Embora seja necessário, não é suficiente cuidar apenas do “cobrimento” das armaduras.**

**Um “traço” correto do concreto, rico em cimento, também é indispensável.**

## **Fissuração – Casos Reais – REFERÊNCIAS:**

- 1 - Code-modele CEB-FIP - Pour les structures en béton 1978.
- 2 - Gallus Rehm. Zur Frage de Rissebegrenzung im Stahlbetonbau  
Revista Beton u. Stahlbetonbau 63 (1968) n° 8
- 3 - Rao P.S. Die Grundlagen zur Berechnung der bei statisch unbestimmten  
Stahlbetonkonstruktionen im plastischen Bereich auftretenden Umlagerungen der Schnittkraefte  
D.A.f.Stb Cad 177 - 1966
- 4 - Leonhardt, Fritz. – “Vorlesungen ueber Massivbau” - Vol. 1 a 5 -Tradução do eng. João Luiz  
Merino : “Construções de concreto” - Editora Interciência Ltda .
- 5 - Horst Falkner - Zur Frage der Rissbildung durch Eigen- und Zwaengspannungen infolge  
Temperatur in Stahlbetonbauteilen D.A.fStb - Cad.208
- 6 - Leonhardt, Fritz - Zur Behandlung von Rissen im Beton in den deutschen Vorschriften.  
Beton-und Stahlbetonbau 80 - Heft 7 e Heft 8. - 1985
- 7 - Peter Schiessl - Konstruktionsregeln zur Beschraenkung der Rissbreite - Grundlage zur  
Neufassung DIN 1045, Abschnitt 17.6 (Entwurf 1985) Beton-und Stahlbetonbau 1/1986
- 8 - Emil Moersch - Der Eisenbetonbau - Seine Theorie und Anwendung Verlag von  
Konrad Wittwer - Stuttgart 1926 e tradução : Teoria e Prática Del Hormingón Armado.  
Editorial Gustavo Gili AS.1948-Barcelona
- 9 - Fritz Leonhardt - Spannbeton fuer die Praxis-Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn.  
Berlin 1962
- 10 - Eduardo Thomaz - Fissuração - Revista Estrutura n° 93 - Rio de Janeiro -1980
- 11 - Ph. Leger - Défauts apparents des ouvrages d'art en beton Laboratoire Central de Ponts et  
chaussées. Ministère de L'equipement. Paris - France - 1975
- 12 - Albert Joilssel - Les fissures du ciment. Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des  
Liants Hydrauliques. Editions Scientifiques Techniques et Artistiques S.T.A.R.  
Paris 1968.
- 13 - Eric Schild - Schwachstellen : Schaeden Ursachen. Konstruktions-und Ausfuehrungs-  
empfehlungen. - Bauverlag GmbH - Wiesbaden und Berlin 1976.
- 14 - L Hermite,Robert - Deformation du Bèton sans charge (Retrait et Gonflement) - Annales  
ITBTP n° 375 - Sept.1979
- 15 - CEB - Bulletin d information n°150 - Detailing of Concrete Structures  
Joerg Schlaich u. Dieter Weischede Mars 1982
- 16 - Dietger Weischede - Untersuchungen zum Methodischen Konstruieren im Stahlbetonbau.  
Universitaet Stuttgart-1985
- 17 - Maria Cascão Ferreira de Almeida - An analysis of cracking behaviour of reinforced concrete -  
Polytechnic of Central London - 1984

