



Instituto Militar de Engenharia

Seção de Ensino de Engenharia de Fortificação e Construção
Rio de Janeiro/RJ

Fissuras em Reservatórios de Concreto Armado

Conceitos e Teoria
(apresentação em slides)

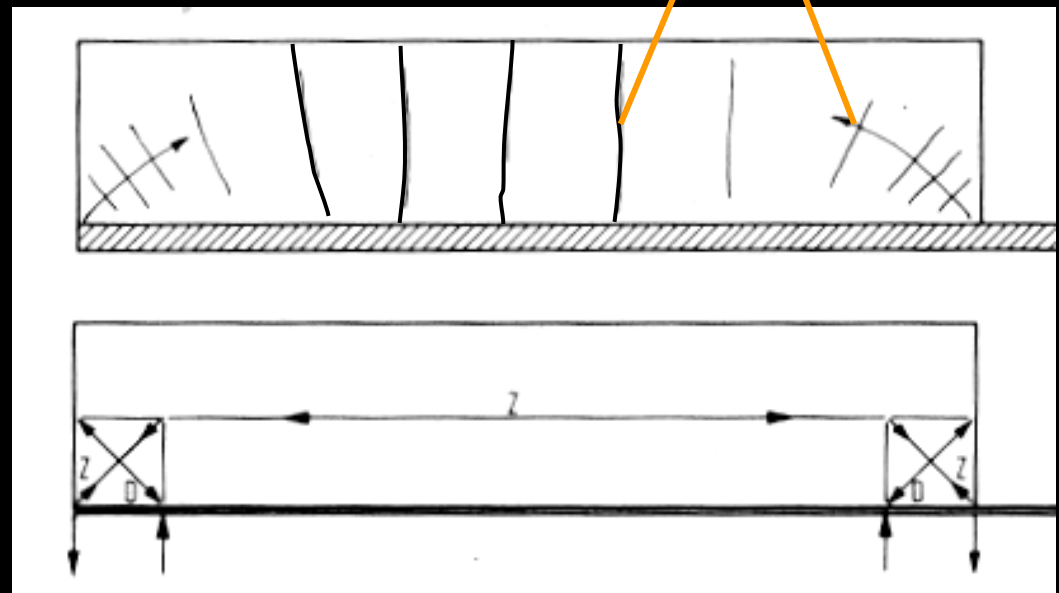
Prof. Eduardo Christo Silveira Thomaz

Fissuração em paredes de reservatório

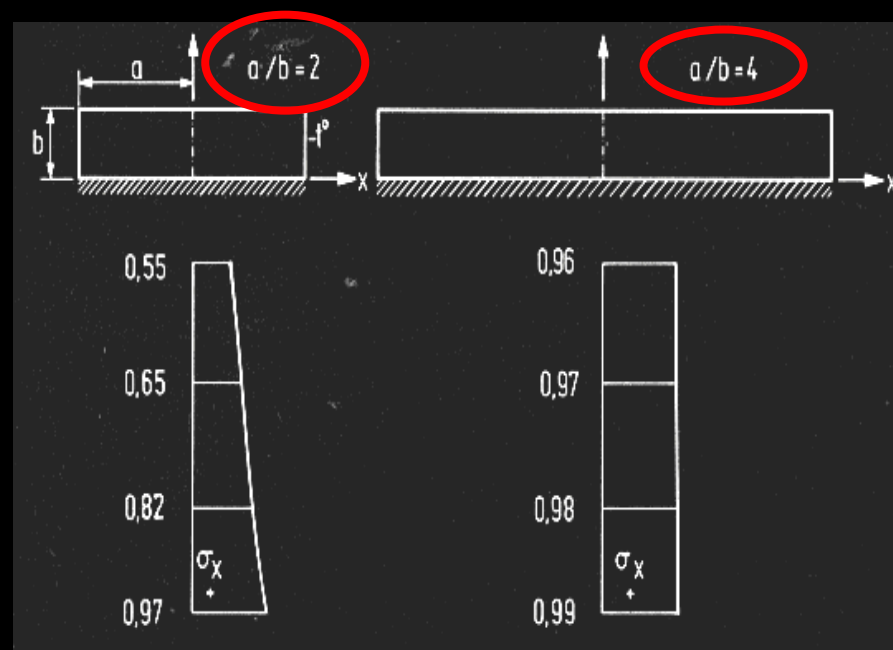
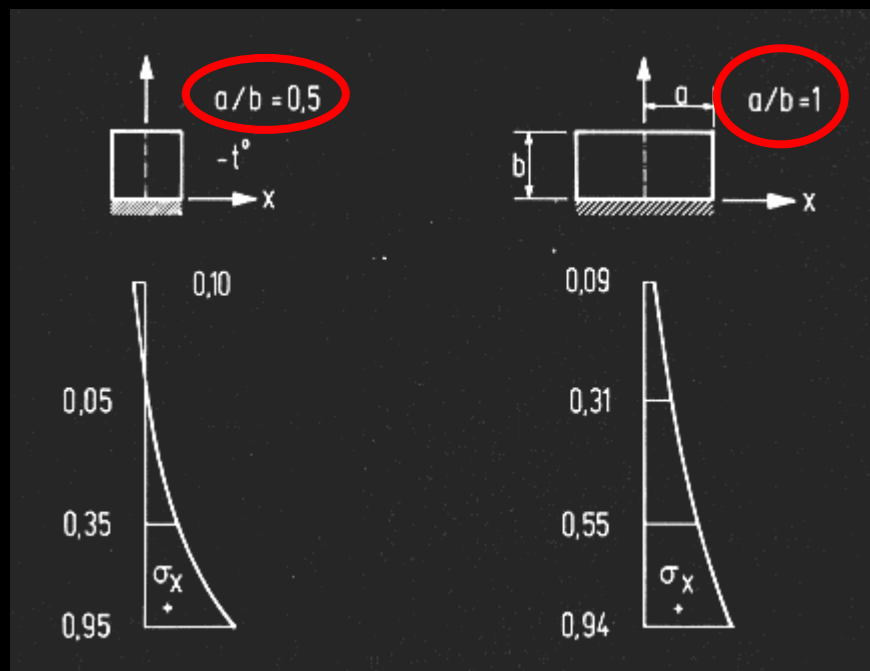
Essa é a configuração das fissuras nas paredes de concreto, quando fissuradas pela retração impedida



Fissura na parede



Tensões devidas à retração, ao longo de paredes, segundo a DIN



Fissuração em paredes de reservatório

Fatores Influentes:

Coação: Externa : Exemplo : Laje do fundo x Paredes
Interna : Agregado graúdo x Pasta de Cimento
Interna : Armadura x Pasta de Cimento

Fluxo de calor :

Entre camadas do concreto.
Entre o interior e a superfície de uma parede.
Entre o interior e o topo de um pavimento de concreto

Retração:

Plástica : Concreto ainda mole
Autógena : Concreto vedado, sem troca de umidade com o ar.
Hidráulica : Perda de água para o ar.
Térmica : Esfriamento, perda de calor para o ar.

Fissuração em paredes de reservatório

Fatores Influentes:

Coação externa : Impedimento de deslocamentos causado pela **laje do fundo**

Coação interna 1: Impedimento de deslocamentos causado pelos gradientes internos de **temperatura** e de **umidade**.
Os esforços internos são auto-equilibrados!

Coação interna 2: Impedimento da retração da pasta de cimento causado pela **pedra** e pelas **armaduras** .
A retração autógena da pasta é 8 x maior que a do concreto.
Os esforços internos são auto-equilibrados!

Fluxo de calor : Convecção (**com** transporte de massa)
Radiação (**sem** transporte de massa)

Fissuração em paredes de reservatório

Fatores Influentes :

Retração plástica: Perda de água enquanto o concreto está mole. A pouca fluidez do concreto pode causar fissura.

Retração química: Na hidratação do cimento, o volume do produto final é menor que o volume dos reagentes.

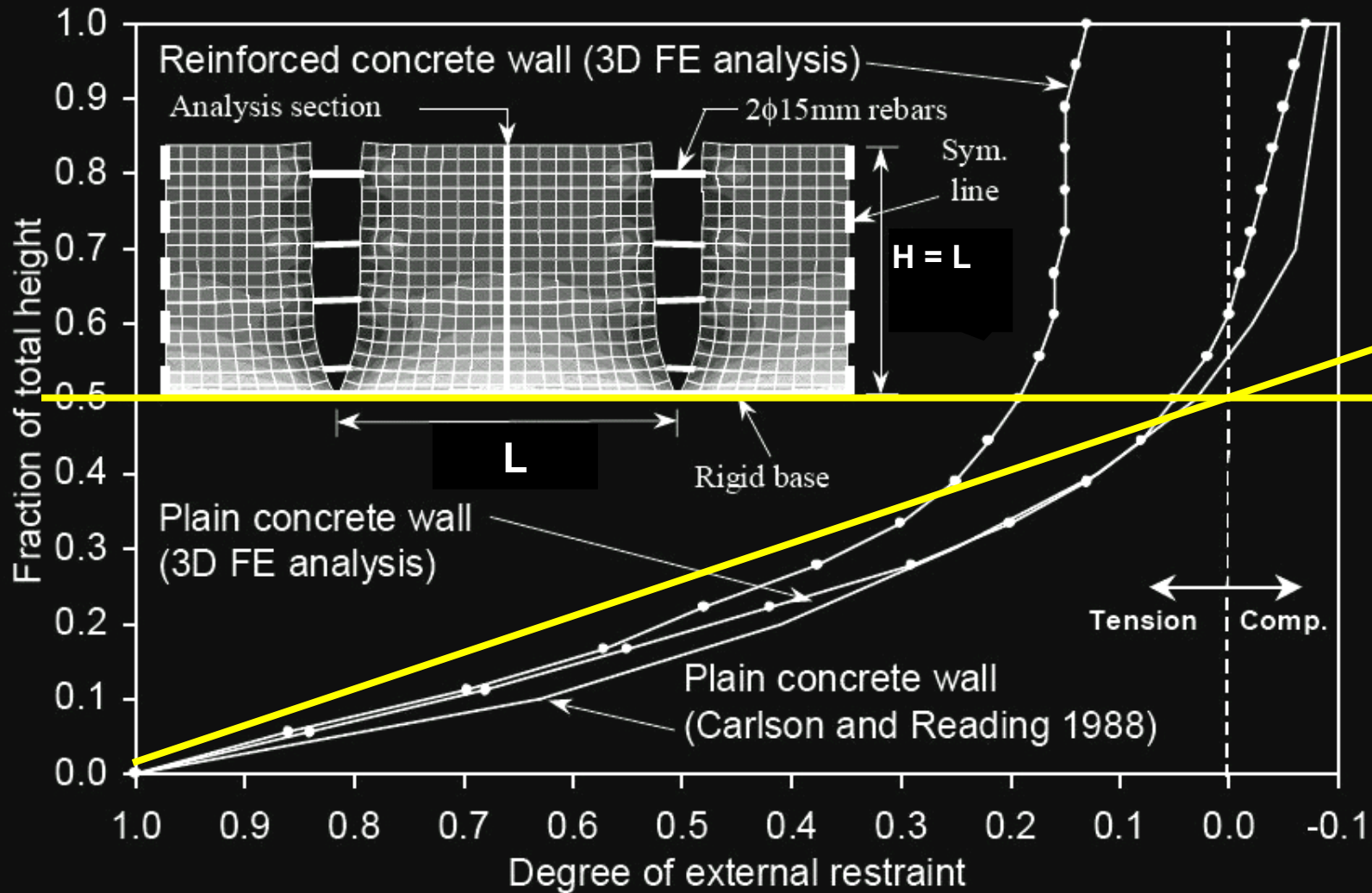
Retração autógena: Quando as partículas sólidas, formadas na reação química, entram em contato entre si, a redução do volume fica impedida e a retração resultante é menor que a retração química pura. Essa é a chamada retração autógena.

Retração hidráulica: Secagem após o endurecimento do concreto. Perda de água para a atmosfera.

Retração térmica 1: Resfriamento após o aquecimento que foi gerado pela liberação de calor na hidratação do cimento. Ocorre uma única vez.

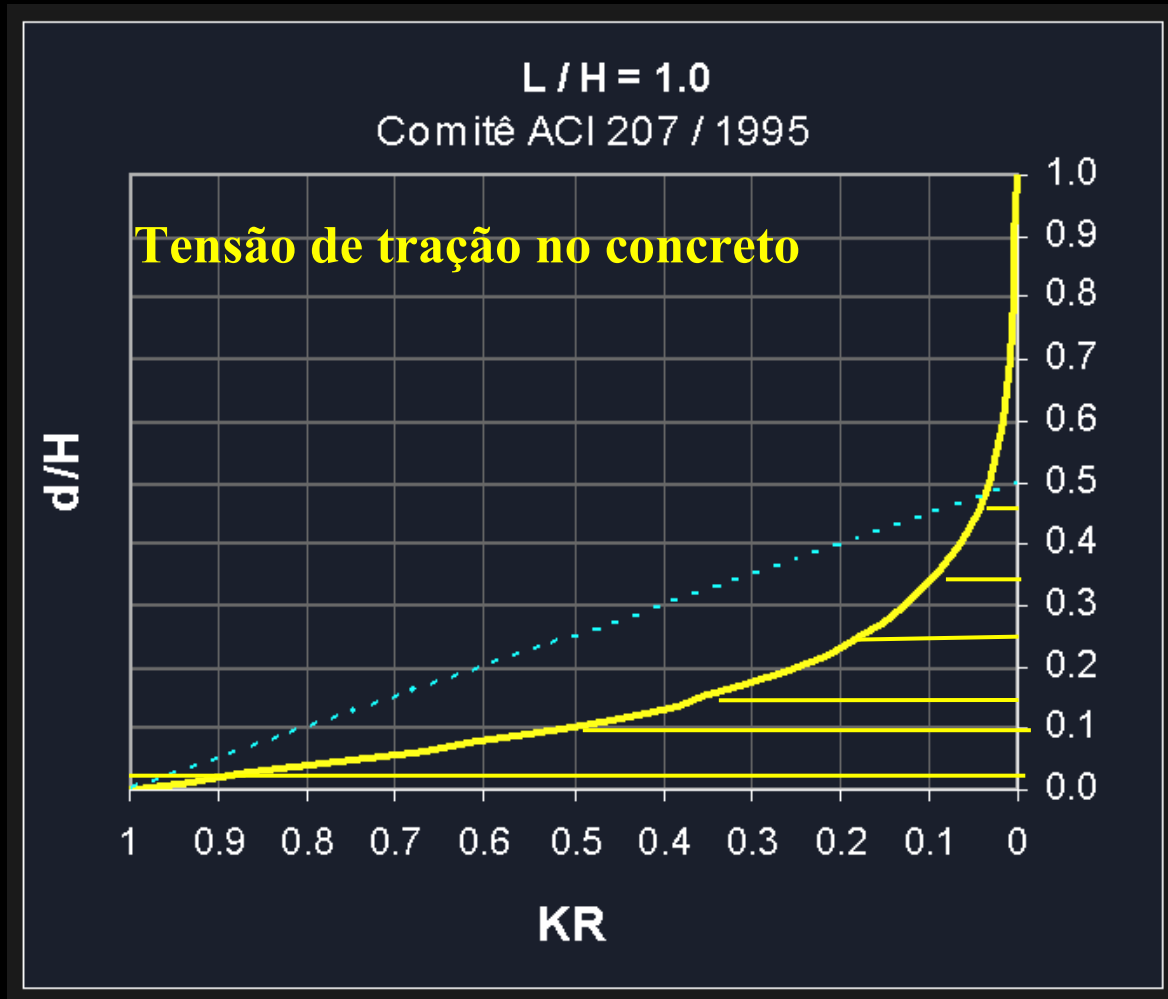
Retração térmica 2: Resfriamento causado pela queda de temperatura do ar ambiente. Queda de temperatura do ar durante as noites frias. Ocorre diariamente.

Fissuração em paredes de reservatório



Distribuição de tensões segundo Daniel Cusson & Wellington L. Repette

Fissuração em paredes de reservatório



$$KR = \left(\frac{L/H - 1}{L/H + 10} \right)^{d/H}$$

para $L/H < 2,5$

L = comprimento da parede

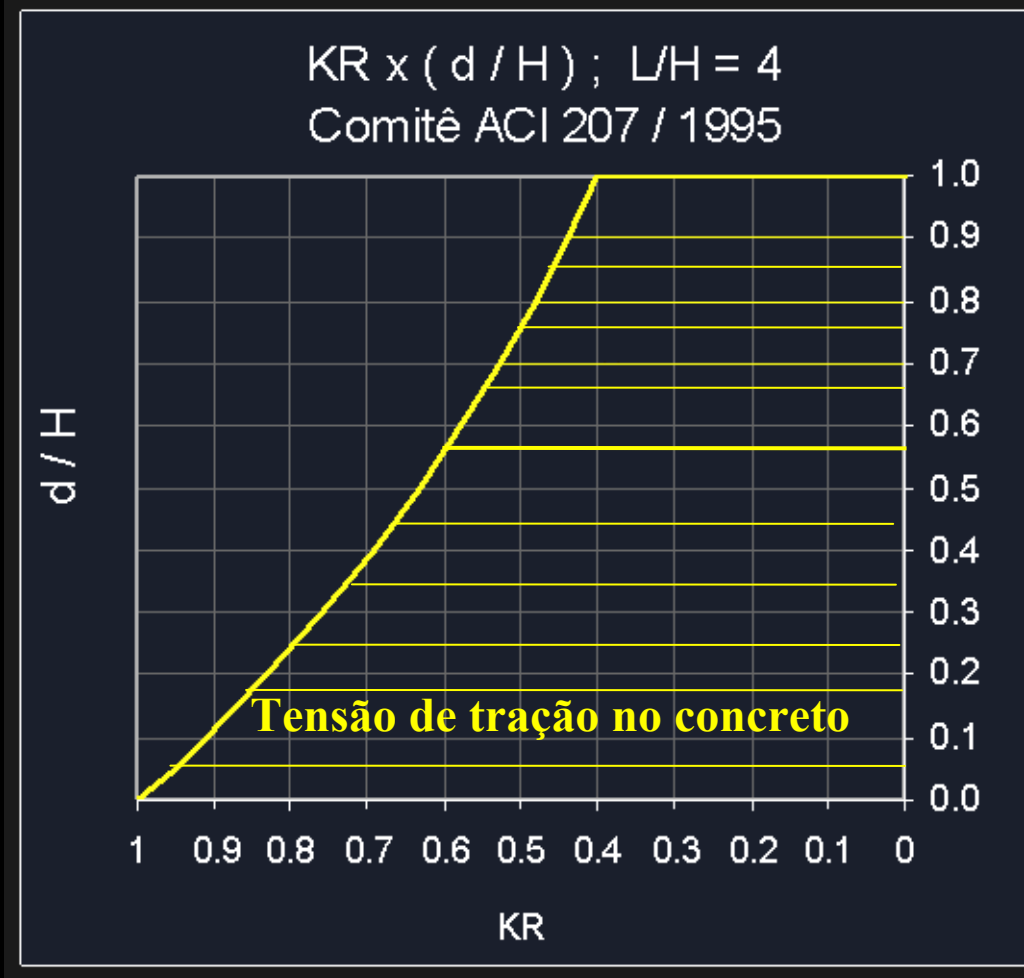
H = altura da parede

d = ordenada medida a partir da base da parede

σ tração (no ponto d/H acima da base) = $E_c \times \epsilon$ retração $\times KR(d/H)$

ϵ retração térmica = $\alpha \times \Delta T$. No concreto $\alpha \approx 10^{-5}$