- 18 - Camilo Michalka Junior - Zur Rotationsfaehigkeit von plastischen Gelenken in Stahlbetontraegern. - Universitaet Stuttgart 1986
- 19 - Dieter Jungwirth - Begrenzung der Rissbreite im Stahlbeton - und Spannbetonbau aus der Sicht der Praxis. - Beton - und Stahlbetonbau Juli/1985 Heft 7
- 20 - J. Schlaich - Konstruieren in Stahlbetonbau - Beton kalender 1984
- 21 - DIN 4227 - Spannbeton; Bauteile aus Normalbeton mit beschaenker oder voller Vorspannung/79
- 22 - Eduardo Thomaz - Armadura de Cantos de Quadro - Apostila da Escola de Engenharia da UFRJ
- 23 - NBR 6118 (Antiga NB1-78) - Projeto e Execuçaõ de Obras de Concreto Armado.
- 24 - DIN 1045 - Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausfuehrung/1978
- 25 - PUC-RJ - Marta de Souza Lima Velasco - Março 84 - Influência da espessura no comportamento de vigas parede de concreto armado - Tese de Mestrado
- 26 - Eduardo Thomaz - Fissuração - Palestras em : Escola de Engenharia de São Carlos - SP 1985; IME - Instituto Militar de Engenharia-RJ-1985; COPPE-UFRJ- 1985/86/87/88/89
- 27 - Cristina Hagenauer - Fissuração inclinada-Ensaio no laboratório de materiais da Fac. Engenharia da UERJ. Trabalho de graduação - Dezembro de 1985.
- 28 - Clarke,J.L. - Behavior and design of pile caps with four piles - Cement and Concrete Association - London - 1973 pp.19 Technical Report 42.489
- 29 - Eduardo Thomaz - Consolo Curto - Revista Estrutura nº 96- Setembro 1981
- 30 - Prof. José Luiz Cardoso - "Recuperaçãõ de Estruturas" - DER - RJ - Julho 1987
- 31- Prof.Luiz Eloi Vaz e Prof. Ney Dumont- Análise térmica e de Tensões de uma barragem de concreto compactado a rolo - VIII Congresso latino-americano e ibérico sobre métodos computacionais para engenharia - Novembro 1987
- 32 - Arq. Ruy Ohtake - O uso plástico do concreto na arquitetura. 2º Simpósio de tecnologia do concreto -Curitiba -Nov./1988.
- 33 - Dr.Ing. Horst Falkner - Fugenlose oder Wasser-Undurchlaessige Stahlbetonbauten ohne zusaetzliche Abdichtung.-Betontag 1983 - Deutscher Beton=Verein E.V.
- 34 - Prof. Dr. Ing. J.Schlaich und Prof.Dr.Ing.K.Schaefer - Konstruieren in Stahlbetonbau ( Construir em concreto armado) Beton-Kalender / 1989 Teil 2
- 35 - Prof. Pericles Brasiliense Fusco - EPUSP - 1985 - Investigaçaõ experimental sobre o valor limite  $\tau_{wu}$  das tensões de cisalhamento no concreto estrutural.
- 36 - Prof. Otto Graf (Stuttgart),Prof F.Hundeshagen (Stuttgart) und Prof A.Kleinlogel (Darmstadt). Einfluesse auf Beton - Berlin 1930 - Dritte Auflage.

- 37 - DBV-Merkblatt "Wasserundurchlaessige Baukoerper aus Beton " Fassung August 1989 .  
Wiesbaden : Deutscher Beton-Verein E.V.
- 38 - Prof. Rupert Springenschmid , Dr.Ing. Rolf Breitenbuecher . "Beurteilung der  
Reissneigung anhand der Risstemperatur von jungem Beton bei Zwang".  
Baustoffinstitut der Technischen Universitaet . Beton- und Stahlbetonbau , Heft 2 - 1990.
- 39- Paulo Helene - Corrosão em armaduras para concreto armado-IPT-SP , Editora PINI 1986
- 40- Revista Bauingenieur - Outubro de 1991
- 41- Maubertec - Documentação técnica para concorrência de privatização da ponte Rio-Niterói  
Setembro de 1993- Não publicada.
- 42- CEB-FIP MODEL CODE 1990 ( FINAL )
- 43- Prof. Dr. Ing. J.Schlaich - Konstruieren im Stahlbetonbau - Beton-Kalender 1993 - Teil II
- 44- Dr. Ing. H.U.Litzner - Grundlagen der Bemessung nach Eurocode 2-Vergleich mit  
DIN 1045 und DIN 4227. Beton - Kalender. 1994 Teil I.
- 45 – Péricles Brasiliense Fusco – Técnica de armar as estruturas de concreto .  
Editora Pini - 1997
- 46- Hugo Bachmann - Institute of Structural Engineering IBK - Swiss Federal Institute of  
Technology ETH - Zürich, Switzerland - *e-mail*: [bachmann@ibk.baug.ethz.ch](mailto:bachmann@ibk.baug.ethz.ch)
- 47 - Kacky Gunsee et André Lê Roux -Mise em évidence des produits de l'alcali-reaction par la  
fluorescence des ions uranyles. Utilisation de la photographie numérique  
Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées -229 –Novembre – Décembre 2000
- 48 -Paulo J.M.Monteiro, Mônica Prezzi -The Alkali-Silica Reaction , Part 1 : Use of the Double-  
Layer Theory to Explain the Behavior of Reaction –Products Gels – ACI Materials Journal /January-  
February 1997
- 49 - Paulo J.M.Monteiro, Mônica Prezzi -The Alkali-Silica Reaction , Part 2 : The Effect of  
Chemical Admixtures . Effect of Silica Fume and Rice Husk Ash on Alkali-Silica Reaction  
-ACI Materials Journal / January-February 1998.
- 50 - Comite Euro-International du Beton - Bulletin d'Information Nr 148  
Durability of Concrete Structures - State-of-the-Art – 1982
- 51- Povindar Kumar Mehta & Paulo J. M. Monteiro Concreto – Estrutura , Propriedades e  
Materiais Editora Pini ( tradução ) – 1994
- 52 - F.M.Lea -The Chemistry of Cement and Concrete, 3<sup>rd</sup> edition 1971 - ( First Edition 1935 )  
*Chemical Publishing Co., Inc. New York*
- 53 -Eng. Walton Pacelli de Andrade - Furnas, Laboratório de concreto – Ensaios e Propriedades  
Editora PINI –1997

- 54 -Shondeep L. Sarkar -Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes  
Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology – Principles, Techniques  
and Applications – V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin - Noyes Publications – 2001
- 55- D.W. Hobbs - Alkali-Silica Reaction in Concrete – Capítulo de : Structure and Performance of  
Cements 2<sup>nd</sup> edition - J. Bensted and P.Barnes (editors) – Spon Press -2002
- 56- Mario Collepardi -Damage by Delayed Ettringite Formation - A holistic approach and new  
hypothesis - Concrete International – ACI - January 1999
- 57 - Thomas J. Reading - Combating Sulfate Attack in Corps of Engineers Concrete Construction -  
ACI – Publication SP-47 / 1975 – Durability of Concrete.
- 58 - Shondeep L. Sarkar -Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes, capítulo  
do livro Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology- Principles,  
Techniques and Applications - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin - Noyes Publications – 2001
- 59 - L.J.Malvar , T.W.Sherman – Alkali-Silica Reaction Mitigation : State of the Art and  
Recommendations – ACI Materials Journal /September –October 2002
- 60 - Lycia Nordemann - Reportagem no Jornal do Brasil - 26/11/89 - "Chuva do Rio é a pior de todo  
o litoral brasileiro".
- 61 - Camillo Popp – Untersuchungen über den Stossverlauf beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf  
Stützen und Rahmenstiele aus Stahlbeton – ( tradução : Ensaio sobre a variação do Impacto durante  
a colisão de caminhões com pilares e colunas de concreto armado ). Deutscher Ausschuss für  
Stahlbeton – Heft 172 –1965
62. José Roberto Pimentel Lopes -MultiDoor – [roberto@multidoor.com.br](mailto:roberto@multidoor.com.br) ..  
Revista Techné 45, 01 março 2000.
63. Sidney Mindess , J.Francis Young & David Darwin – Concrete 2nd edition –  
Chapter 16 – Time – Dependent Deformation - Prentice Hall –2002
- 64- Brick Industry Association - Technical Notes on Brick Construction - Number 18 – Online : “  
Volume Changes and Effects of Movement, Part 1” - Rev [Jan. 1991]  
[http://www.bia.org/html/frmset\\_thnt.htm](http://www.bia.org/html/frmset_thnt.htm)
- 65 - Brick Industry Association - Technical Notes on Brick Construction - Number 18A– Online:  
“Design and Detailing of Movement Joints, Part 2” - [ December 1991 ]  
[http://www.bia.org/html/frmset\\_thnt.htm](http://www.bia.org/html/frmset_thnt.htm)
- 66 – W. G. Plewes- Cladding Problems Due to Frame Movements – Canadian Building Digest –  
CBD –125 <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd125e.html>
- 67 - Collins & Mitchell – Prestressed Concrete Basics – CPCI - Canadian Prestressed Concrete  
Institute - 1987
- 68 - Benno Löser - Bemessungsverfahren für Beton-und Stahlbetonbauteile 19 edição -1986
- 69- Marcelo Martins Ribeiro - Fissuras em alvenaria - Comunicação não publicada.- Matias Barbosa  
MG- 1997