Fissuração em paredes de reservatório



$$KR = \left(\frac{L/H - 2}{L/H + 1} \right)^{d/H}$$

para $L/H < 2,5$

L = comprimento da parede

H = altura da parede

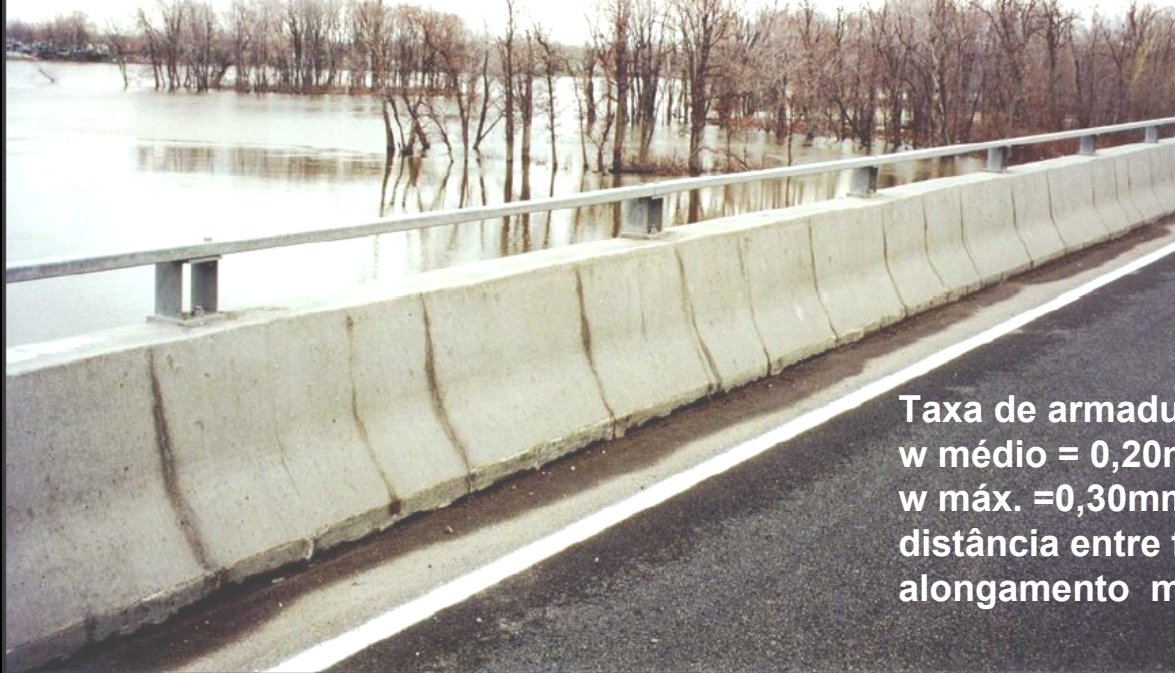
d = ordenada medida a partir da base da parede

σ tração (no ponto d/H acima da base) = $E_c \times \epsilon$ retração $\times KR(d/H)$

ϵ retração térmica = $\alpha \times \Delta T$. No concreto $\alpha \approx 10^{-5}$

Fissuração em paredes de reservatório

Exemplo de fissuras em barreira rodoviária
(Fenômeno idêntico ao das paredes de um reservatório)

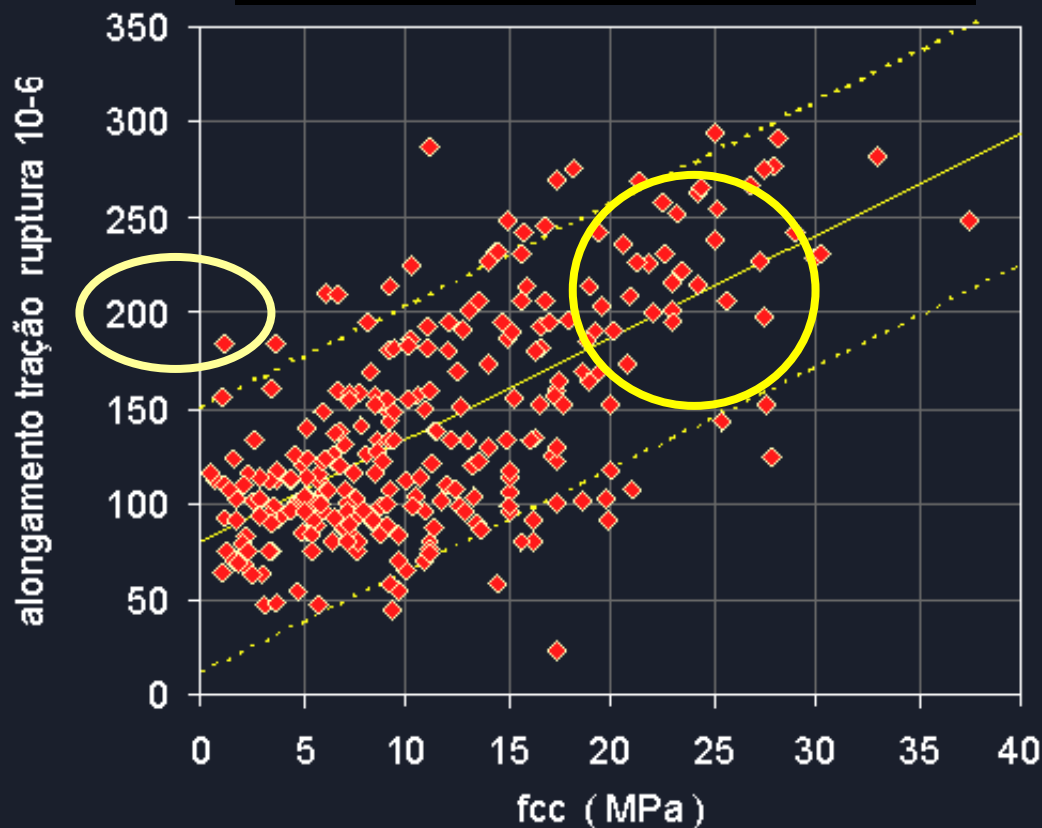


Taxa de armadura = 0,40 %
w médio = 0,20mm
w máx. = 0,30mm
distância entre fissuras = 0,80m
alongamento médio = $0,20\text{mm} / 0,80\text{m} =$
 $= 0,25\text{mm} / \text{m} = 250 \times 10^{-6}$
 ϵ tração médio (medido) = 0,25 mm/m

Daniel Cusson & Wellington L. Repette
Early-Age Cracking in Concrete Bridge Barrier Walls

Fissuração em paredes de reservatório

Alongamento de fratura na tração



Segundo Furnas

$$f_{ctf} = 0,165 f_{cc} + 0,20 \text{ (MPa)}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa} \rightarrow f_{ctf} = 3.5 \text{ MPa}$$

$$f_c = 25 \text{ MPa} \rightarrow f_{ctf} = 4.3 \text{ MPa}$$

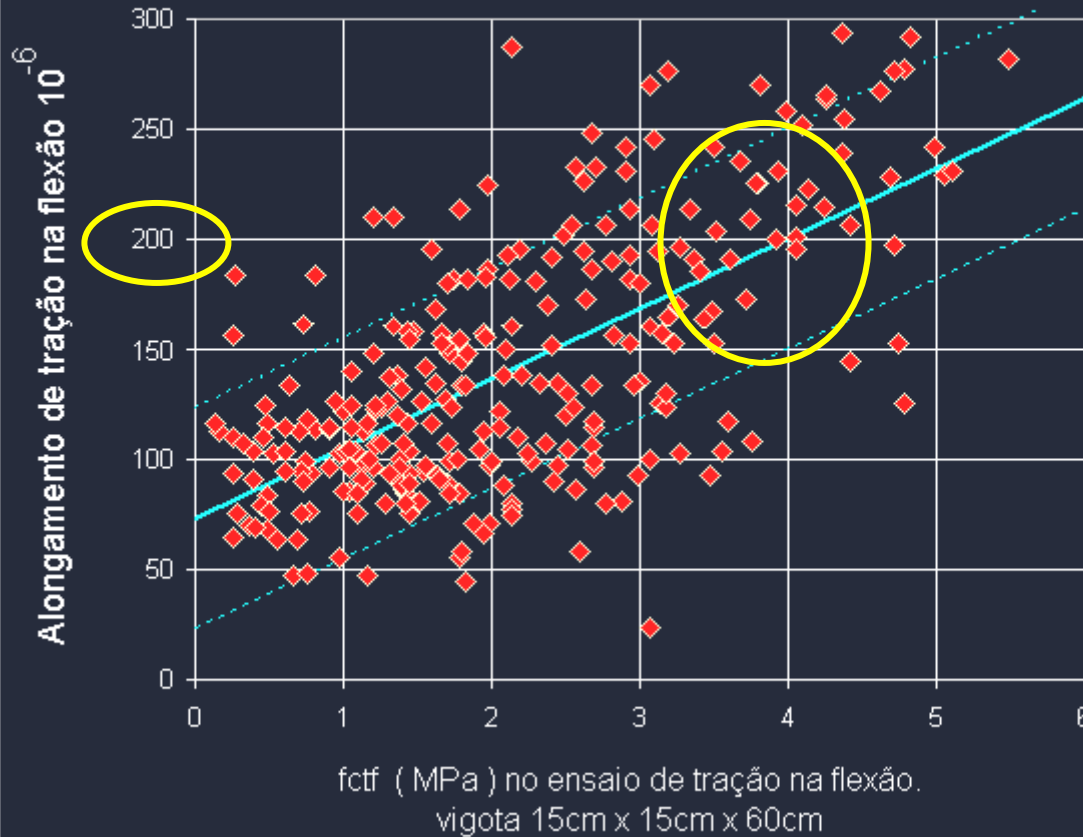
Concreto com $f_c = 20$ a 25 MPa

ϵ tração $\approx 0,20$ mm/m

Ensaio do Laboratório de Furnas
Concretos de diversas composições e resistências

Fissuração em paredes de reservatório

Alongamento de tração Ensaio do Laboratório de Furnas



Segundo Furnas

$$f_{ctf} = 0,165 f_{cc} + 0,20 \text{ (MPa)}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa} \rightarrow f_{ctf} = 3.5 \text{ MPa}$$

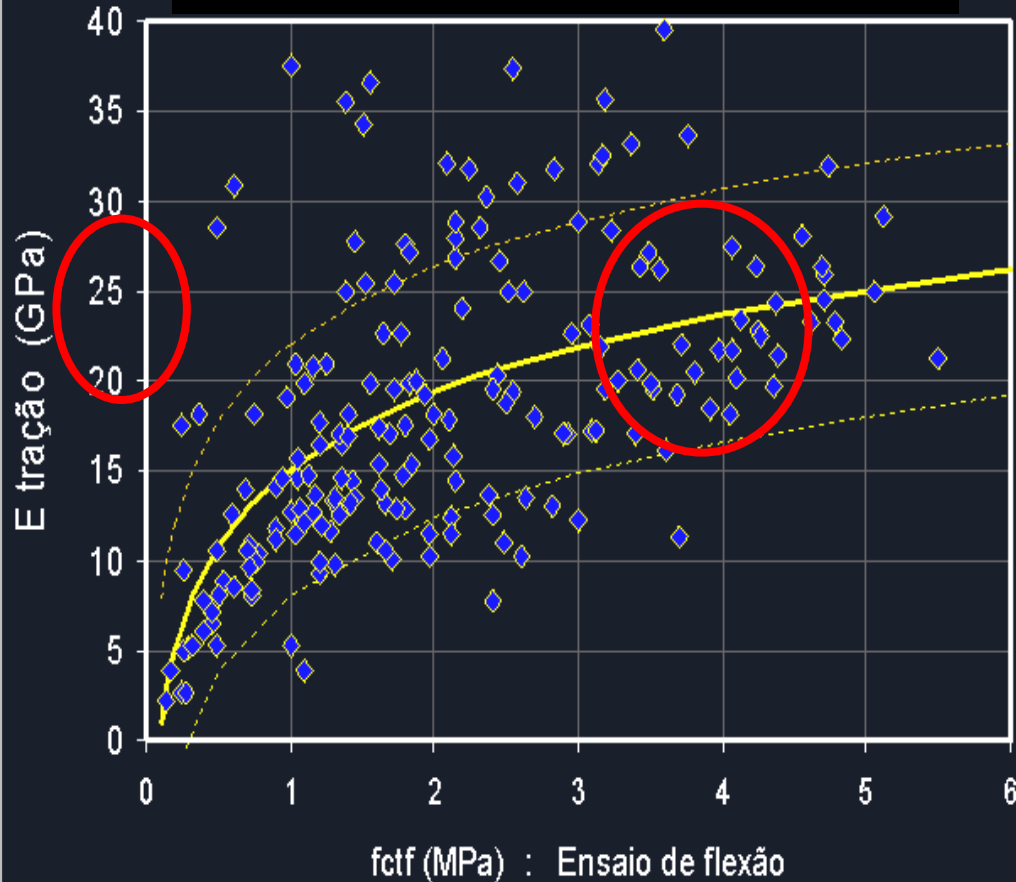
$$f_c = 25 \text{ MPa} \rightarrow f_{ctf} = 4.3 \text{ MPa}$$

Concreto com $f_c = 20$ a 25 MPa

ϵ tração $\approx 0,20$ mm/m

Fissuração em paredes de reservatório

Ensaio do Laboratório de Furnas Módulo de elasticidade do concreto



$$f_{ctf} = 0,165 f_{cc} + 0,20 \text{ (MPa) Furnas}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa} \rightarrow f_{ctf} = 3.5 \text{ MPa}$$

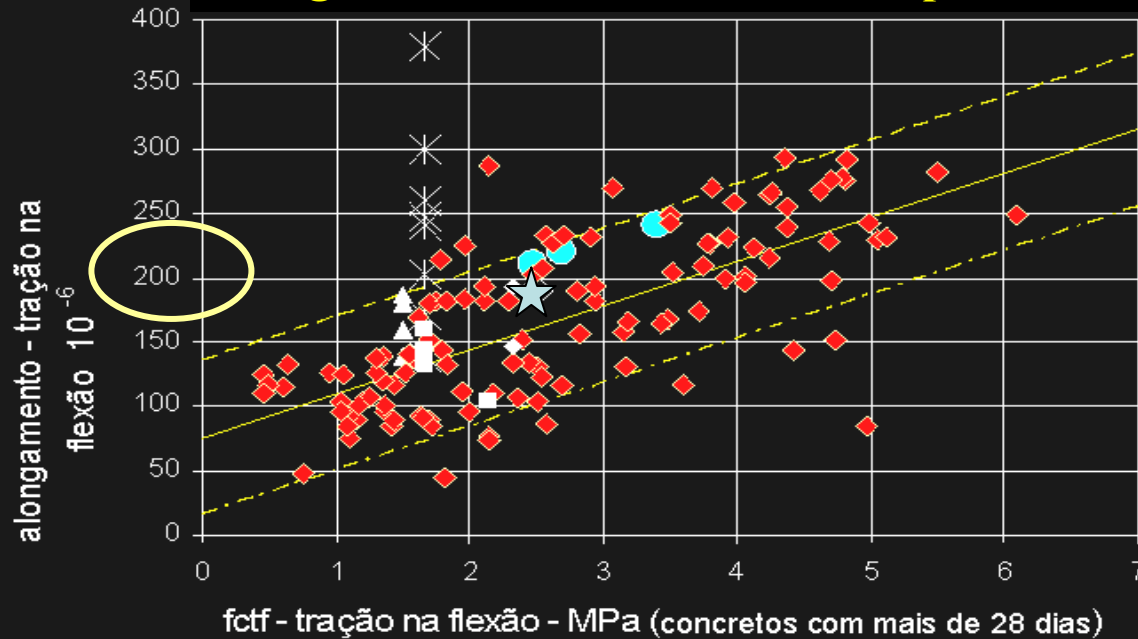
$$f_c = 25 \text{ MPa} \rightarrow f_{ctf} = 4.3 \text{ MPa}$$

Concreto com $f_c = 20$ a 25 MPa

$E_{tração} \approx 22$ GPa

Fissuração em paredes de reservatório

Alongamento de tração na fratura por flexão

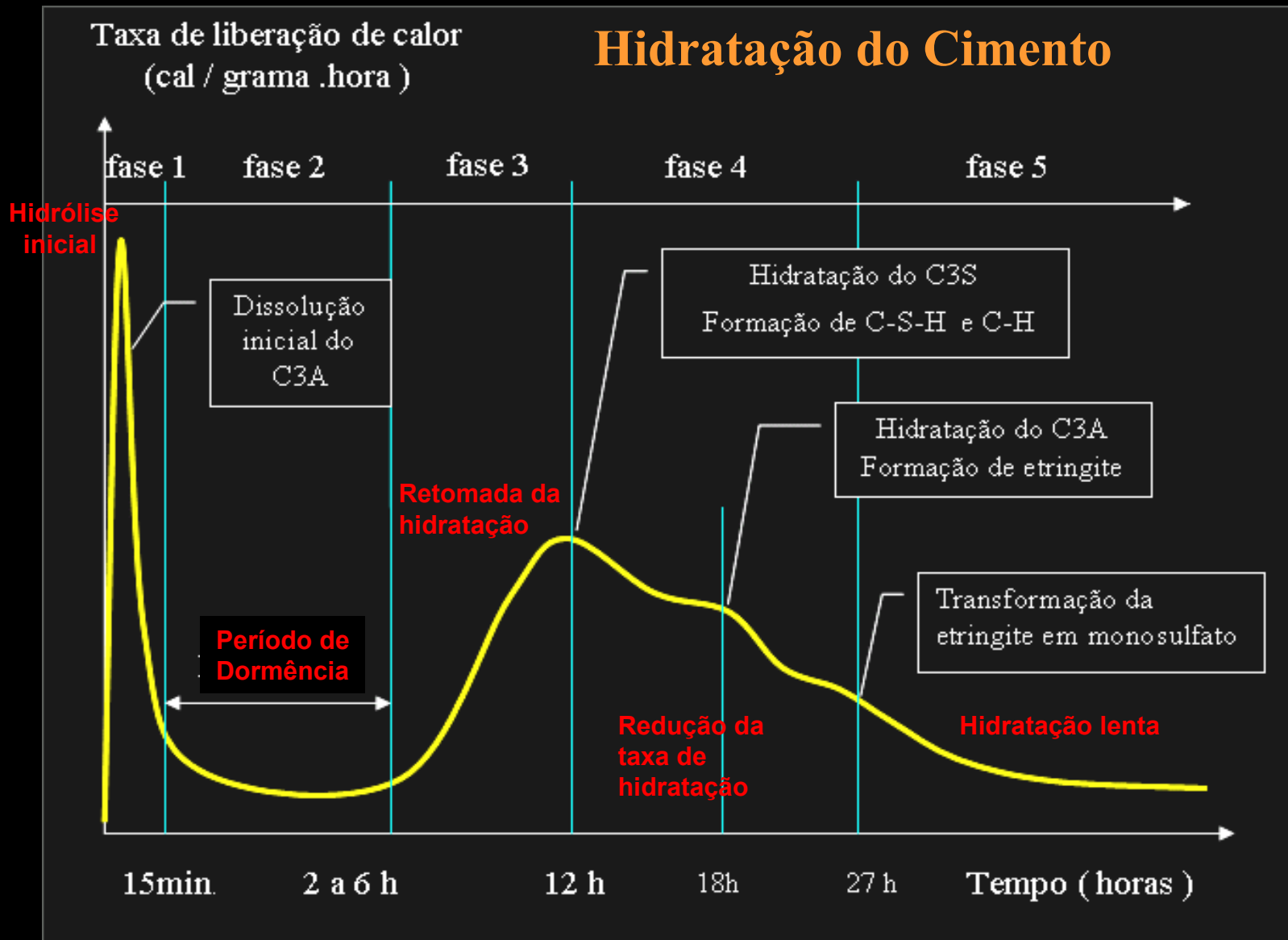


- ★ Van Vliet - Concreto simples - Tração Axial - 2000
- Moersch - Concreto Simples - Tração Axial - 1903
- * Wayss & Freitag - Concreto Armado - Flexão - 1903
- ▲ Comissão Alemã de Concreto Armado - Flexão - 1917
- ◆ Furnas - Concreto Simples - Flexão - 2002
- ◆ Kleinlogel - Concreto Simples - Flexão - 1904
- Furnas - Alongamento de tração na flexão - média
- - - Furnas - Alongamento de tração na flexão 10%
- . - . Furnas - Alongamento de tração na flexão 90%
- Wayss & Freitag - Concreto Simples - Flexão - 1903

Concreto com $f_c = 20$ a 25 MPa

ϵ tração $\approx 0,20$ mm/m

Fissuração em paredes de reservatório



Furnas – Angra 1 - Eng. Walton Pacelli - Concreto bombeado com $f_{ck} = 28 = 31 \text{ MPa}$; $f_{cm} = 36,5 \text{ MPa}$; $d_{\text{padrão}} = 3,1 \text{ MPa}$; Cimento = 400 kg/m^3 ; A/C = 0,45 ; D máx. = 27mm

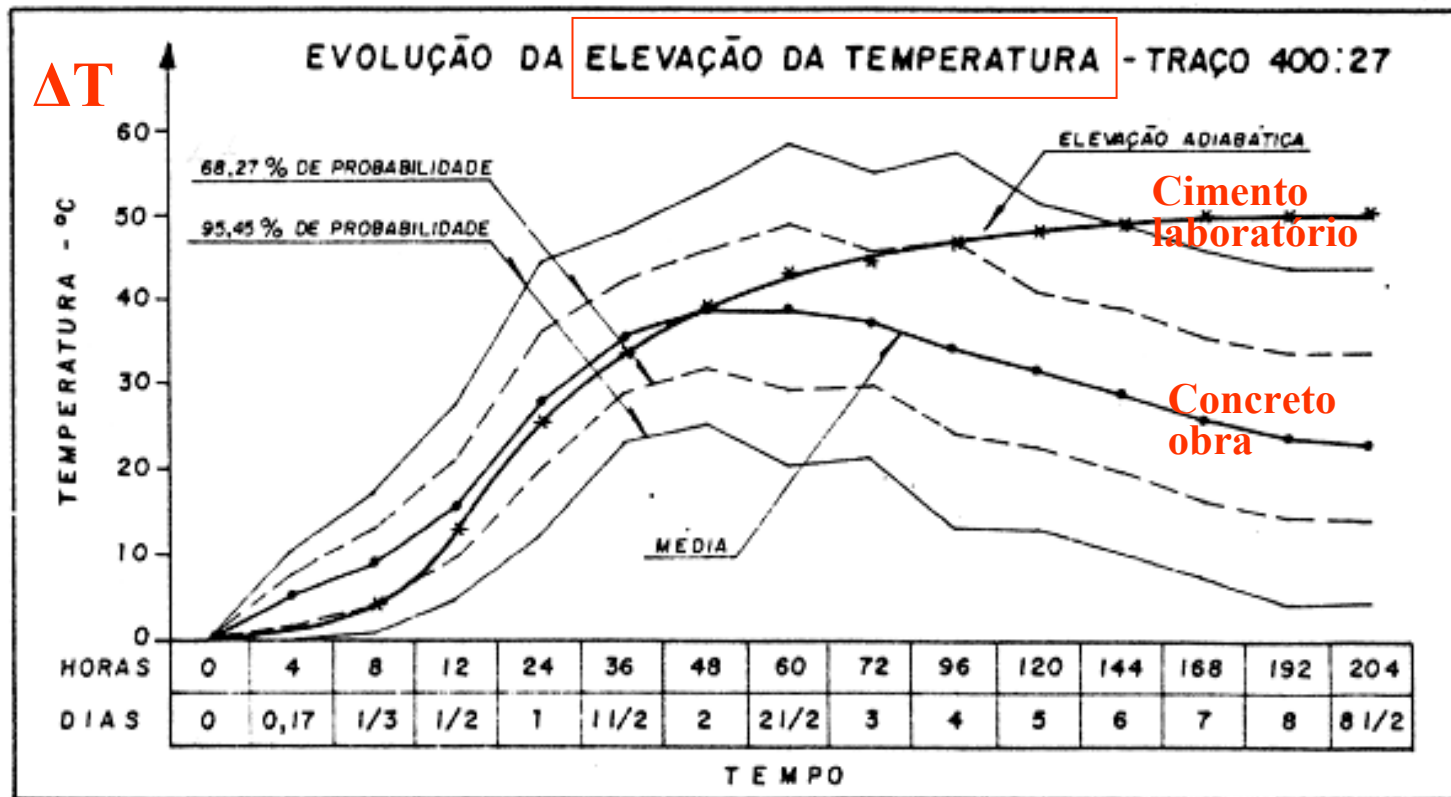
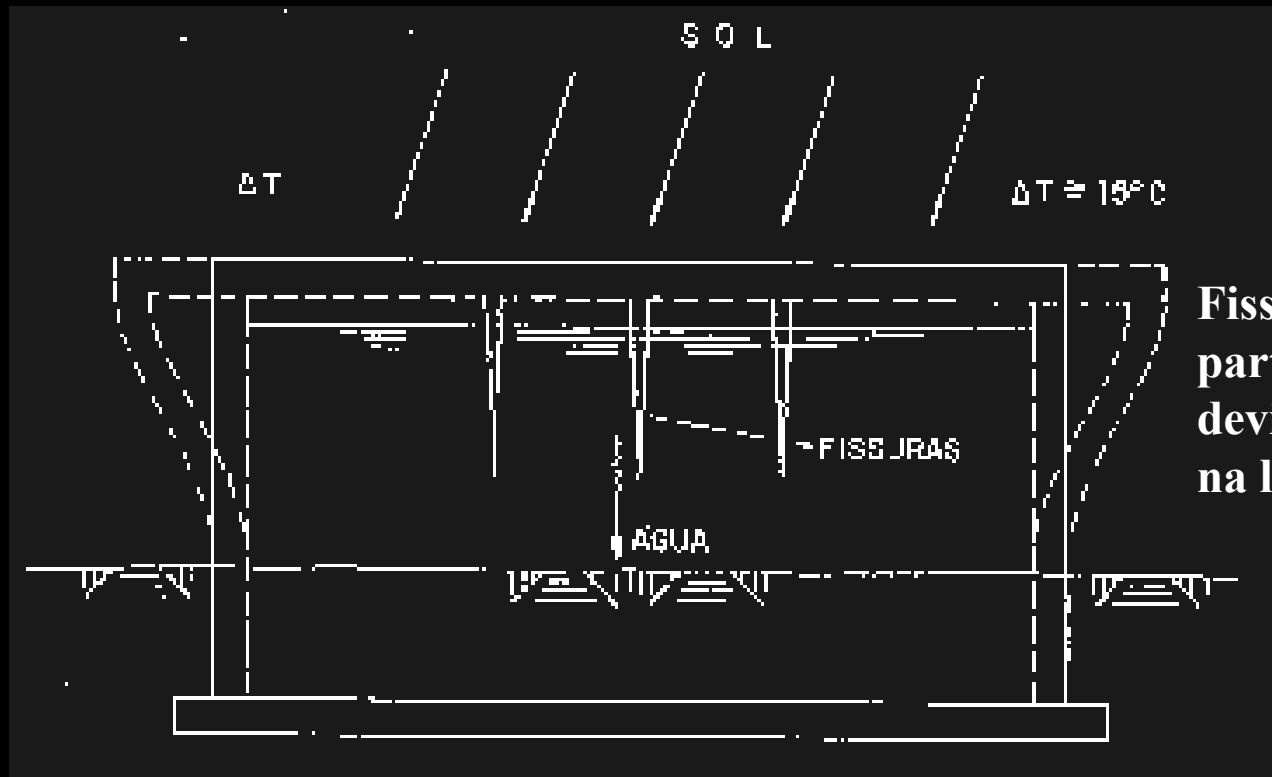


Gráfico 9.2 – Dados estatísticos das elevações da temperatura, em relação à temperatura de lançamento.

A análise do Gráfico mostra que a elevação média máxima foi de $39,5^{\circ}\text{C}$, no intervalo de tempo de 60 horas, com um desvio padrão de $9,6^{\circ}\text{C}$.

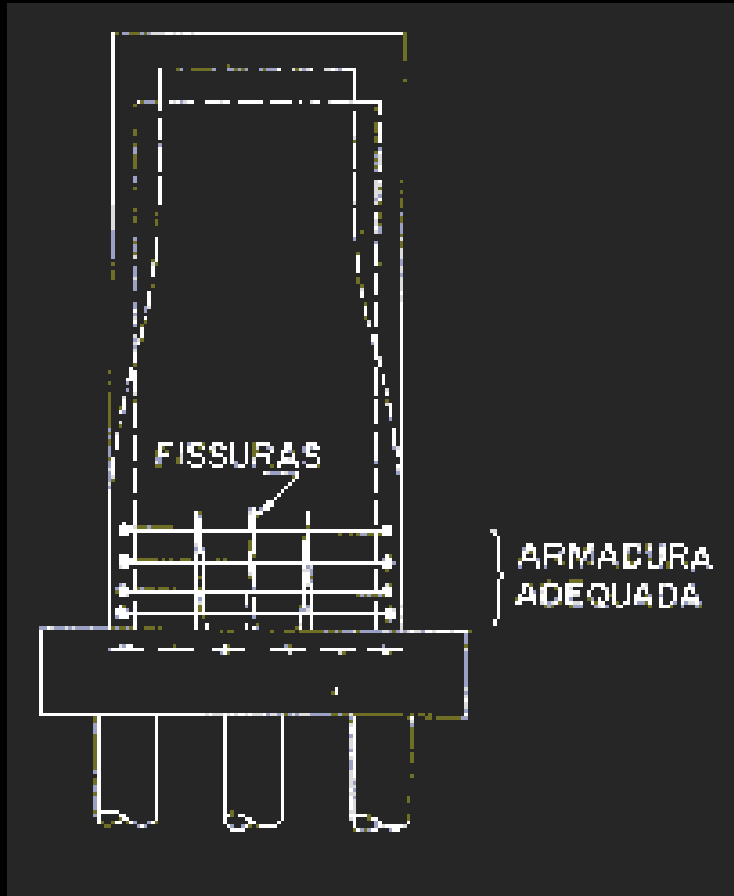
Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras verticais na parte superior das paredes devido à **insolação** na laje superior

Reservatórios não enterrados expostos à insolação

Fissuração em paredes de reservatório



Pilares com paredes finas

Fissuras verticais nas paredes, na parte inferior, junto às fundações devido à **retração das paredes finas** ser mais rápida do que a da fundação

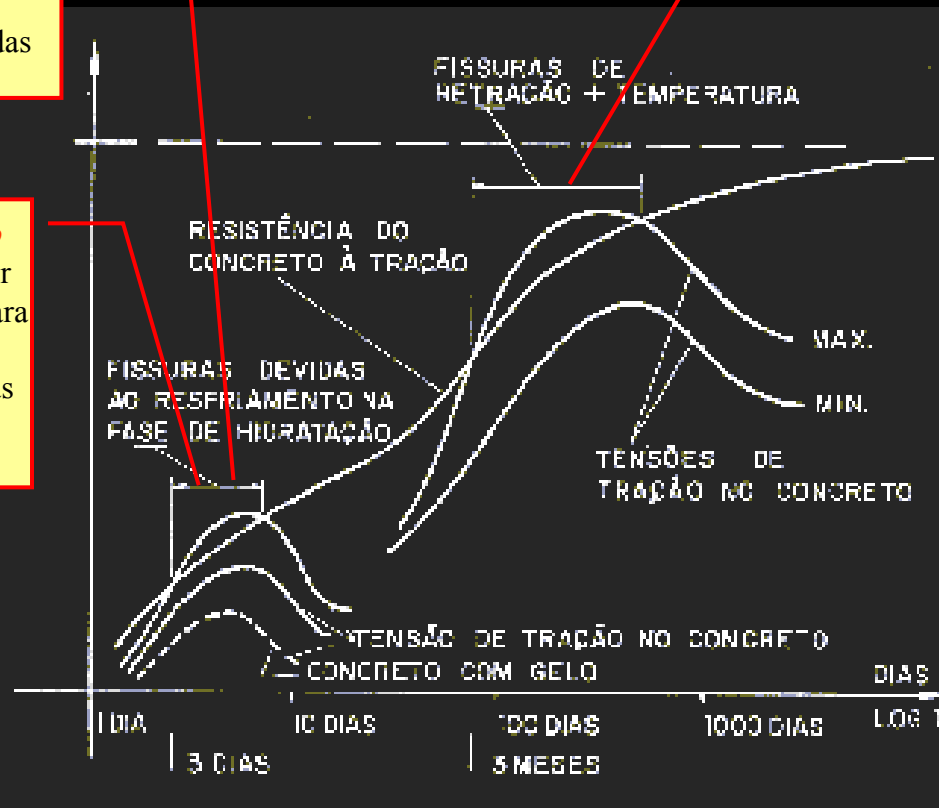
Fissuração em paredes de reservatório

A **Execução** deve evitar a formação das fissuras

O **Projeto** deve prever armadura para limitar a abertura das eventuais fissuras

O **Projeto** Estrutural deve prever armadura para limitar a abertura das fissuras.

Usar H. Falkner



Fissuras de coação em geral verticais em decorrência de tensões de tração causadas pelo **esfriamento rápido** do concreto ou pela **retração impedida** no concreto

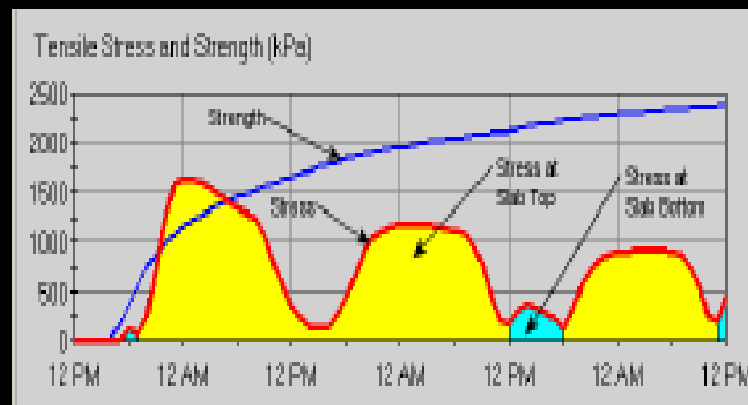
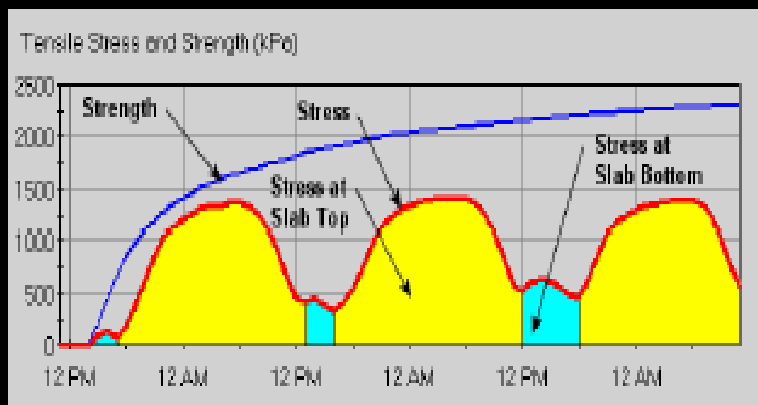
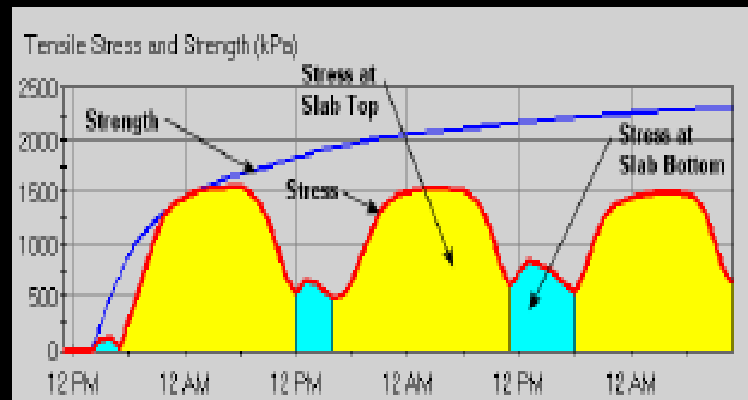
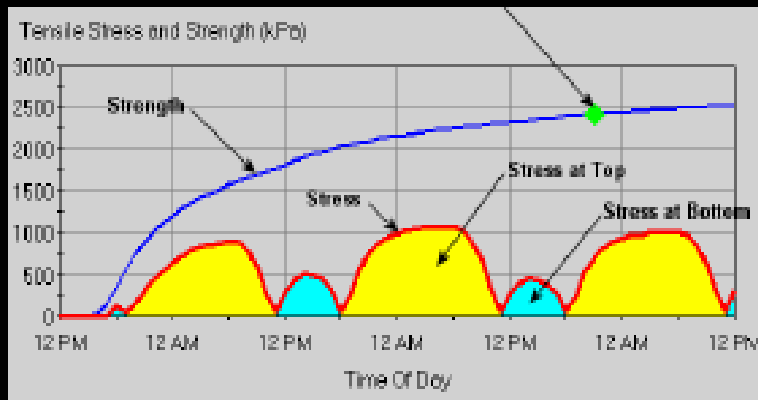
Estruturas de edificações em concreto armado

Fissuração em paredes de reservatório



U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Programa do



Exemplos do programa Hiperpav FHWA para pavimentos de concreto

Fissuração em paredes de reservatório

Sugestões para eliminar - reduzir fissuras nas paredes:

1- Usar **cimento** com **baixo calor de hidratação**, com baixo teor de C3A.

Exemplo de nomenclatura : CII-E-32BC

O **cimento antigo**, antes de 1970, tinha **grãos grossos** e demorava mais a se hidratar, elevando menos a temperatura do concreto lançado.

A finura do cimento era 100 m²/ kg , hoje é 400 a 500m²/ kg.

O resfriamento posterior era menor. As **tensões de tração** eram **menores**.

O teor de C3S era 45% (em 1970) hoje é 57% . A hidratação do C3S e a liberação de calor é a mais rápida .

Os **cimentos atuais** têm **grãos muito finos**. **Hidratam mais rápido e liberam calor rapidamente**.

Estimativa para o aquecimento de um concreto usual : $\Delta T \approx 5^{\circ}\text{C}$ a 9°C para cada 45kg de cimento **Exemplo:** Ao se usar 450kg de cimento/m³ de concreto, há o aquecimento do concreto entre 50°C a 90°C acima da temperatura de lançamento.

Fissuração em paredes de reservatório

Sugestões para eliminar - reduzir fissuras nas paredes:

- O Eng. Walton Pacelli (Furnas) sugere não usar mais que 400kg de cimento por m³ de concreto
- 2) Usar **concreto frio** - Temperatura de lançamento **< 15 °C**.
O Eng. Walton Pacelli (Furnas) sugere **10 °C**
Para isso **usar gelo** na água de mistura.
 - 3) Usar **formas de madeira** com duas folhas formando uma câmara interna de ar confinado. Esse ar confinado serve como isolamento térmico.
O resfriamento é muito mais lento e o concreto tem tempo para ganhar resistência à tração.
 - 4) Resfriar o concreto lançado com **água gelada circulando em serpentinas**.
O Eng. Walton Pacelli (Furnas) sugere não deixar a temperatura do concreto ser maior que 60°C.

Fissuração em paredes de reservatório

Sugestões para eliminar - reduzir fissuras nas paredes:

- 5) Retirar as formas após uma **redução lenta da temperatura** no concreto.
- 6) **Não usar formas de aço**. Resfriam muito rapidamente o concreto.
Usar armadura distribuída em varias camadas e não apenas nas 2 faces externas.
- 7) Usar um **espaçamento entre os ferros** de cerca de 7ϕ .
- 8) Usar uma **taxa de armadura total de ferro horizontal “costela” de 1,5 %**, que é aproximadamente igual à taxa usada nas zonas tracionadas das vigas.

Fissuração em paredes de reservatório

Recomendações feitas por Paulo J. M. Monteiro
em “Concrete International ” Novembro 2001.