70 - Otto Graf – Die Baustoffe – Ihre Eigenschaften und ihre Beurteilung - ( Os materiais de construção - Suas propriedades e ensaios ) . Editora Konrad Wittwer – Stuttgart – 1949

71- Vicente Gentil – Corrosão - 3<sup>a</sup> edição - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A-1996

72 - Dutra , A. C. - Corrosão em oleodutos e sua prevenção - Anais do V Seminário Técnico do IBP- citado em [71] - 1968

73 - Neville, Adam –Creep of Concrete and Behavior of Structures - Part 1 : Problems – ACI Concrete International / May 2002

74 - Fintel, M. ; Ghosh,S. K. ; and Iyengar, H. - Column Shortening in Tall Structures - Prediction and Compensation , Portland Cement Association, Skokie, III, 1987, citado em Neville, A. [73].

75 - Fritz Leonhardt – Crack Control in Concrete Structures – IABSE - International Association for Bridge and Structural Engineering - Surveys S- 4 / 77 : [http:// www.iabse.ethz.ch](http://www.iabse.ethz.ch)

76 - Thaumaturgo, Clélio – Notas de Aula - Degradação do concreto : Reação Álcali –Sílica, Carbonatação, Ação de Cloretos , Ação de sulfatos, Alta temperatura.- IME / RJ - Ciência dos Materiais – 2001

77- Edvardsen, Carola Katharina - Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete ( em alemão) – T.H. Aachen - Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Heft 455- Beuth Verlag GmbH – Berlin 1996

78 - Zeitler, Christiane Imhof – Flow behavior of various liquids in through-cracked concrete structures ( em alemão) – T.H.Darmstadt- – Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Heft 460 - Beuth Verlag GmbH – Berlin 1996

79 - Mathieu, G. , Sari, J. : Performance and durability of waterproofing in water towers, reservoirs, tanks, and basins. Travaux 667 - NR 4, Pg 14-25 Paris – 1991

80 - Gert König and Nguyen Viet Tue - Backgrounds and design rules for crack control of reinforced and prestressed concrete structures ( em alemão) - T.H.Darmstadt- – Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Heft 466 - Beuth Verlag GmbH – Berlin 1996

81- Iványi G., Buschmeyer W. – Flüssigkeitbehälter ( Reservatórios de líquidos ) Beton Kalender–BK2 - Ernst & Sohn 2000

82 -Helene, Paulo R.L. Corrosão em Armaduras para Concreto Armado. 3º reimpressão (fev. 96). São Paulo, PINI, IPT, 1986

83 - Steven H. Gebler – Construction Technology Laboratories, Inc – CTL Group Investigating Concrete Pipelines – ACI - Concrete International – June 2003

84 - Ameron International : [www.ameron.com/linings/](http://www.ameron.com/linings/)

85 - Karen Beer, Clifford Early, Michael Gillen - Environmentally Engineered Concrete System - Concrete for Oil and Chemical Plant Environmental Applications – Dupont - ACI / CANMET – 2000 - Durability of Concrete - Editor V. M. Malhotra

86 - Scrivener K. L. – Mechanisms of Chemical Degradation of Cement-based Systems E & FN SPON - Boston 1997