Concreto com pouca elevação de temperatura nas paredes

Traço do concreto	
Material	kg/m ³
Cimento com 4% de C3A Obs : $C_3A = 3 (CaO) \cdot Al_2O_3$	318
Cinza volante F (<i>Fly Ash F</i>)	56
Areia	842
Pedra 3/8” (9,5mm)	282
Pedra 1” (25,4mm)	757
Água	167
Água / cimento	0,45
Superplastificante HRWRA	15
Retardador	0,50
Corante	0,40
Fibra	0,60
Total	2440

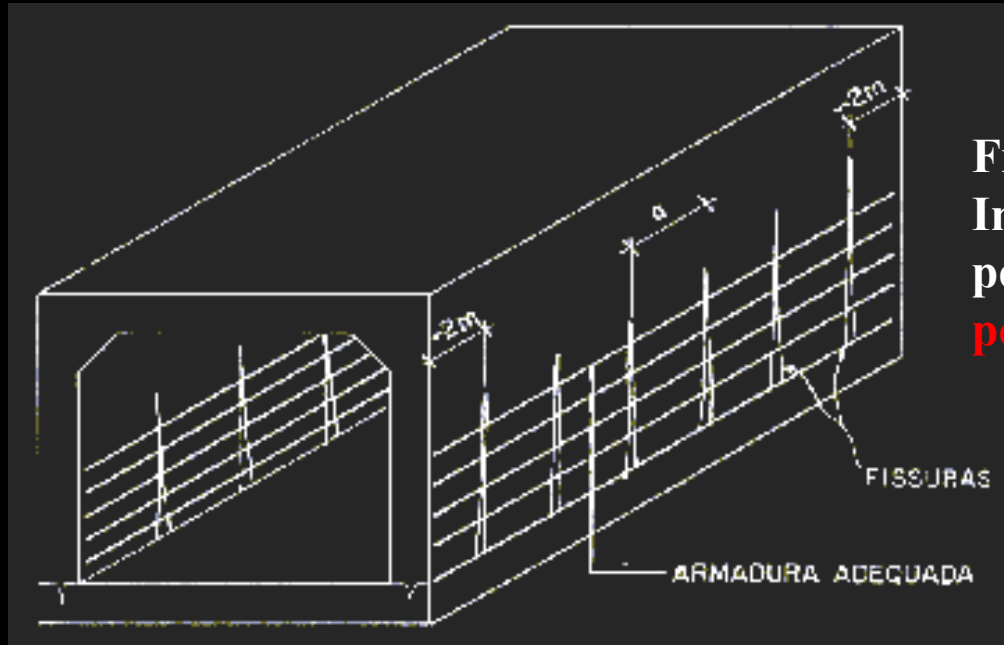
Fissuração em paredes de reservatório

**Recomendações feitas por Paulo J. M. Monteiro
em “Concrete International ” Novembro 2001.**

- 1) Concretagem de madrugada : antes da 5h , terminando antes das 9h.
- 2) Concreto *ready-mixed*, com cimento de baixo teor de C3A (4%)
- 3) Cinza volante (*Fly ash F*) - 15% substituição
- 4) Resfriar os agregados com água fria antes da mistura.
- 5) Concreto com água gelada e com gelo em flocos
- 6) Temperatura de lançamento do concreto $\leq 19^{\circ}\text{C}$.
- 7) Temperatura ideal no lançamento do concreto = 15°C .
- 8) Caminhões refrigerados antes do carregamento com concreto.
- 9) Formas de madeira mantidas no mínimo 2 ½ dias após a concretagem.
- 10) Formas de madeira mantidas até que a temperatura do concreto fique mais baixa, ficando apenas 15°C acima da temperatura do ar ambiente.
- 11) Para isso, medir a temperatura interna do concreto com termopares.

Sugestão Eduardo Thomaz : Usar taxa de armadura de 1,3 % com espaçamento $< 7\phi$

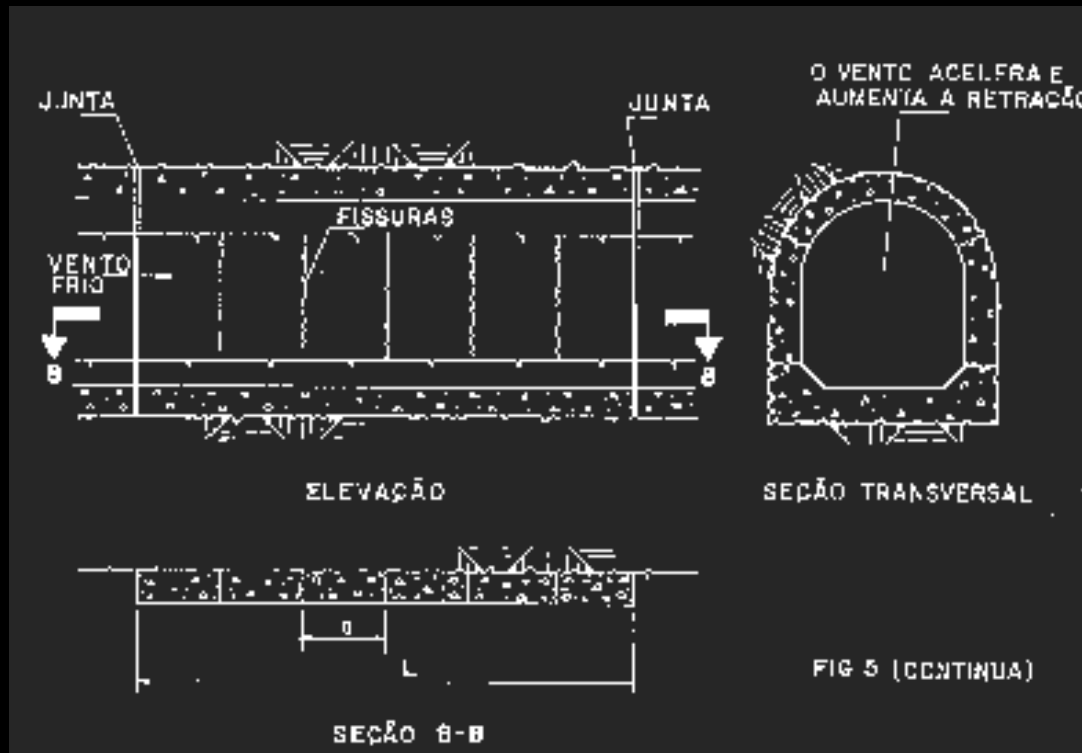
Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras verticais na parte inferior das paredes causadas pela **retração das paredes impedida pela laje do fundo de galeria**

Galerias

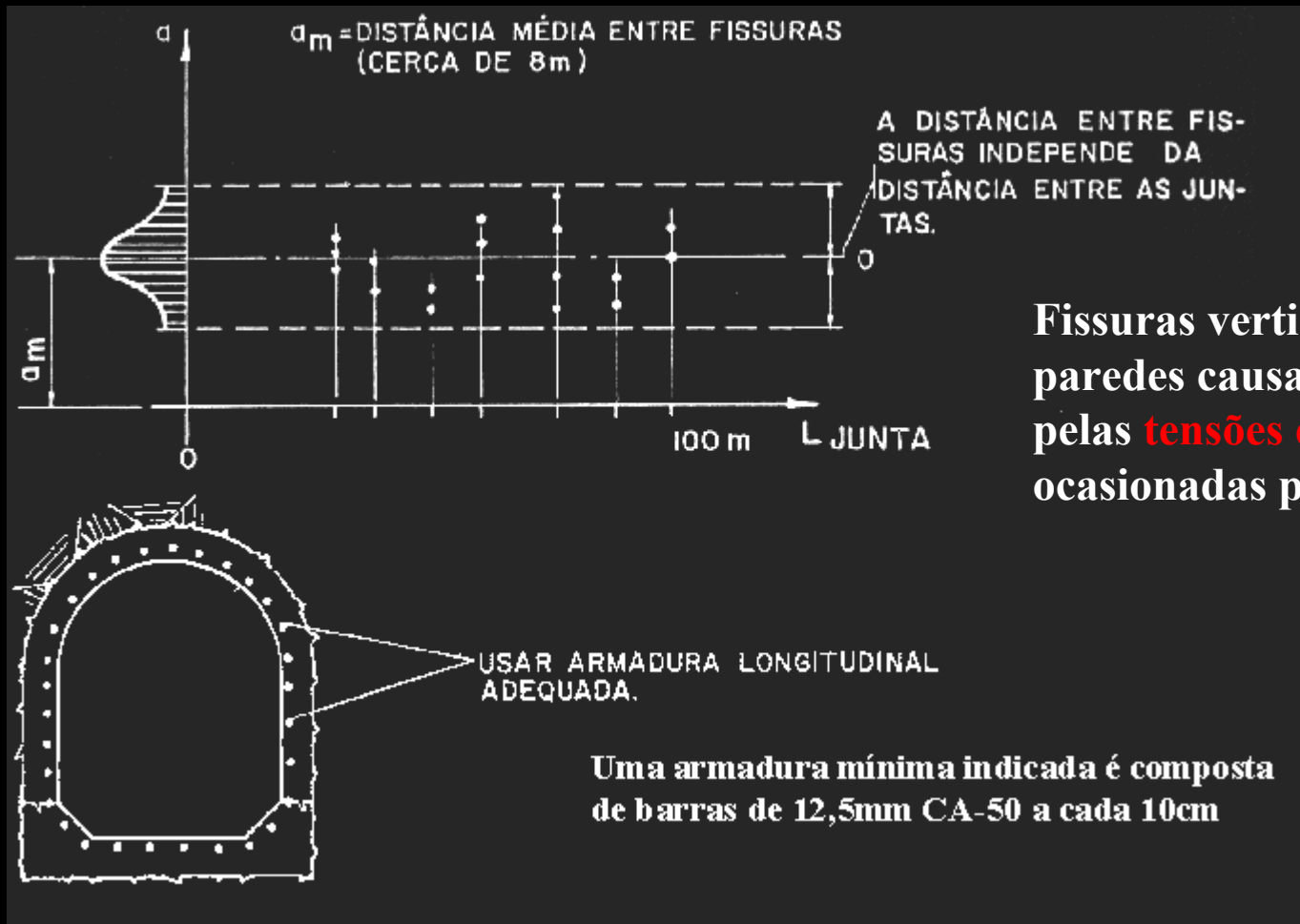
Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras verticais nas paredes causadas pelo **resfriamento rápido da superfície do concreto** ou pela **retração hidráulica do concreto**

Túnel em rocha com revestimento de concreto armado

Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras verticais nas paredes causadas pelas **tensões de coação** ocasionadas pela rocha

Túnel em rocha com revestimento de concreto armado

Fissuração em paredes de reservatório



corte

Fissuras verticais nas paredes causadas pela **elevada retração do concreto** rico em pasta de cimento

Túnel em rocha com revestimento de concreto armado

Fissuração em paredes de reservatório



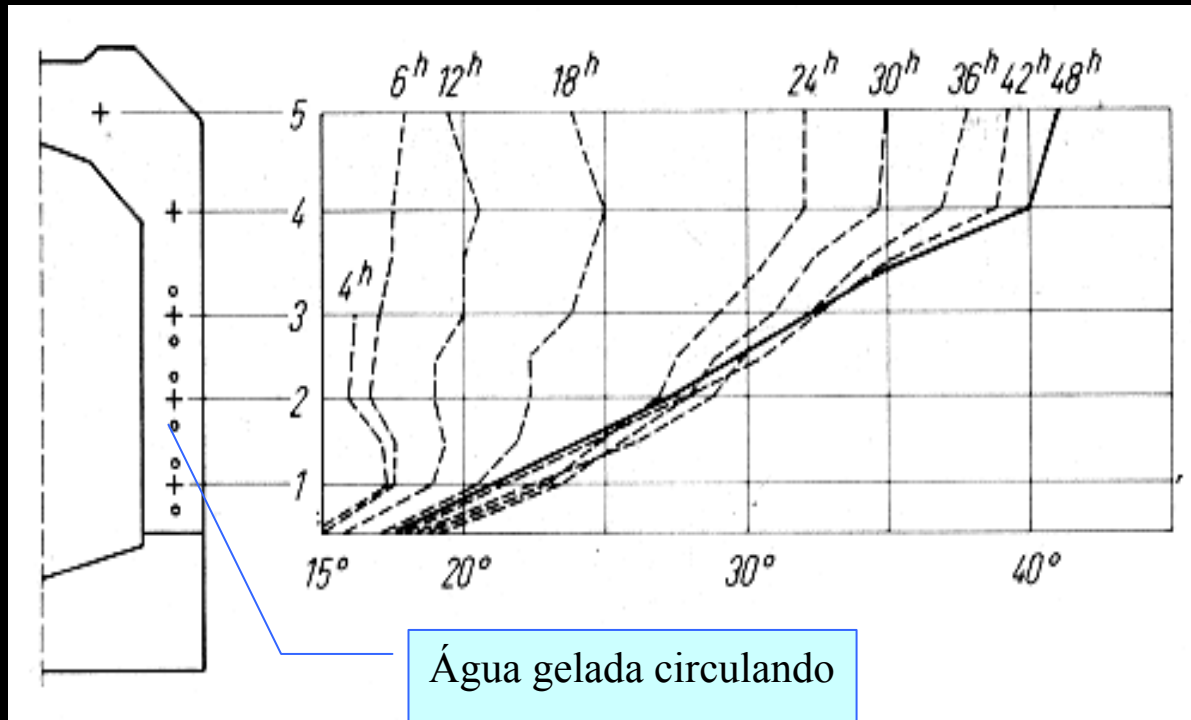
Concreto lançado com $t = 15^{\circ}\text{C}$ a 18°C

Armadura 22mm cada 15cm em cada face

Espessura 1,10 m

**Obra com controle da
temperatura do concreto**

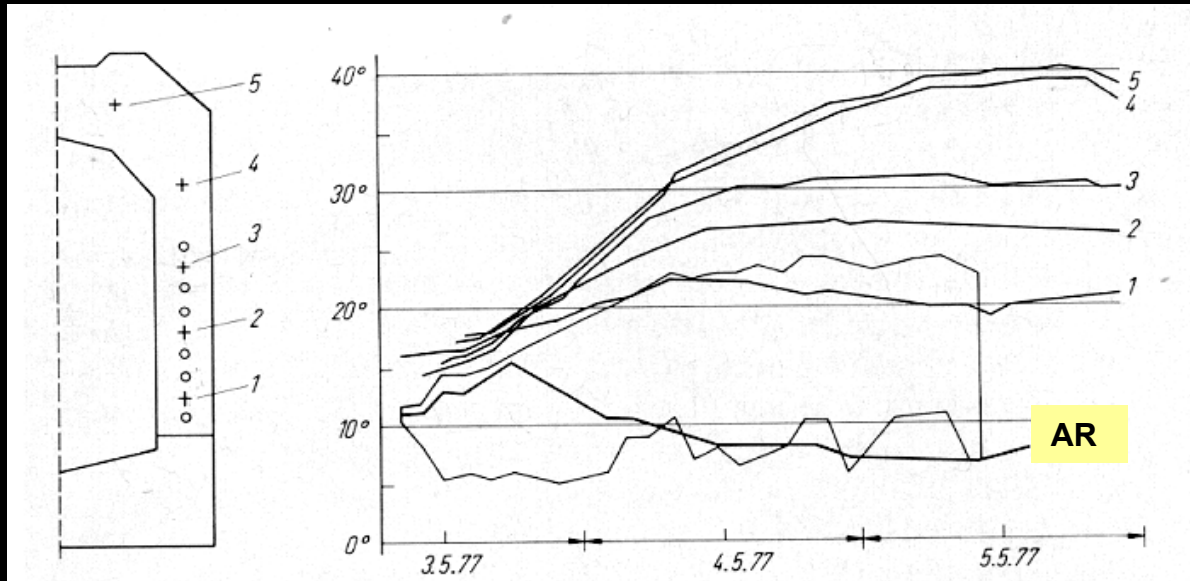
Fissuração em paredes de reservatório



Para evitar a fissuração:

- 1) Resfriar o concreto da parede, junto da laje do fundo.
- 2) Não é necessário resfriar o concreto no topo da parede

Fissuração em paredes de reservatório



Traço do concreto:

300 kg de cimento cimento de alto forno

30 kg de trass / m³

fino :14% passando na peneira 0,25mm

D máx. 32 mm

Água / Cimento = 0,55

Aditivo de Plastificante

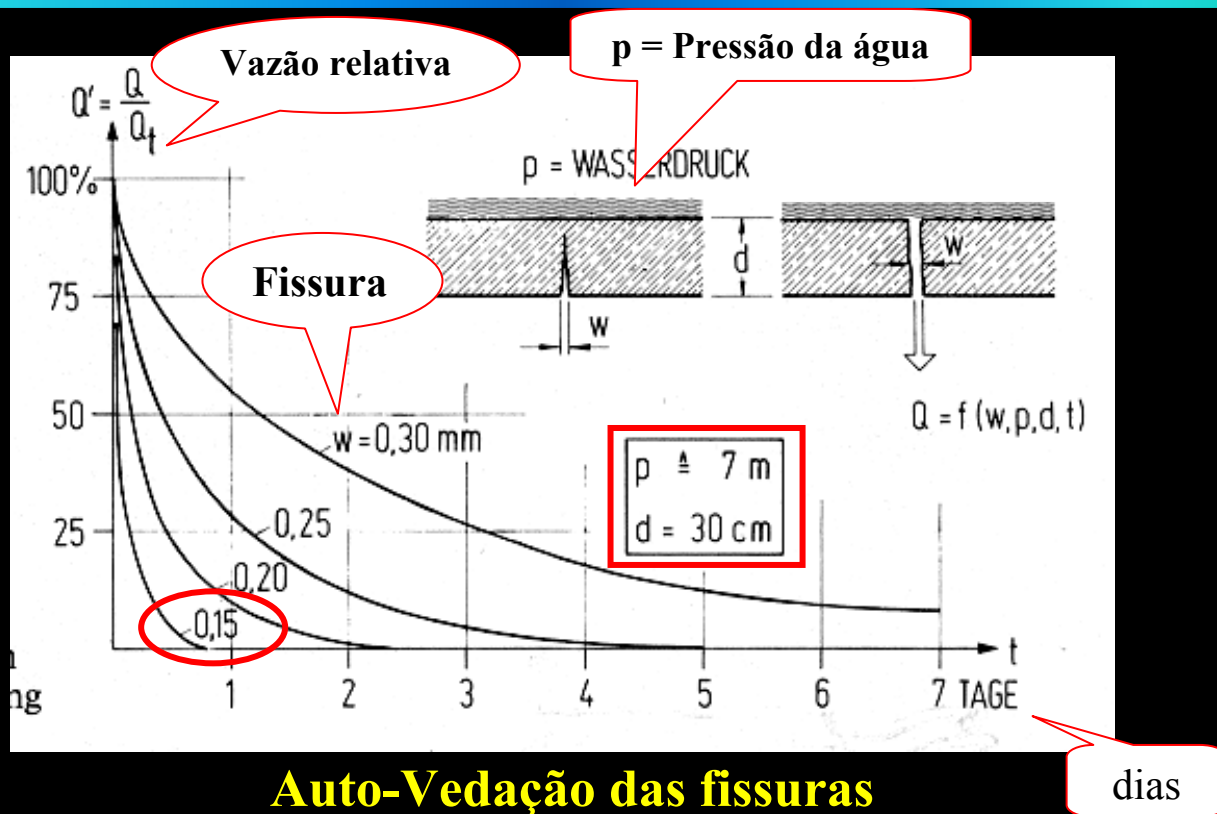
Poros 2 %

Resistência Bn35

A laje do fundo tinha 6 a 8 semanas de idade

**Variação da temperatura
na parede após a concretagem,
com refrigeração**

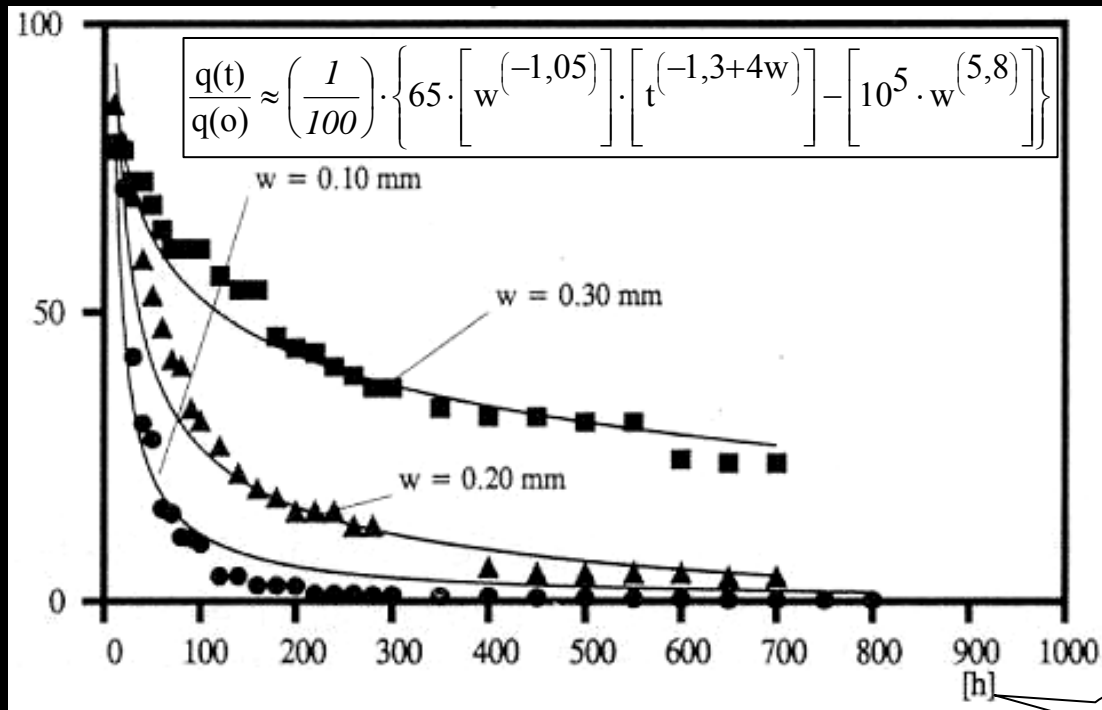
Fissuração em paredes de reservatório



Segundo Horst Falkner:

Uma fissura com abertura de 0,15mm auto-veda em menos de 1 dia.

Fissuração em paredes de reservatório



Auto-Vedação das fissuras

Segundo Carola.Katharina Edvadsen : Uma fissura, com abertura de 0,1mm auto-veda em 5 a 10 dias

w (mm) = abertura da fissura

t (hora) = tempo de escoamento da água

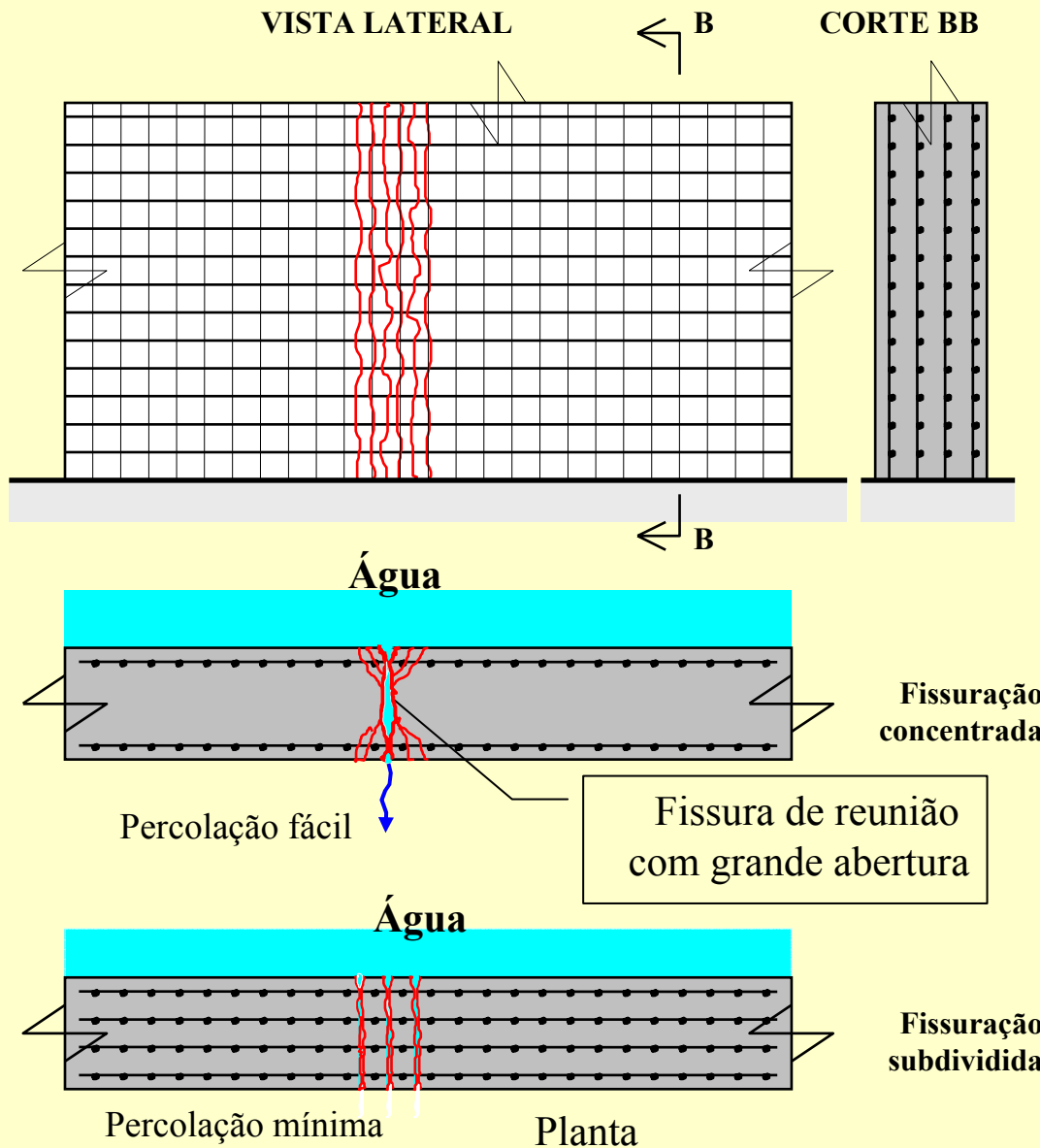
Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras verticais causadas pelo **resfriamento rápido** e **retração do concreto** junto às fundações e **acréscimo de temperatura** na laje de cobertura

Paredes de concreto em edifícios

Fissuração em paredes de reservatório

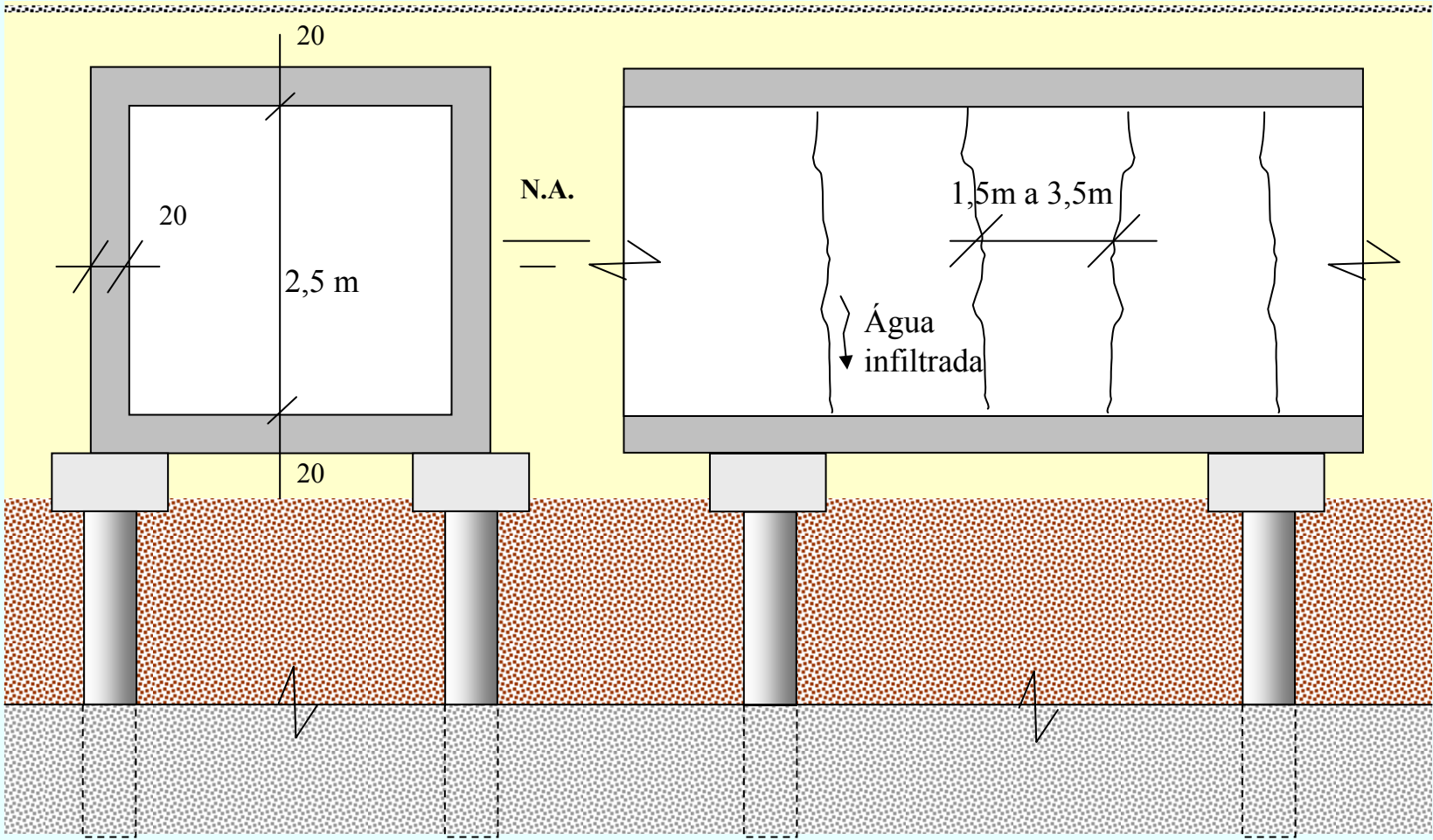


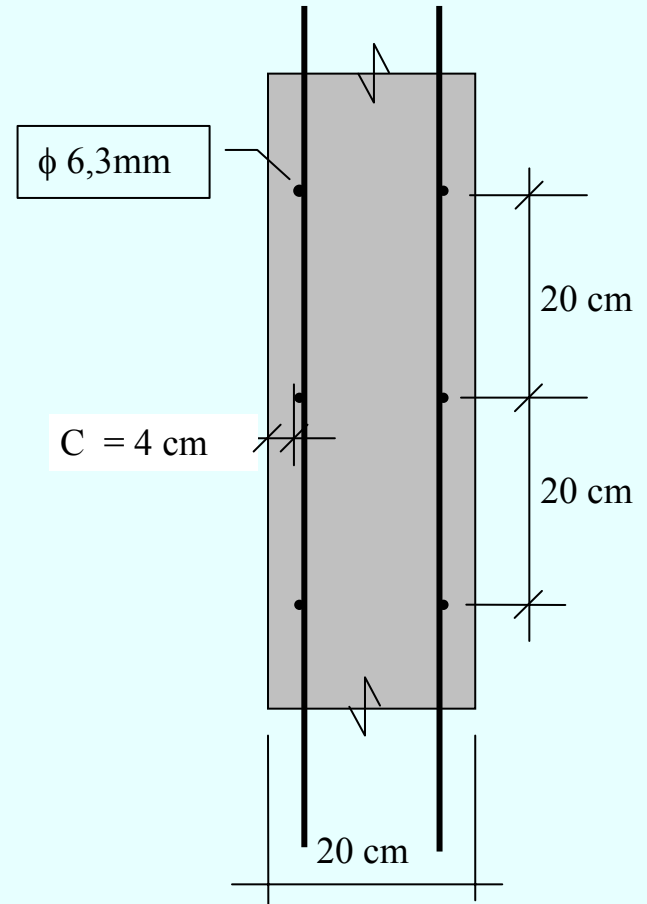
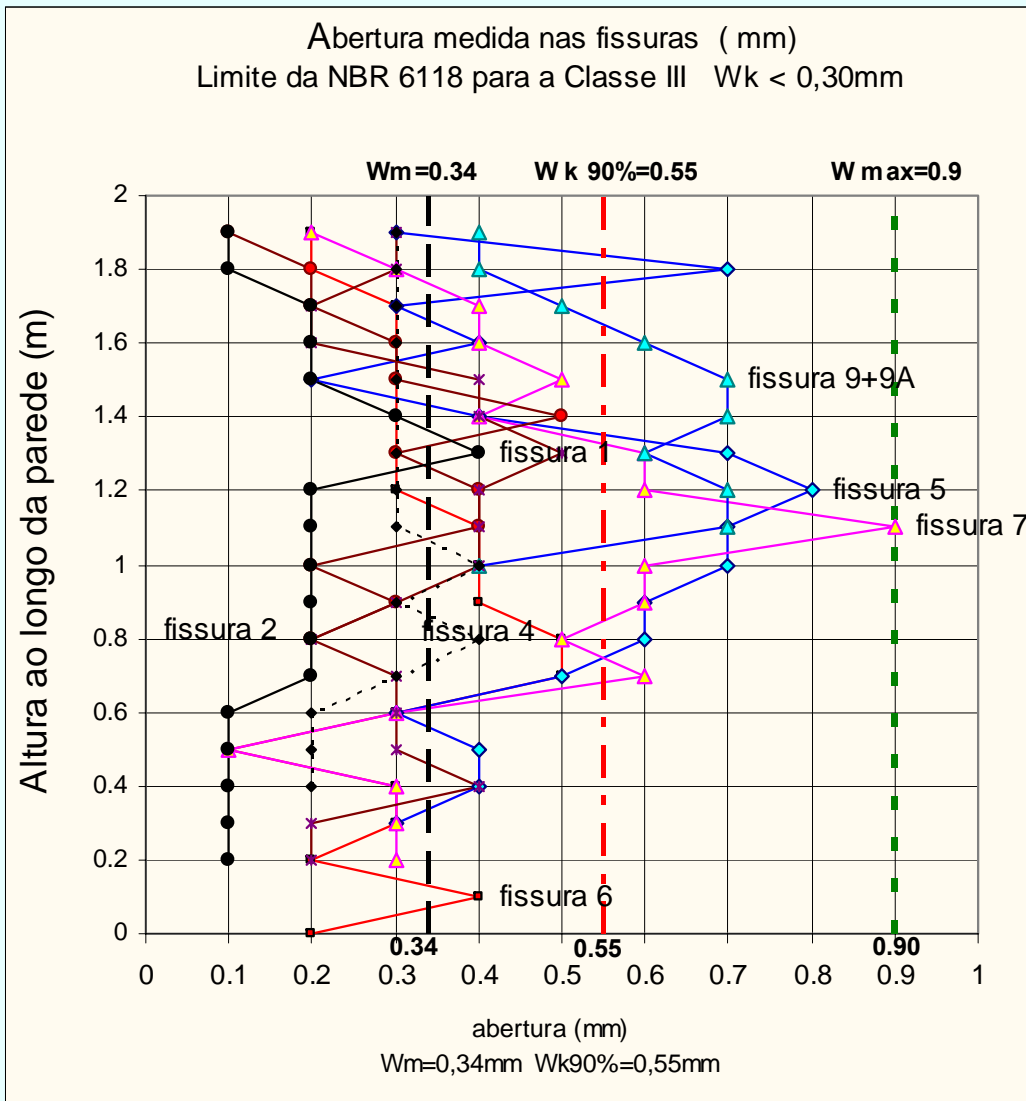
← Forte vazamento de água na face externa do reservatório.

Causa : Fissura de "reunião" no interior da parede com o conseqüente vazamento de água

Solução : Usar várias camadas de ferros horizontais no interior da parede

Exemplo de Galeria enterrada

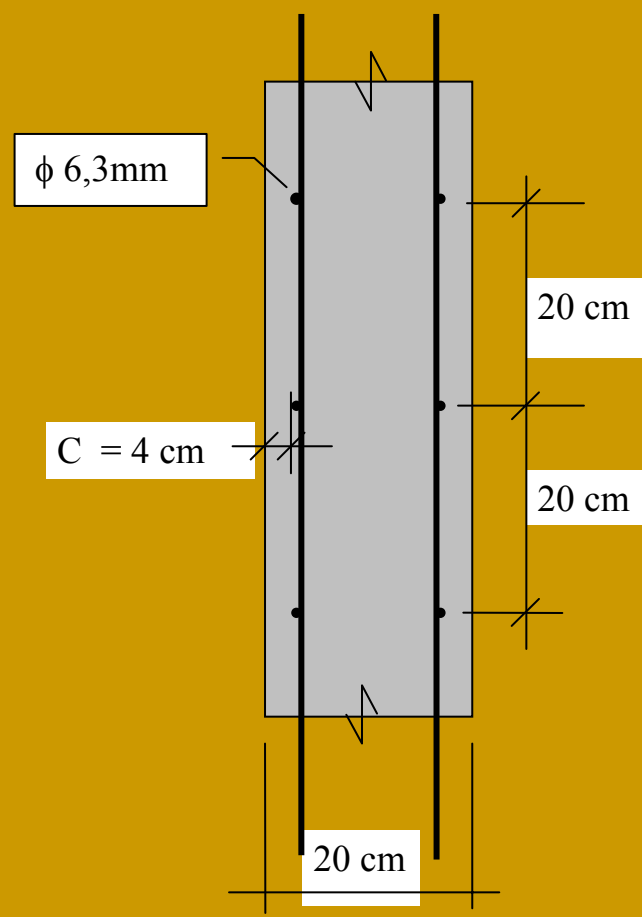
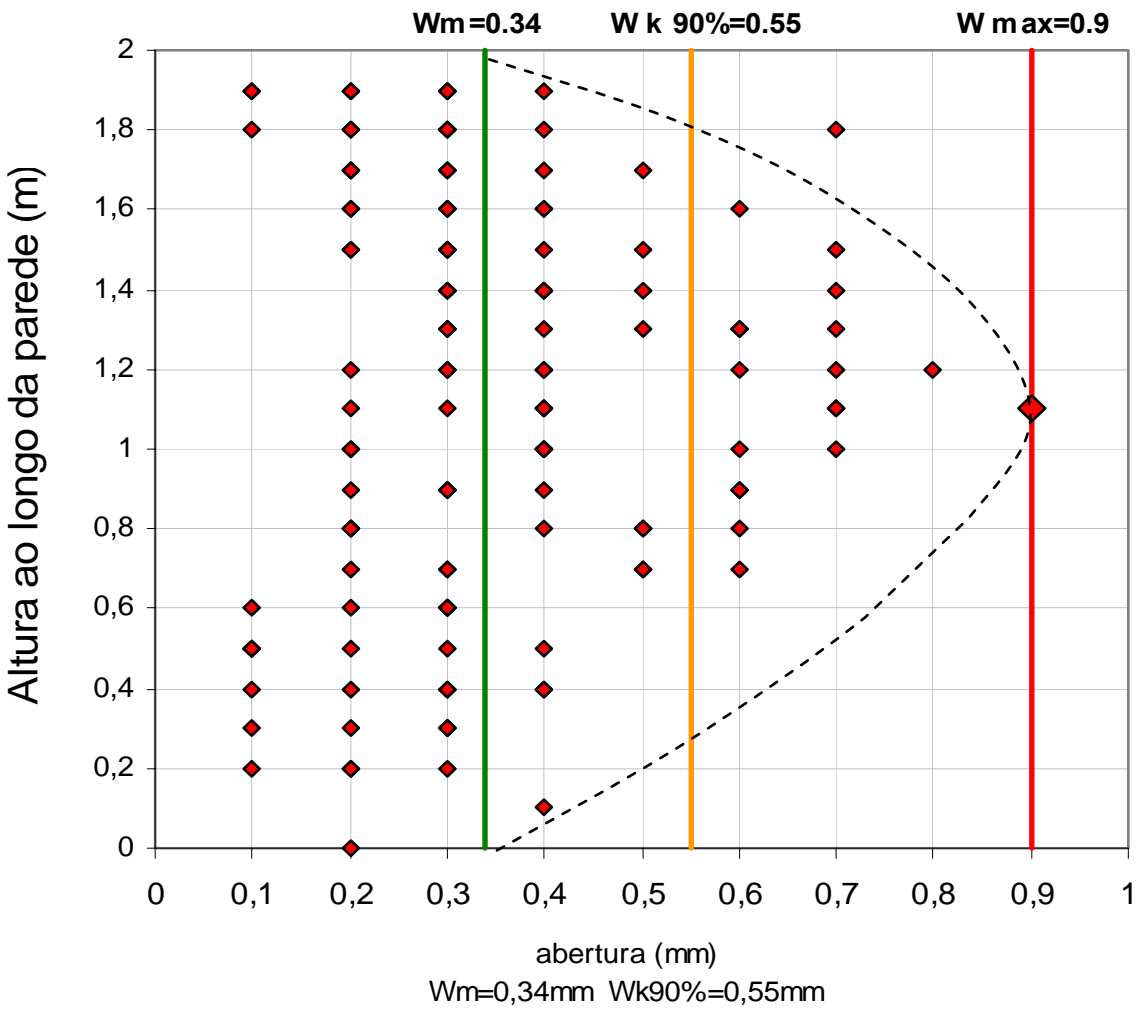




Armadura insuficiente

Foi usada uma armadura de $\phi 6.3\text{mm}$ cada 20cm
 Deveria ter sido usado $\phi 10\text{mm}$ cada 10cm para ter $W_{90\%}=0,30\text{mm}$.