- 87 – Lobo Carneiro, Fernando Luiz – Análise Dimensional e Teoria da Semelhança e dos Modelos Físicos. – Editora UFRJ -1993
- 88 – Lobo Carneiro, Fernando Luiz – Cálculo das Estruturas Hiperestáticas de Concreto Armado na Fase Plástica - Revista Estrutura no 31 – 1960 - Resumo do trabalho apresentado nas 1<sup>as</sup> Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil.
- 89 – A. H. da Silveira Feijó, Maria Carolina M. da Silva, Antonieta de Larmo Cantição, Ennio Goulart de Andrade, Hugo Lodewijk Radino - “Os acidentes da 2ª Adutora de Ribeirão da Lages” INT – Instituto Nacional de Tecnologia – Diretor: Ernesto Lopes da Fonseca Costa Rio de Janeiro – 1953.
- 90 – Lobo Carneiro, Fernando Luiz – A Experiência Brasileira das Adutoras do Rio de Janeiro. Mesa Redonda - “Corrosão do Concreto”- IBRACON - Rio de Janeiro, maio de 1974.
- 91– A. Bentur , S. Diamond , N.S. Berke – Steel Corrosion in Concrete – Fundamentals and Civil Engineering Practice – Modern Concrete Technology 6 – E & F SPON – 1997.
- 92 –Nürnbergger, Ulf - Corrosion Induced Failures of Prestressing Steel – Otto-Graf-Journal Vol.13, Stuttgart – Germany - 2002.
- 93 – Krumbach, Robert –Exploration of Corrosion Resistance of Prestressing Steels by Using The Electrochemical Noise – Universität Leipzig – LACER No.2, 1997
- 94 – Broek , David –The Practical Use of Fracture Mechanics – Kluwer Academic Publishers –1997
- 95 – DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik – ( Instituto Alemão da Técnica de Construção ) – DIBt Test for stress corrosion cracking (SCC) of prestressing steel. – Sensibility of hydrogen induced stress corrosion cracking.
- 96 – FIP – Fédération Internationale de Prècontrainte – Durability of post-tensioning tendons – Proceedings of Workshop –Gent University, 15-16 November 2001. FIP technical report, bulletin 15.
- 97 – Piotr D. Moncarz , Piotr Noakowski – Analysis of the long term performance of prestressed concrete pipe – FIP 90 – XI Congress – Hamburg 1990
- 98 – Price, E. Robert , Lewis , A. Richard – Evaluation of Concrete Pressure Pipelines and Failure Prevention – University of Houston – 1998.
- 99 – Hanson Pipe and Products Inc. – Concrete Pressure Pipe – [www.ghainc.com](http://www.ghainc.com)
- 100 – Price Brothers Company –Standard Prestressed and Reinforced Concrete Pressure Pipe [www.pipesite.com](http://www.pipesite.com)
- 101 – DIN 1045 - Beton Kalender 1999- Ernst & Sohn - Norma alemã de Concreto armado e de Concreto Protendido.
- 102 – Tudor Dinescu , Constantin Radulescu – Slip Form Techniques – Gordon & Breach Science Pub. May-1984
- 103 – R. J. Maintone –Building Research Station – Discussion on Settlement of Structures – Cambridge pag. 771- Pentech Press - London 1974