Abertura (mm) medida em 10 fissuras.
 Limite da NBR 6118 para a Classe III $W_k < 0,30\text{mm}$



Armadura insuficiente

Foi usada uma armadura de $\phi 6.3\text{mm}$ cada 20cm
 Deveria ter sido usado $\phi 10\text{mm}$ cada 10cm para ter $W_{90\%}=0,30\text{mm}$.



Fissuração em paredes de reservatório

ESQUEMA: Ábaco de H.Falkner [4]

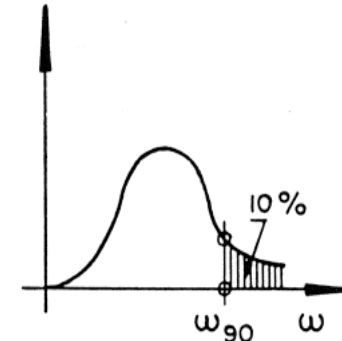
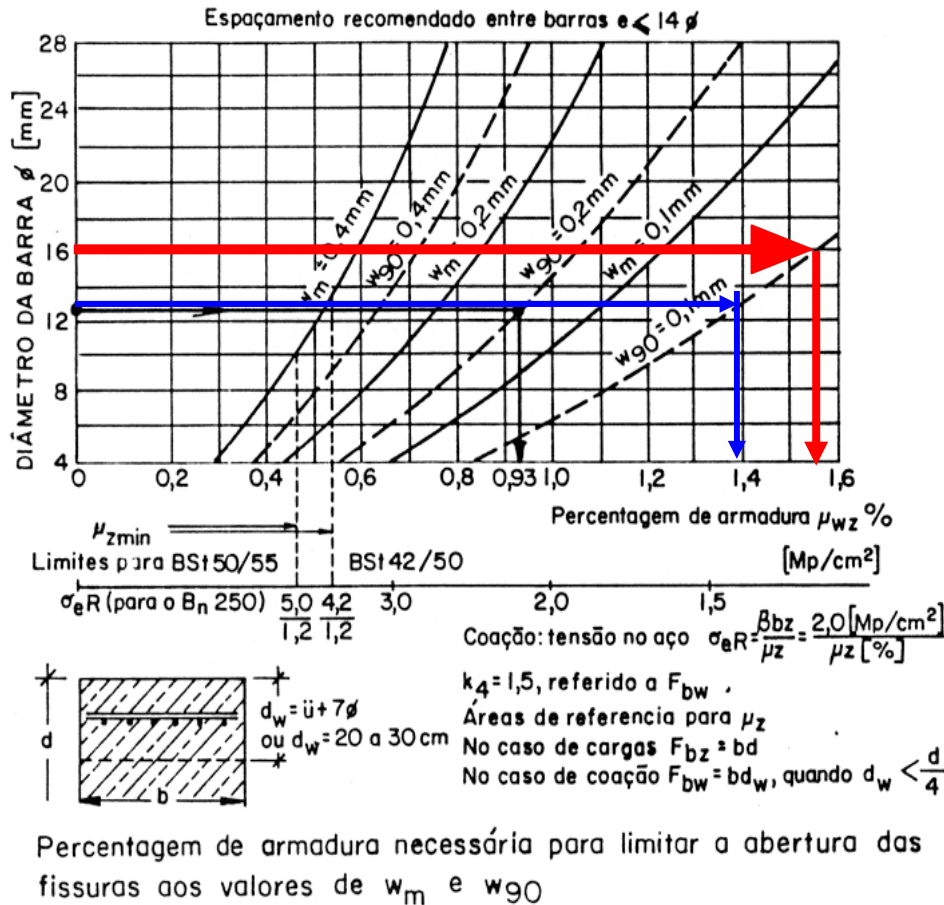


FIG. 6

Segundo Fritz Leonhardt e Horst Falkner :

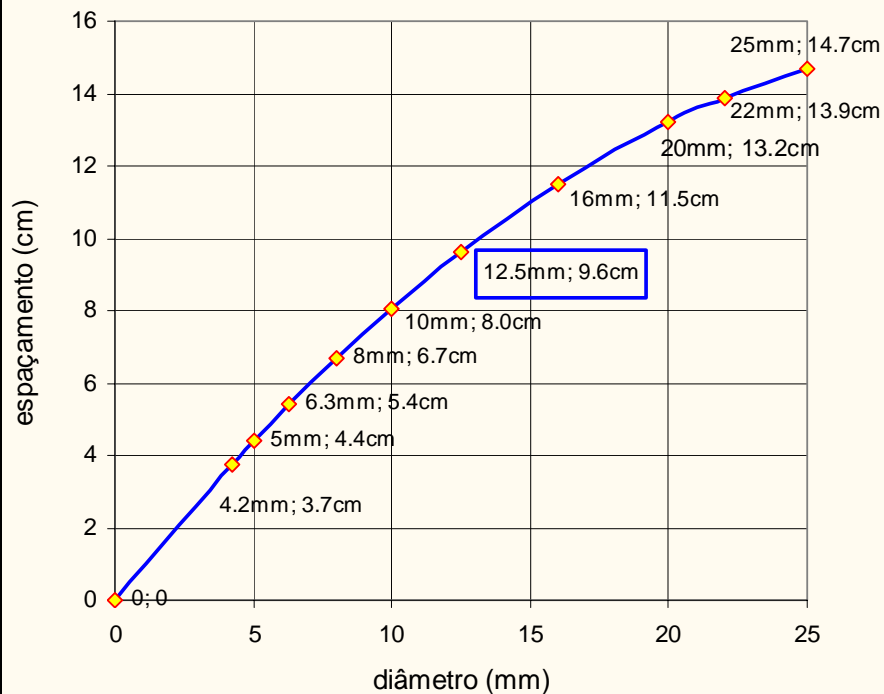
A uma distância de 7 diâmetros da barra forma-se a fissura de reunião.

A distância entre as camadas de armadura deve ser $\approx 7 \phi$ a 10ϕ .

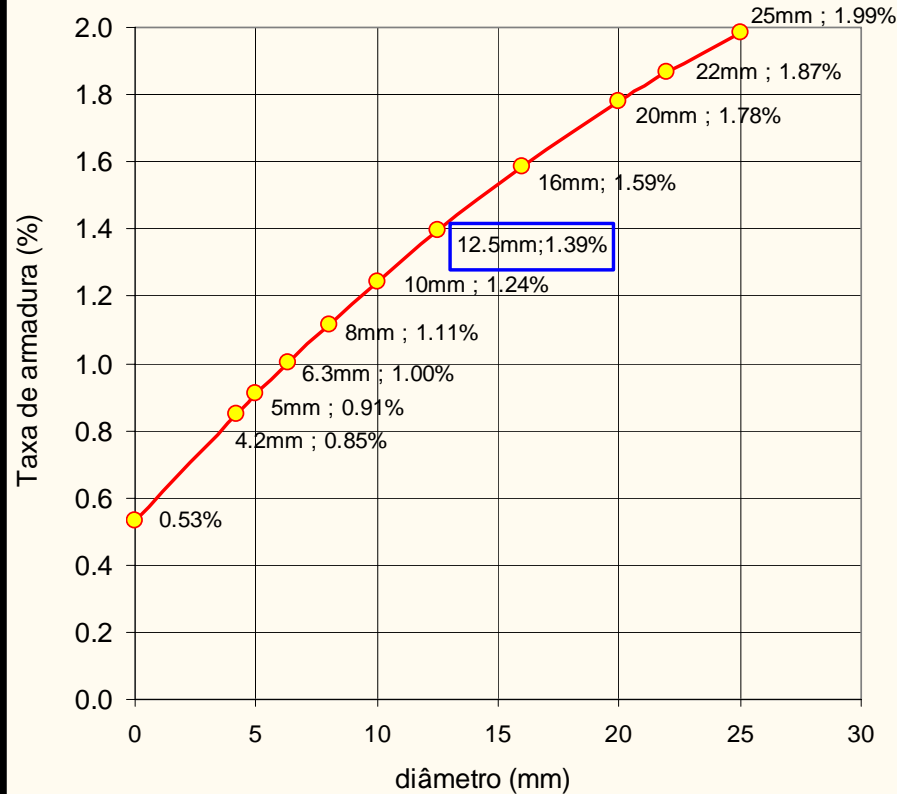
Fissuração em paredes de reservatório

Horst Falkner

Armadura - Fissura $w_{90\%} = 0,10\text{mm}$



Taxa de armadura : Fissura $w_{90\%} = 0,10\text{mm}$

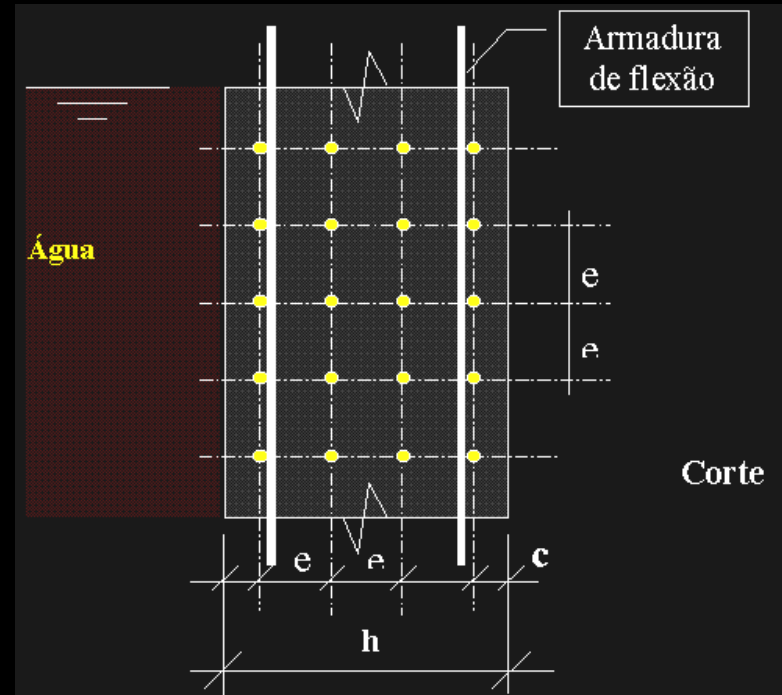


Fissuração em paredes de reservatório

Sugestão Eduardo Thomaz :

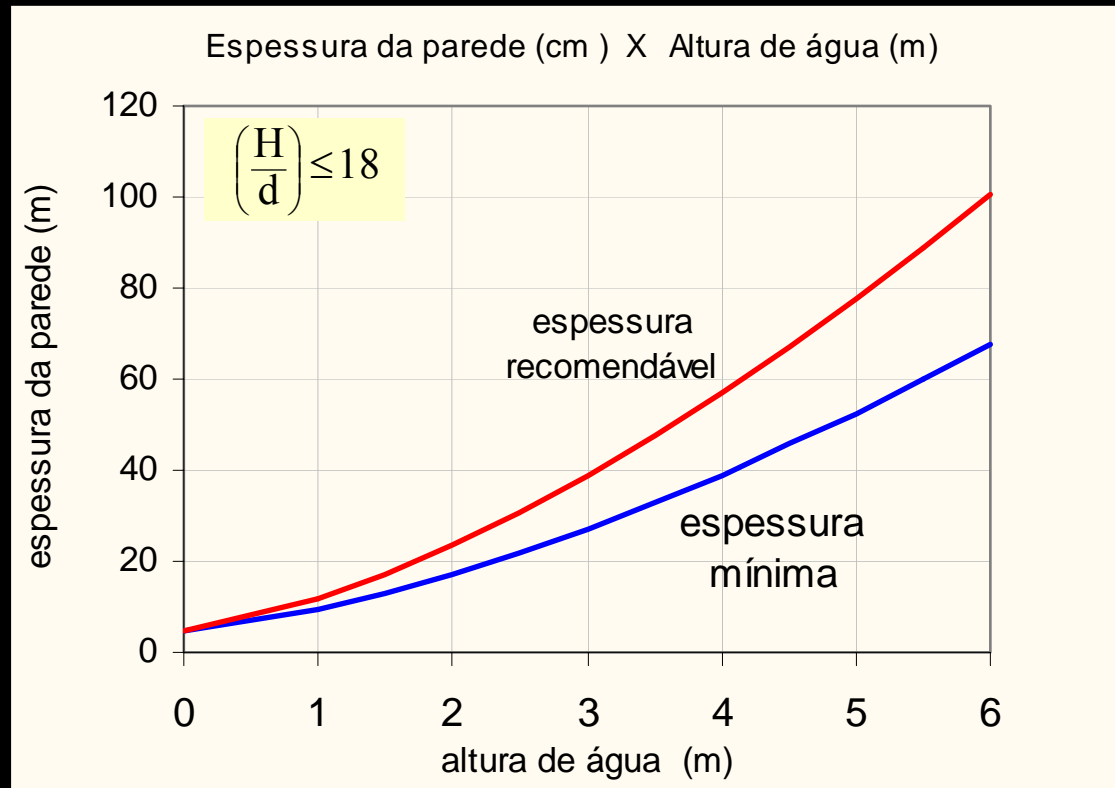
**Abertura de fissura de coação
usar $w_k 90\% = 0,1\text{mm}$**

Ferros horizontais nas paredes



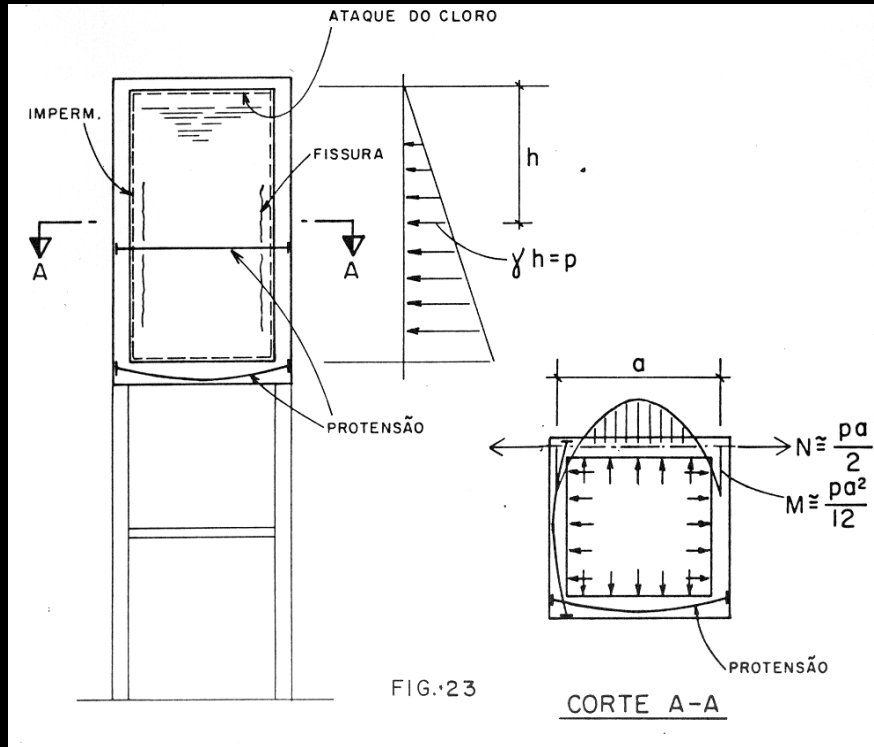
ϕ (mm)	Espaçamento e (cm)	Taxa de armadura (%)	ϕ (mm)	Espaçamento e (cm)	Taxa de armadura (%)
4,2	3,7	0,85	12,5	9,6	1,39
5	4,4	0,91	16	11,5	1,59
6,3	5,4	1,00	20	13,2	1,78
8	6,7	1,11	22	13,9	1,87
10	8,0	1,24	25	14,7	1,99

Fissuração em paredes de reservatório



Reservatório com bordo livre no topo da parede

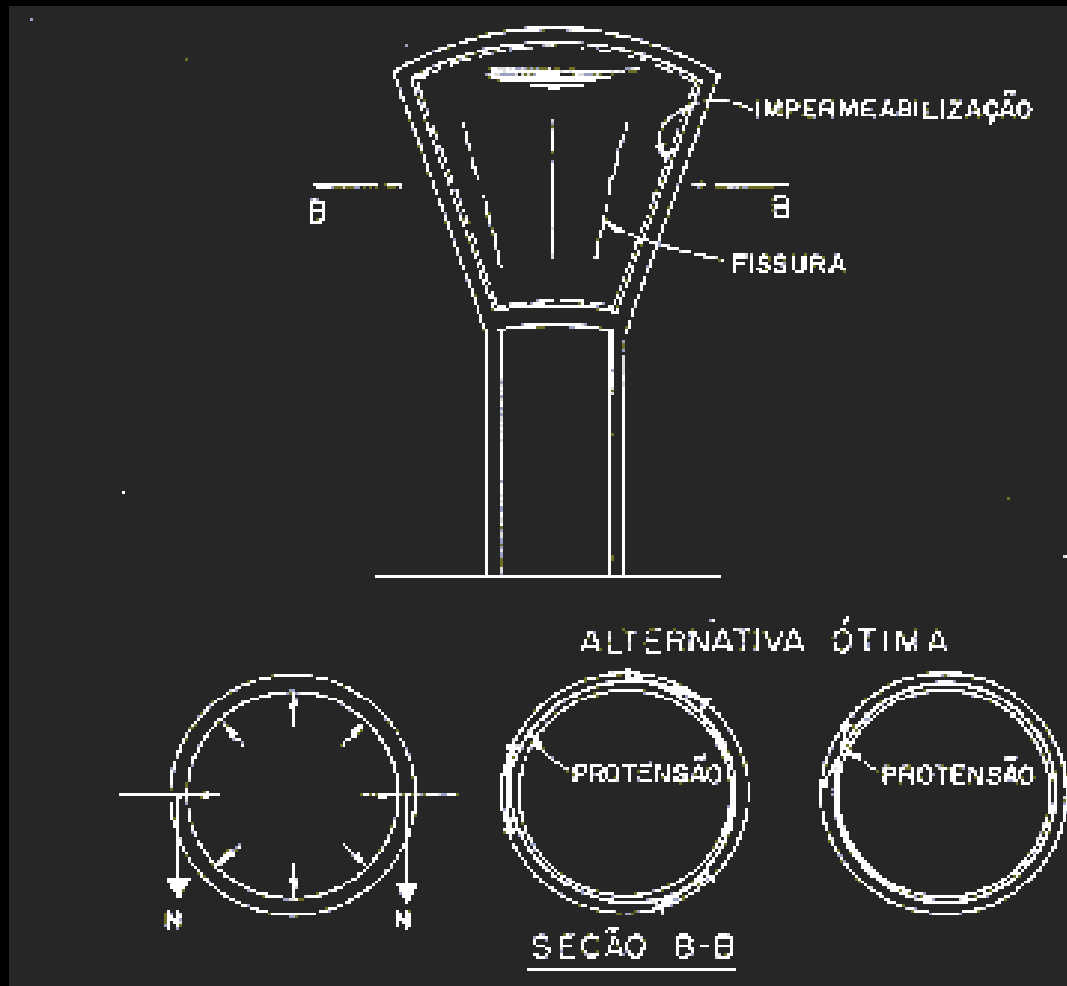
Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras verticais nas partes inferiores causadas pela **não avaliação da abertura de fissuras em serviço e do esforço normal de tração**

Castelos d'água com seção retangular

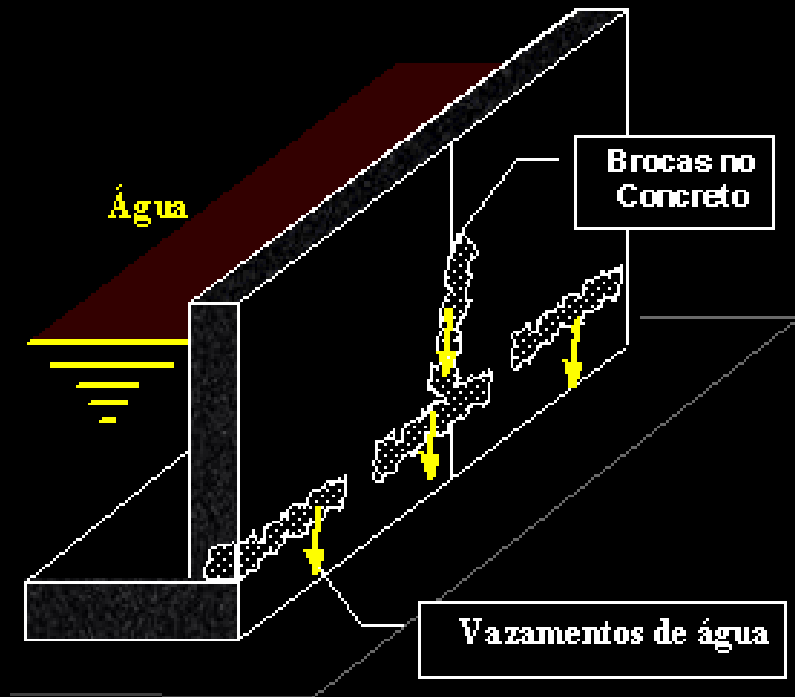
Fissuração em paredes de reservatório



Fissuras segundo as geratrizes em decorrência da **não observância do estado limite de formação de fissuras**

Castelos d'água com seção circular

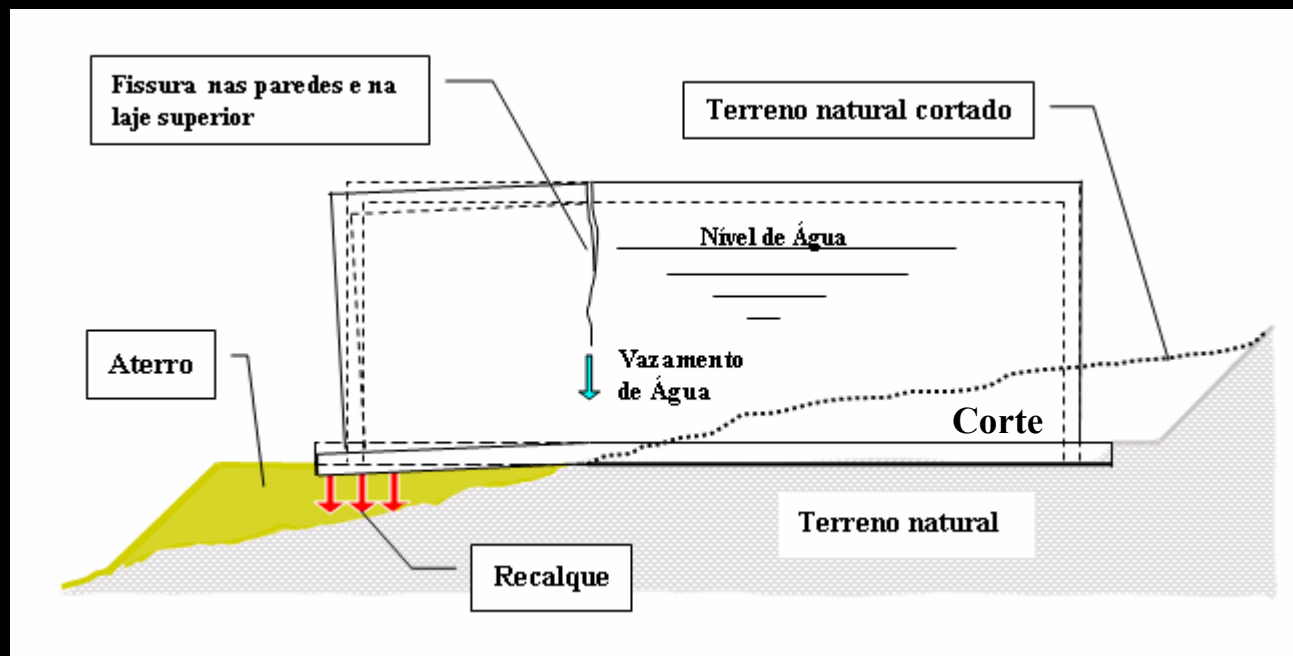
Fissuração em paredes de reservatório



Má execução
Reservatório de água em concreto armado

Brocas no concreto
causadas pela **fuga de
pasta** pelas juntas das
formas que não
apresentem uma vedação
perfeita

Fissuração em paredes de reservatório

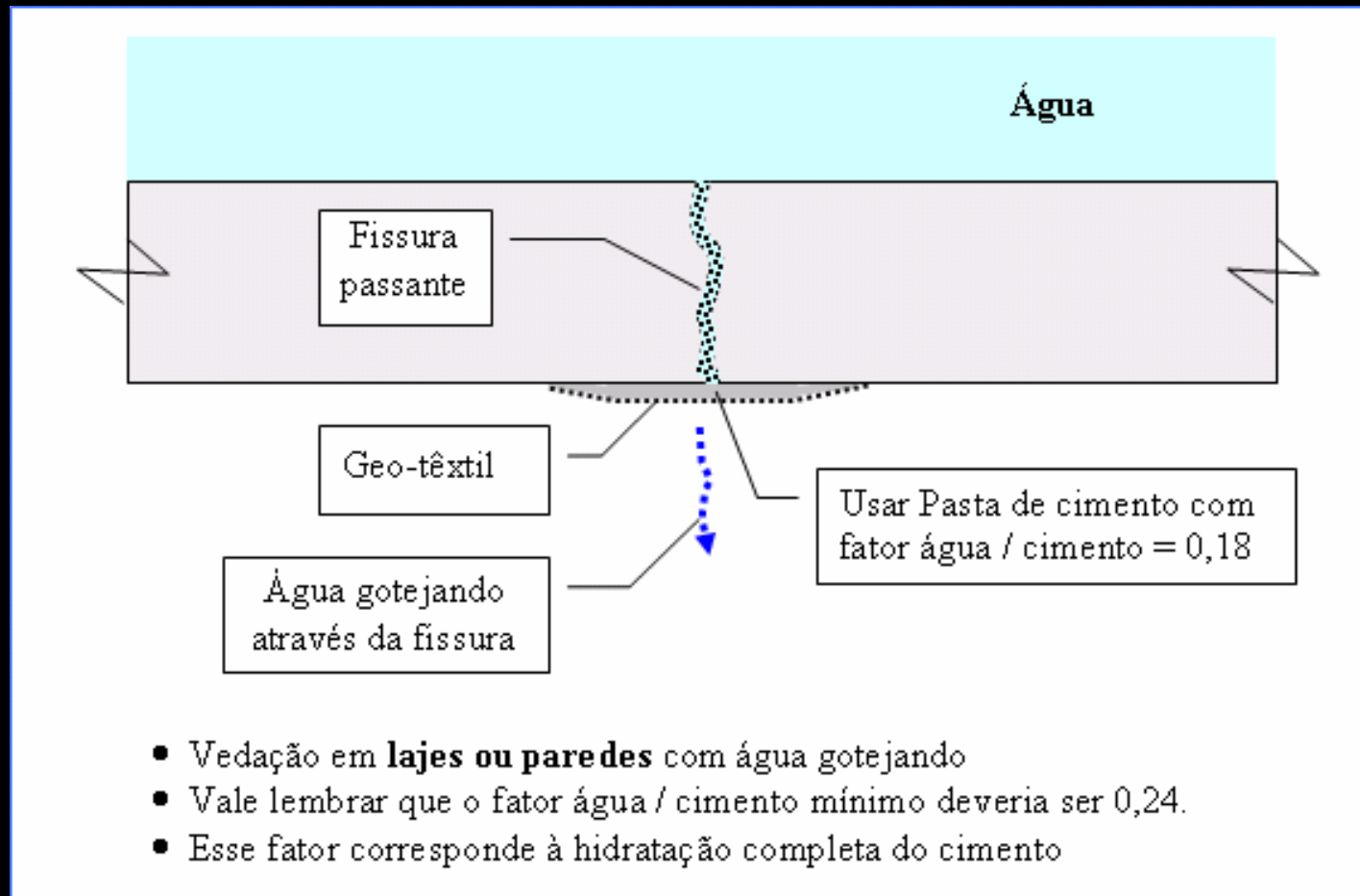


Reservatório em concreto armado, executado em um terreno corte - aterro

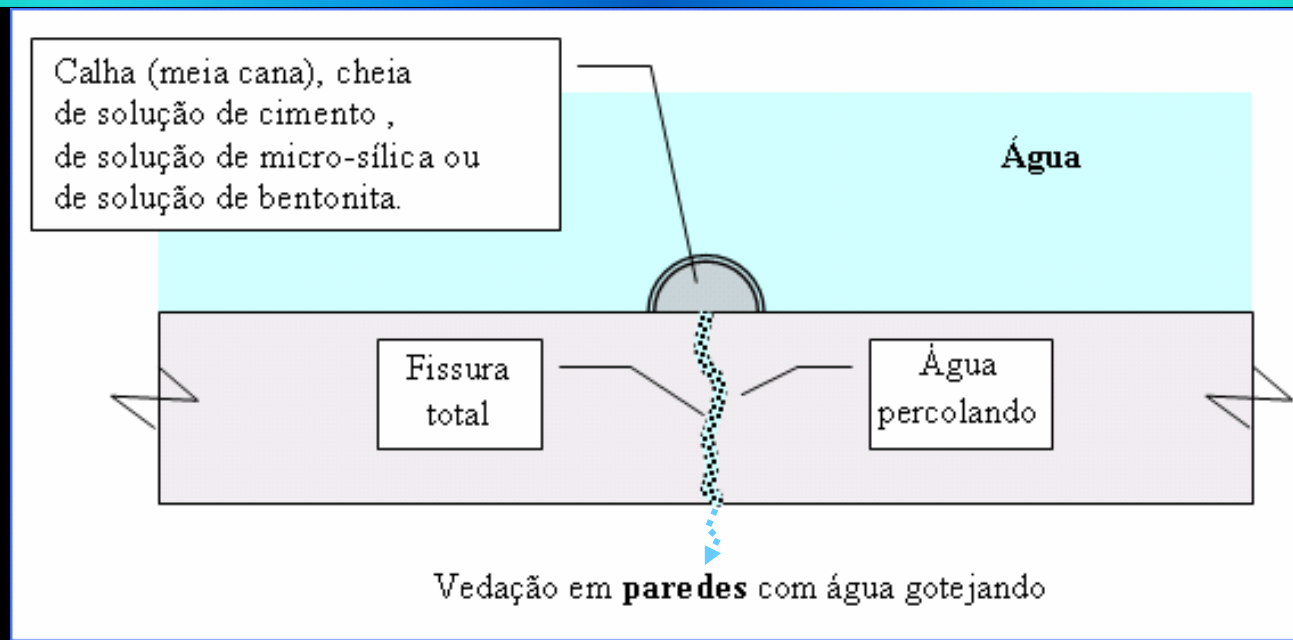
CAUSA DA FISSURAÇÃO:

- 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 cortado 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.

Alguns processos usados para vedar fissuras com gotejamento de água



Alguns processos usados para vedar fissuras com gotejamento de água



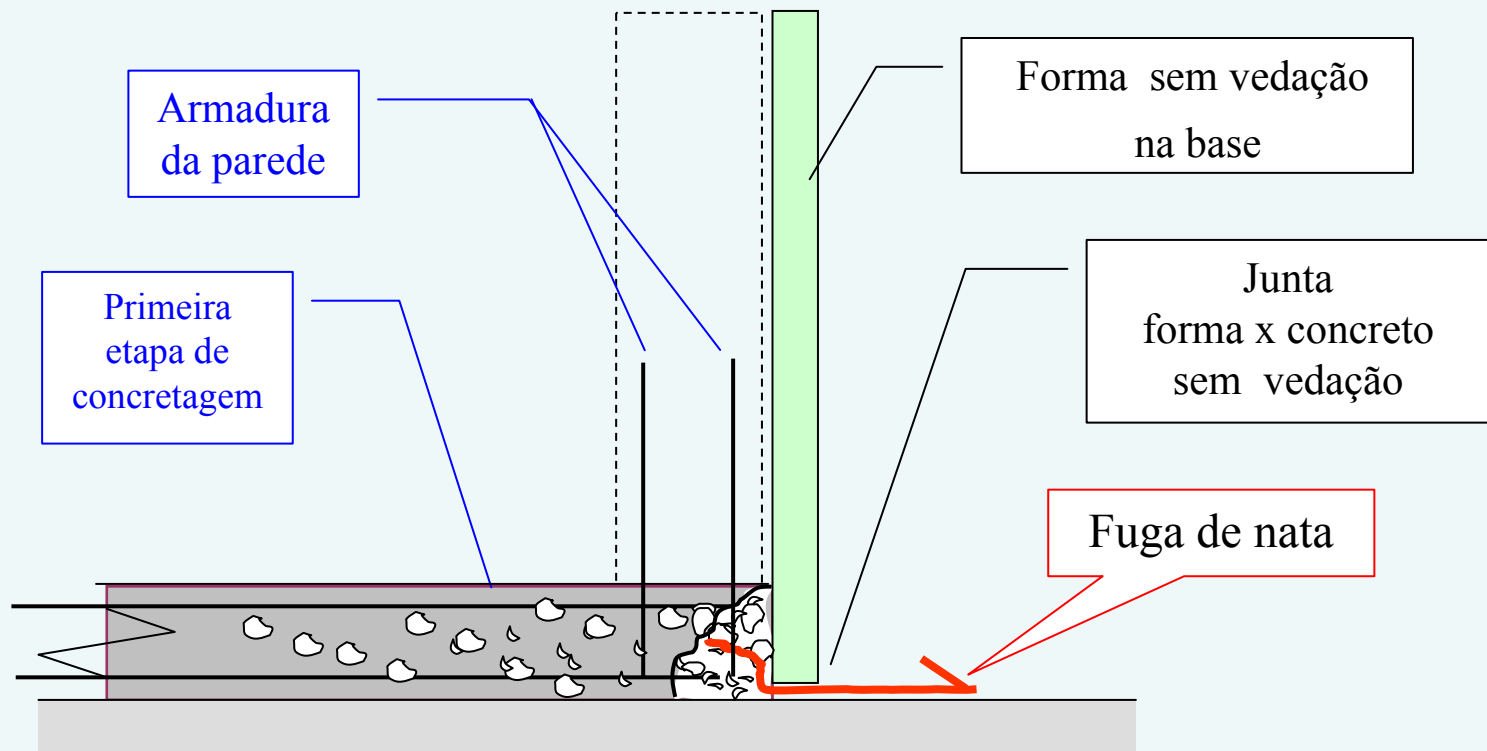
Cimento em suspensão na água. Uso de suspensão de cimento na água, na proporção água / cimento = (6.0 / 1.0), em peso, com plastificante para evitar floculação. A vedação foi completa e imediata.

Bentonita em suspensão na água. Com suspensão de bentonita na água, na proporção água / bentonita = (50.0 / 1.0), em peso, a vedação é completa e imediata. Os grãos de bentonita, em suspensão na água, não sedimentam. Isto facilita a vedação de fissuras em paredes verticais. Obs: Bentonita = Silicato de alumínio hidratado coloidal.

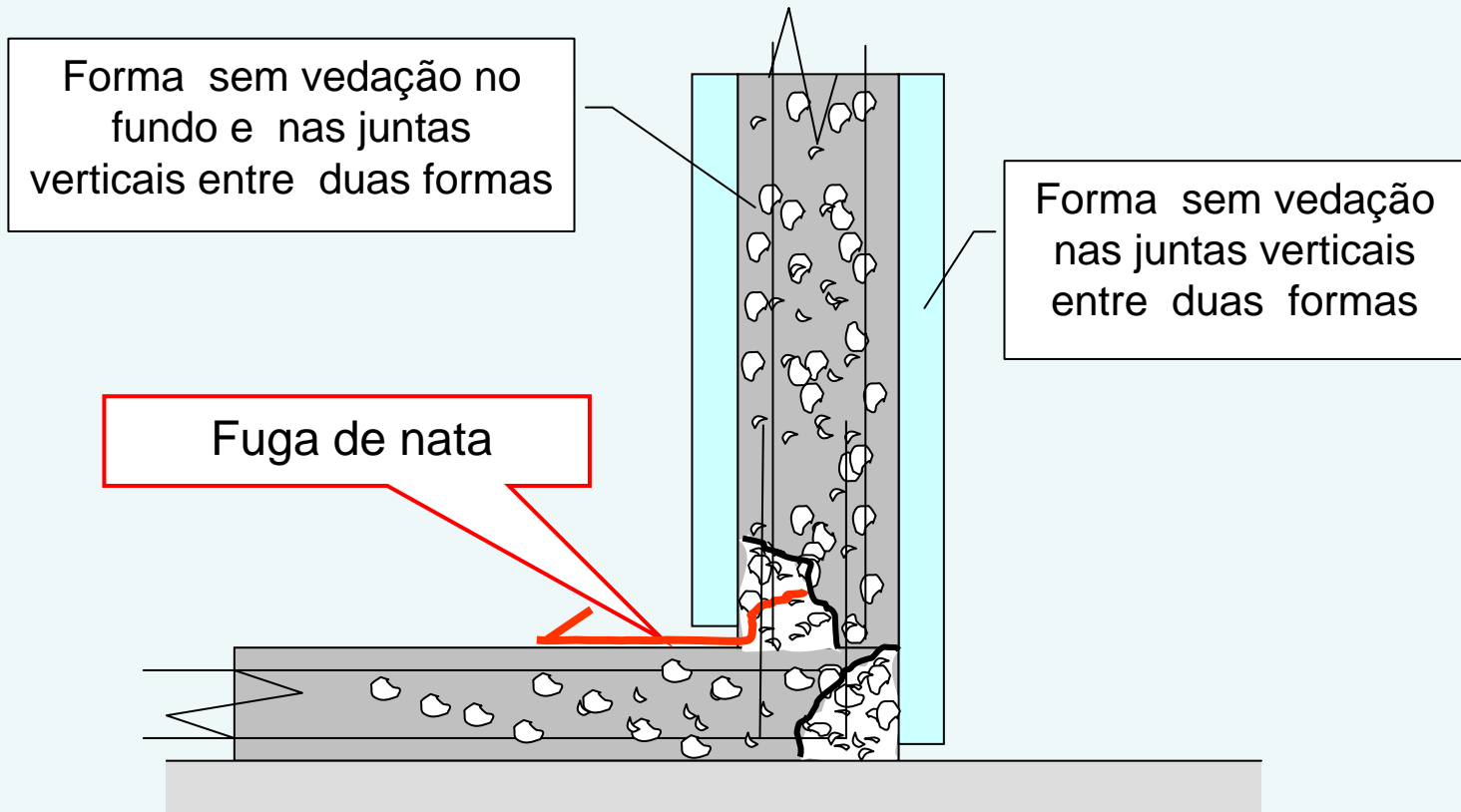
Micro-sílica em suspensão. Usando uma suspensão de micro-sílica em água, na proporção água / micro-sílica=(20.0/1.0), em peso, a vedação da fissura é praticamente instantânea, quando a fissura for menor que 0,20mm.

Os grãos de micro-sílica, em suspensão na água, também tendem a sedimentar. Os grãos de micro-sílica, sendo muito mais finos que os grãos de cimento, vedam fissuras com pequena abertura ($w < 0,05$ mm).