- 104- J.B.Burland , C.P.Wroth – Settlement of Buildings and Associated Damage – Review Paper – Cambridge - Pentech Press –London 1974 .
- 105 – Milton Vargas – Recalques de prédios altos em São Paulo e Santos - Conferência Pan-americana em prédios altos - Porto Alegre -1973.
- 106 – Norma alemã DIN 1045-1 / 2002 – Tragwerke aus Beton , Stahlbeton und Spannbeton-Bemessung und Konstruktion – ( Estruturas de Concreto, Concreto armado e Concreto protendido-Cálculo e execução ) - Beton Kalender – 2003.
- 107 – Prof. Areias Neto, Antonio Carlos.- Comunicação pessoal, não publicada.
- 108 – Flávio T. Ribeiro de Castro – Aços especiais torcidos – Revista Estrutura Nº 11 - 1958
- 109 – Fritz Leonhardt,René Walther – Versuche an Plattenbalken mit hoher Schubbeanspruchung. ( Ensaio em viga **T** com grandes solicitações de cisalhamento )  
Otto Graf Institut – Universität Stuttgart. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Berlin 1962
- 110 – Fritz Leonhardt, Ferdinand S. Rostázy, James G. MacGregor , Manfred Patzak  
Schubversuche an Balken und Platten bei gleichzeitigem Längszug.  
( Ensaio de cisalhamento em vigas e lajes com tração longitudinal simultânea )  
Otto Graf Institut – Universität Stuttgart. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Berlin 1977
- 111- Neville , Adam Matthews – Properties of concrete. 1985 – Tradução 1997 – Editora Pini-SP
- 112 – Horst Falkner – Fugenlose und wasserundurchlässige Stahlbetonbauten ohne zusätzliche Abdichtung. ( Construções de concreto armado, sem juntas e impermeáveis, mesmo sem impermeabilização adicional. ) Vorträge Betontag 1983 – Deutscher Beton – Verein E.V.
- 113 – Albino J.P.Cunha , Nelson A.Lima, Vicente C. M. Souza. - Acidentes Estruturais na Construção Civil – Volume 1 - PINI – 1996 .
- 114 – Jornal do Brasil – “Acidentes em varandas e marquises preocupam os cariocas.” - Fevereiro 1993
- 115 – Prof. Areias Neto – Concreto Armado – Notas de Aula – IME – Instituto Militar de Engenharia Rio de Janeiro – 2003
- 116 – Jorg Schlaich , Kurt Schäfer – The Design of Structural Concrete – IABSE Workshop – New Delhi 1993
- 117 – Jornal do Clube de Engenharia – Rio de Janeiro - Debate : Recuperação do Edifício Sede da Eletrobrás danificado por Incêndio no dia 26 fevereiro 2004 - Eng. Godart Silveira de Sepeda - 7 de abril 2004.
- 118 –B. Hillemeier , R. Stenner - Instandsetzung und Erhaltung von Betonbauwerken – ( Recuperação e Manutenção de Construções de Concreto) – Beton – Kalender- 1999 Teil II- Ernst & Sohn- Berlin
- 119 – DafStB – Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, ( Recomendações para a proteção e para a recuperação de estruturas de concreto ) – Oktober 2001.
- 120 – Bauberatung Zement – Füllen Von Risse – Zement- Merkblatt- Betontechnik – B26 6.2003

- 121 – Eloisa Biasotto Mano – Polímeros como Materiais de Engenharia – Editora Edgard Blücher Ltda - 2000
- 122 - Tschebotarioff , Gregory P. – Foundations , Retaining and Earth Structures McGraw Hill
- 123 - Aoki, Nelson - 1970. *Esforços horizontais em estacas de pontes provenientes da ação de aterros de acesso*. IV COBRAMSEF, Recife, Brasil.
- 124 - De Beer, E. E., & Wallays, M. 1972. *Forces induced in piles by unsymmetrical surcharges on the soil around the piles*. 5th ECSMFE.
- 125 – Deutscher Betonverein - Bemessung mit Beschränkung der Rissbreiten hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit von Tunnelschalen – ( Dimensionamento, com limitação da abertura de fissura, objetivando a impermeabilidade dos revestimentos de túneis)- Tunnelschalen - Deutscher Betonverein, Eigen Verlag, Seite 21-27 1996.
- 126 – Bericht über Untersuchungen in Tunnelinnenschalen –(U-Bahn München) – Teil B : Variation der Bewehrung in verschiedenen Blöcken . Laboratorium für den konstruktiven Ingenieurbau, München, 1992. – ( Informe sobre as pesquisas em revestimentos de túneis – Metrô de Munique.- Variação da armadura em diferentes segmentos )
- 127 – Wilbert Langley - Some Design and Construction Aspects of the Confederation Bridge- IBRACON - 1998
- 128 – Jornal do Brasil - J.B. - Corrosão ameaça Viadutos - 03/05/1988
- 129 – P. Kleiger – Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials ASTM STP 169C. pág. 484 - 490 (1994)
- 130 – Rixom, Roger- Mailvaganam, Noel P. - Chemical Admixtures for Concrete – Air-entraining agents - Third edition – E& F.SPON – 1999.
- 131 – Uchôa, Fernando Cavalcanti e Monteiro, Flavio Mota – Adaptação de Projetos de Obras de Arte Especiais da Ferrovia do Aço - Engefer – Empresa de Engenharia Ferroviária S.A. 1982
- 132 – Derek Hull e David J. Bacon – Introduction to dislocations – University of Liverpool - Butterworth Heinemann - 4a edição- 2001
- 133 – Aldo Cordeiro Dutra – Proteção Catódica – Técnica de combate à corrosão. 3ª Edição - Editora Interciência - 1999
- 134 - Powers Treval C. - The Properties of Fresh Concrete - John Wiley & Sons, Inc. - 1968
- 135 - Vicente Chiaverini - Aços-Carbono e Aços- Liga - Associação Brasileira de Metais-1971
- 136 - Nadai A. - Theory of flow and fracture of solids - Engineering Societies Monographs - Vol.I McGrawHill-1950
- 137 - Hubertus Colpaert - Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns - IPT / SP -Editora Edgard Blücher Ltda - 1974.
- 138 - Andriolo, Francisco Rodrigues-Construções de Concreto - Manual de Práticas para Controle e Execução. - Editora Pini 1984

- 139 - Andriolo , Francisco Rodrigues -Alguns aspectos das Construções de Concreto- CESP - Curso de Aperfeiçoamento - São Paulo -SP - 1984
- 140 - Nippon Electric Glass Co. , Ltd. - Control of plastic shrinkage cracking of concrete with ARG chopped strands.
- 141 - Unicamp - Faculdade de Engenharia Civil - Laboratório de Estruturas e Construção Civil - Laudo : Fibras de polipropileno FIBERLOCK no concreto.
- 142 - Purdue University - Menashi D.Cohen & Jan Olek - Plastic Shrinkage Cracks 1988
- 143 - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - Défauts apparents des ouvrages d'art en béton. - Ministère de L'équipement - Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes - 1975
- 144- A.Corte e A. Hiashi – Experimental research on desiccation cracks in soil. U.S.Army : Snow Ice and Permafrost Research Establishment , Report 66, 1960.
- 145 - PCA - S. Komatska, B. Kerkhoff, W. Panarese - Design and Control of Concrete Mixtures - 14<sup>th</sup> edition - 2002.
- 146 - Goto Y. - Cracks formed in concrete around deformed tension bars. Journal ACI, Proc. Vol.68 (1971) -No 4 , page 244 - 251
- 147 - Daschner F. - Notwendige Schubbewehrung zwischen Betonfertigteilen und Ortbeton.- Technische Universität München - 1976 ( Armadura necessária de cisalhamento entre peças pré-fabricadas de concreto e concreto executado no local )
- 148 - Sílvia Regina Sales Vieira - Concretos comum e de alto desempenho: Análise do comportamento através da microscopia eletrônica de varredura - IBRACON - 40º Congresso Brasileiro do Concreto - 1998
- 149 - Mansuero, Ângela Borges - Metodologia de avaliação do desempenho de uniões entre concretos através de pontes de aderência. - I Congresso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Juiz de Fora - Agosto 1994.
- 150 - Eligehausen, Rolf - Mallée Rainer - Befestigungstechnik im Beton-und Mauerwerkbau. ( Técnica de fixações em estruturas de concreto e de alvenaria ) - Bauingenieur - Praxis - Ernst &Sohn - 2000 Stuttgart - Alemanha
- 151 - CEB - Comitê Euro-International du Beton - Design of Fastenings in Concrete - Thomas Telford - 1997
- 152 - Samuel Berg Maia - O vidro e sua Fabricação - Coleção Interdisciplinar - UFRJ - Editora Interciência.- 3ª edição - Rio de Janeiro - 2003
- 153 - Jan Bisschop - Drying shrinkage micro-cracking in cement-based materials - Delft University Press - 2002

A.M.D.G.