Erro de execução - Muito comum

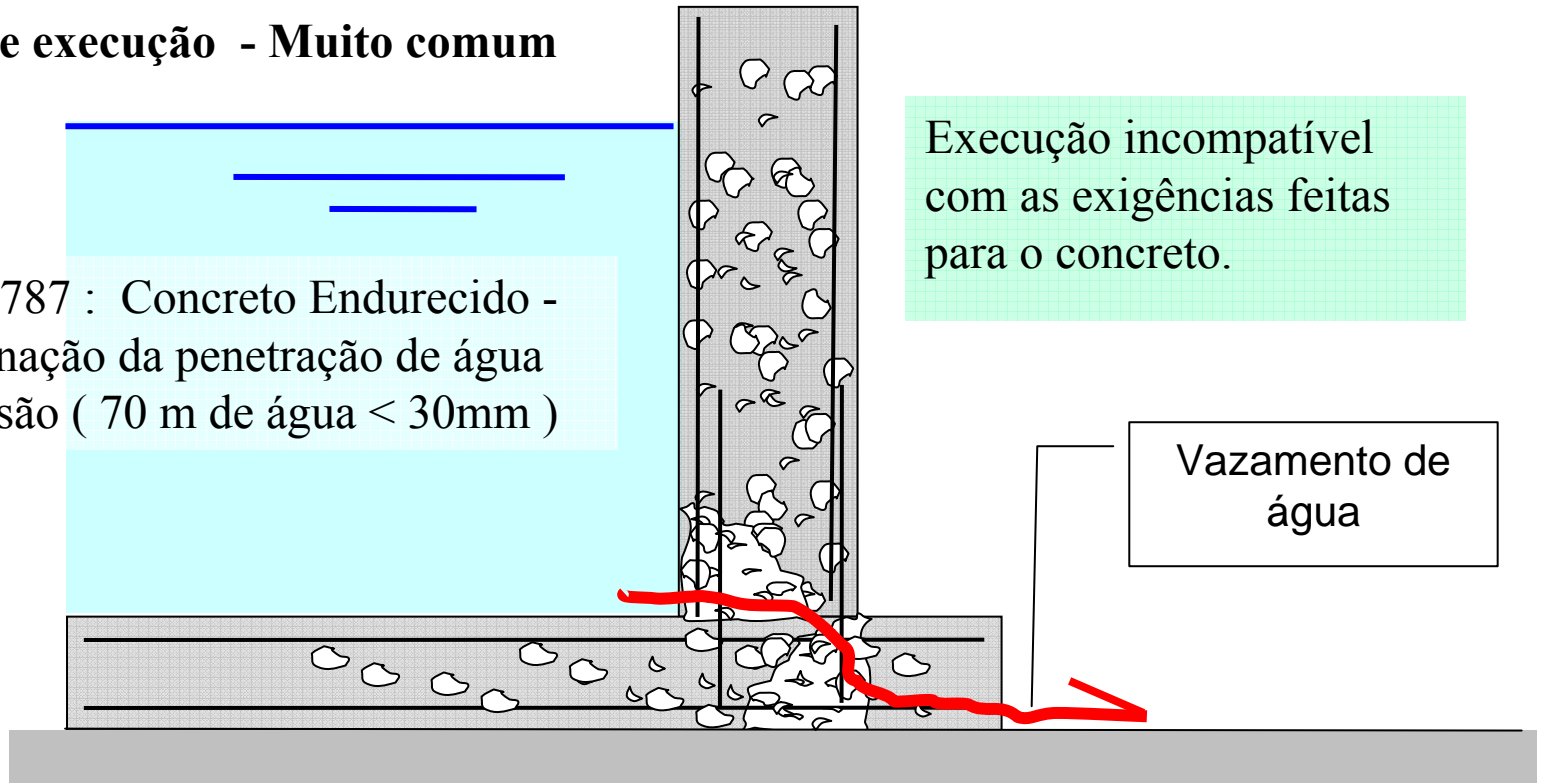


Erro de execução - Muito comum



Erro de execução - Muito comum

NBR-10787 : Concreto Endurecido -
Determinação da penetração de água
sob pressão (70 m de água < 30mm)



Execução incompatível
com as exigências feitas
para o concreto.

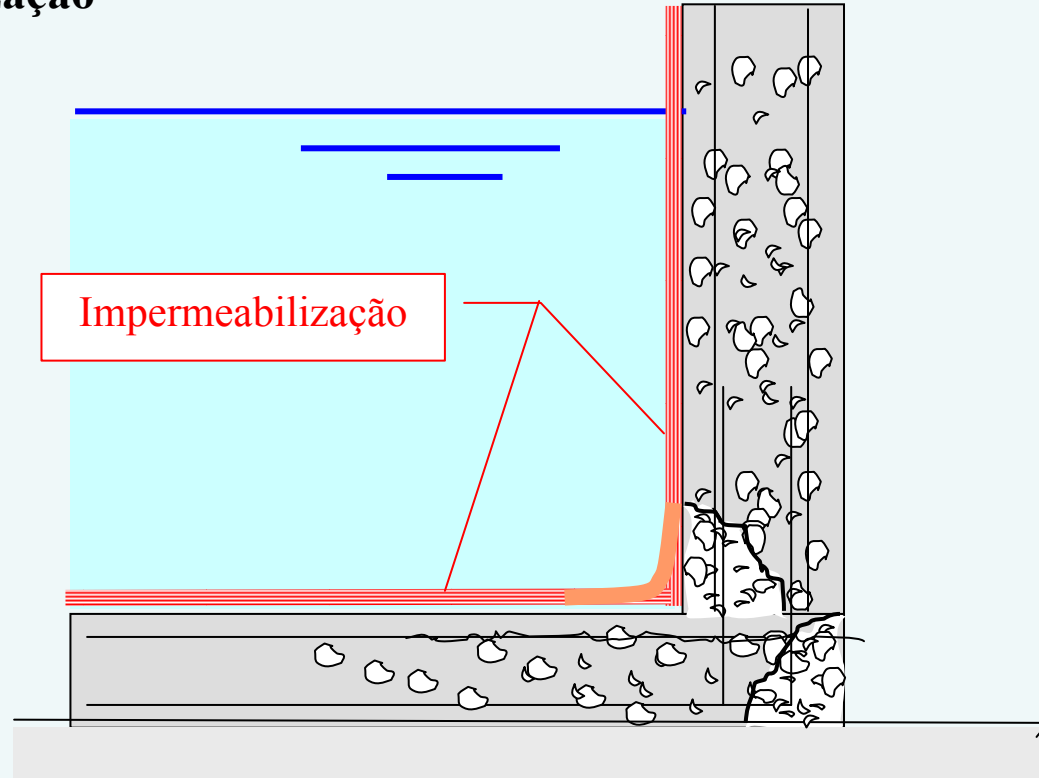
Vazamento de
água

Observação : A profundidade de penetração da água, no ensaio NBR 10787 / 94, em um bom concreto, deve ser < 30mm.

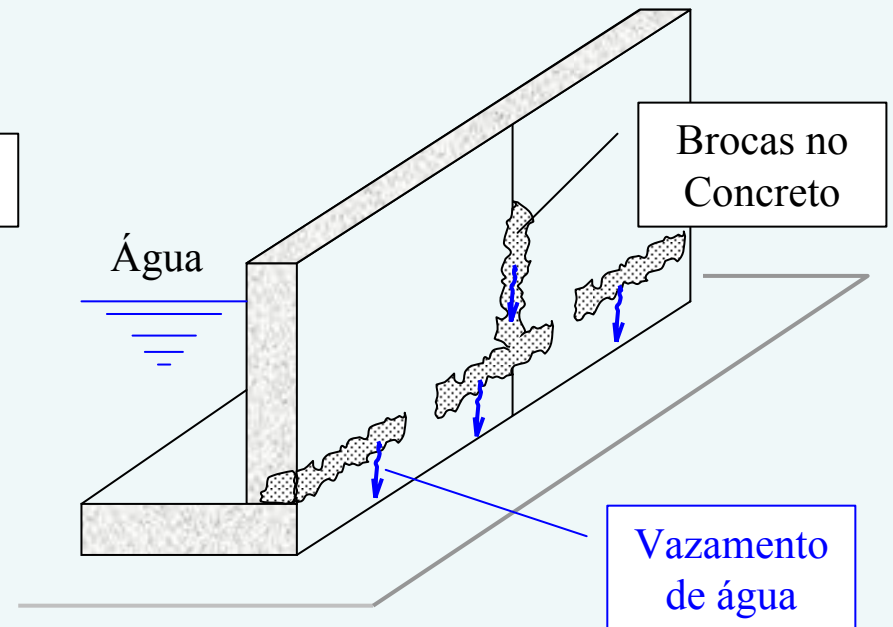
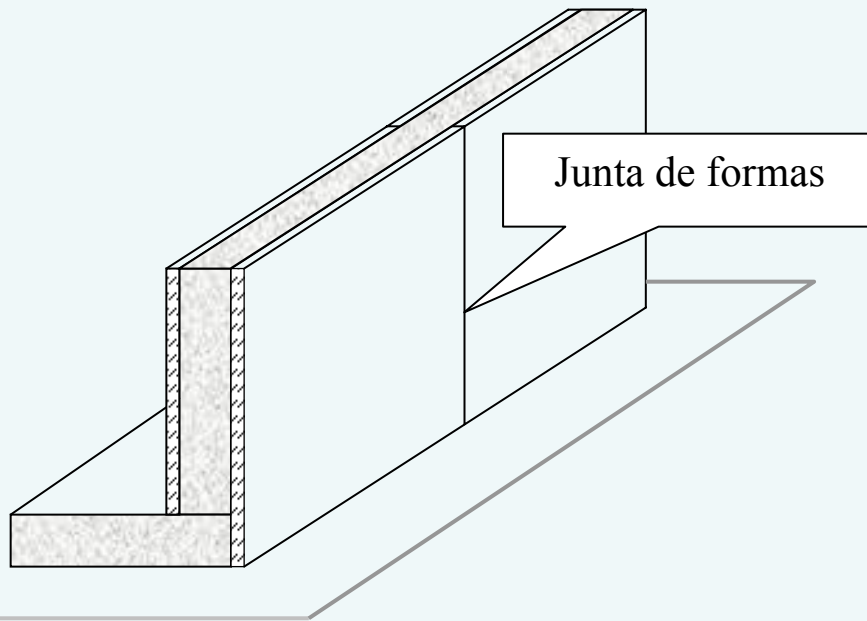
Em um concreto quase impermeável resulta uma penetração de água < 15mm.

Erro de execução - Muito comum

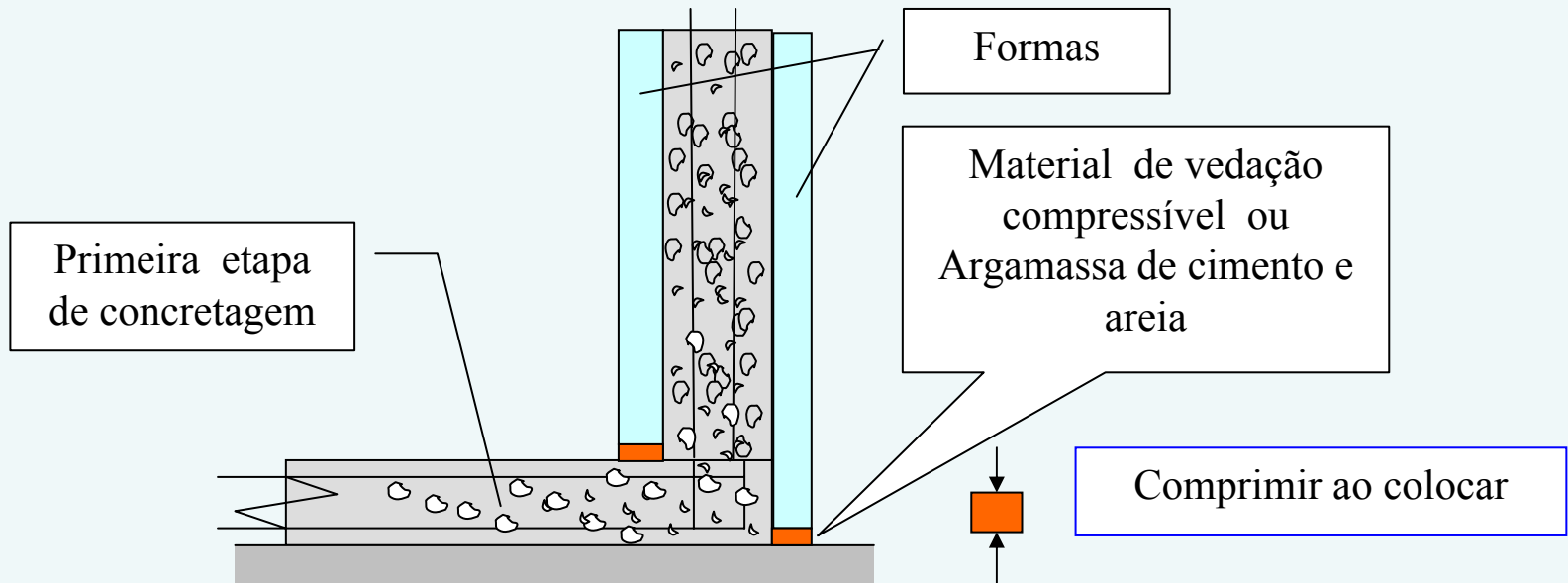
Resulta na necessidade do uso da impermeabilização



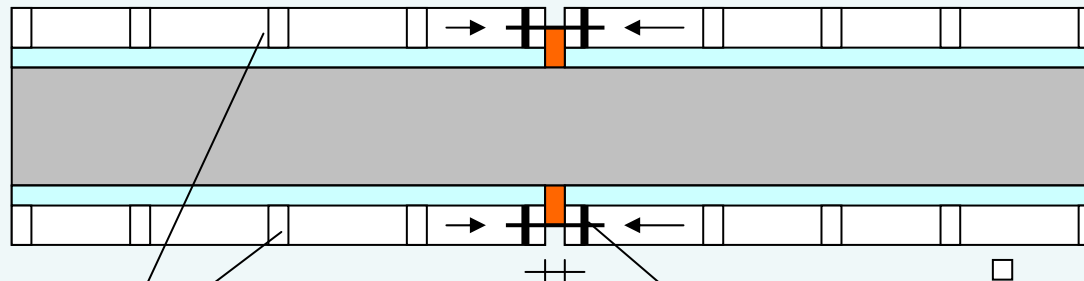
Erro de execução - Muito comum



Boa execução - Pouco comum



Boa execução - Pouco comum



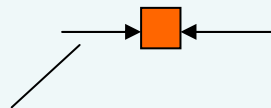
Em Planta

Formas

1 a 2 mm

Apertar a vedação com parafuso

Vedação : Comprimir antes de colocar



Tipo de poros no concreto

A porosidade do concreto é determinada, em grande parte, pela porosidade da matriz, visto que os agregados são pouco porosos. São rochas densas ou cristais sólidos como a sílica.

Na pasta endurecida de cimento, os tipos de poros são 3 :

1. Bolhas de ar.

2. Poros capilares

3. Poros no gel

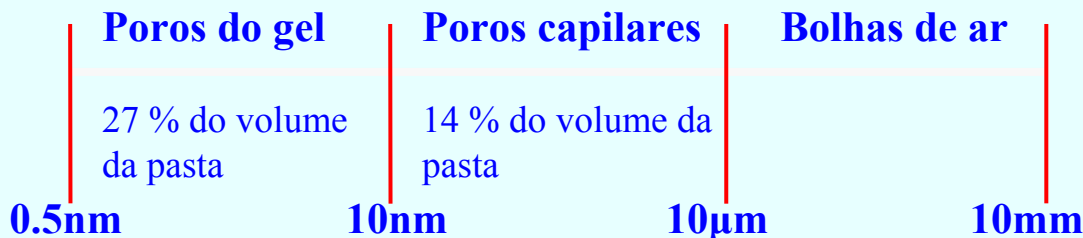
Poros do gel são vazios que ficam entre as partículas do gel e resultam do fato de que o volume total dos produtos da hidratação, C-S-H gel e cristais de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, é menor que o volume dos reagentes (cimento e água). Essa redução de volume dos materiais sólidos é conhecida como retração química. O tamanho dos poros do gel varia entre 0,5nm a 10nm, ocupa 27% do volume da pasta de cimento totalmente hidratado, com uma relação $a/c = 0,45$.

Poros capilares são vazios entre os grãos de cimento, que estavam inicialmente cheios de água e que depois foram parcialmente preenchidos por produtos da hidratação do cimento.

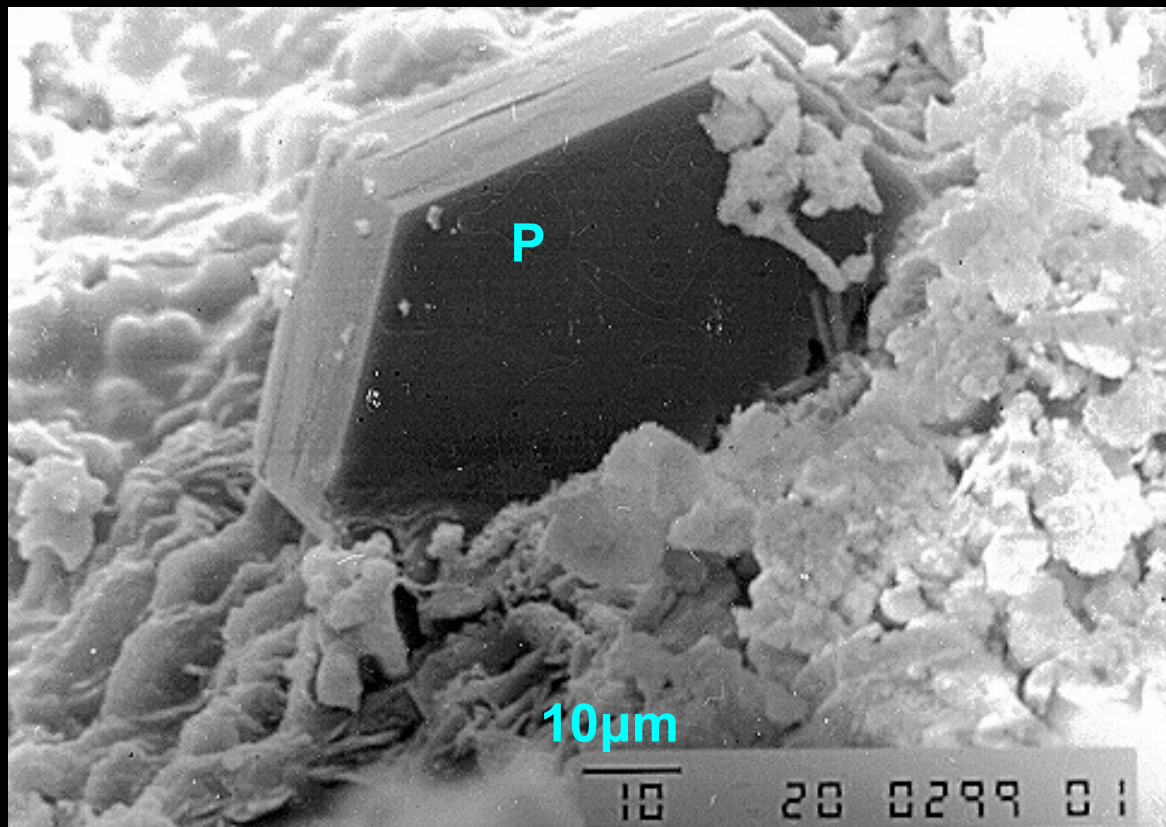
O volume dos poros capilares depende da relação água / cimento (a/c). Essa relação define qual a distância inicial entre os grãos do cimento .

O volume dos poros capilares depende do grau da hidratação que já ocorreu. O tamanhos dos poros capilares varia entre 10nm a 10 μm . Os poros capilares ocupam cerca de 14% do volume da pasta de cimento totalmente hidratada, com uma relação $a/c = 0,45$.

Bolhas de ar se formam durante a mistura do concreto fluido e pastoso e seu tamanho varia entre $\sim 10\mu\text{m}$ e $\sim 10\text{mm}$. Nos concretos usuais as bolhas de ar são pouco numerosas.



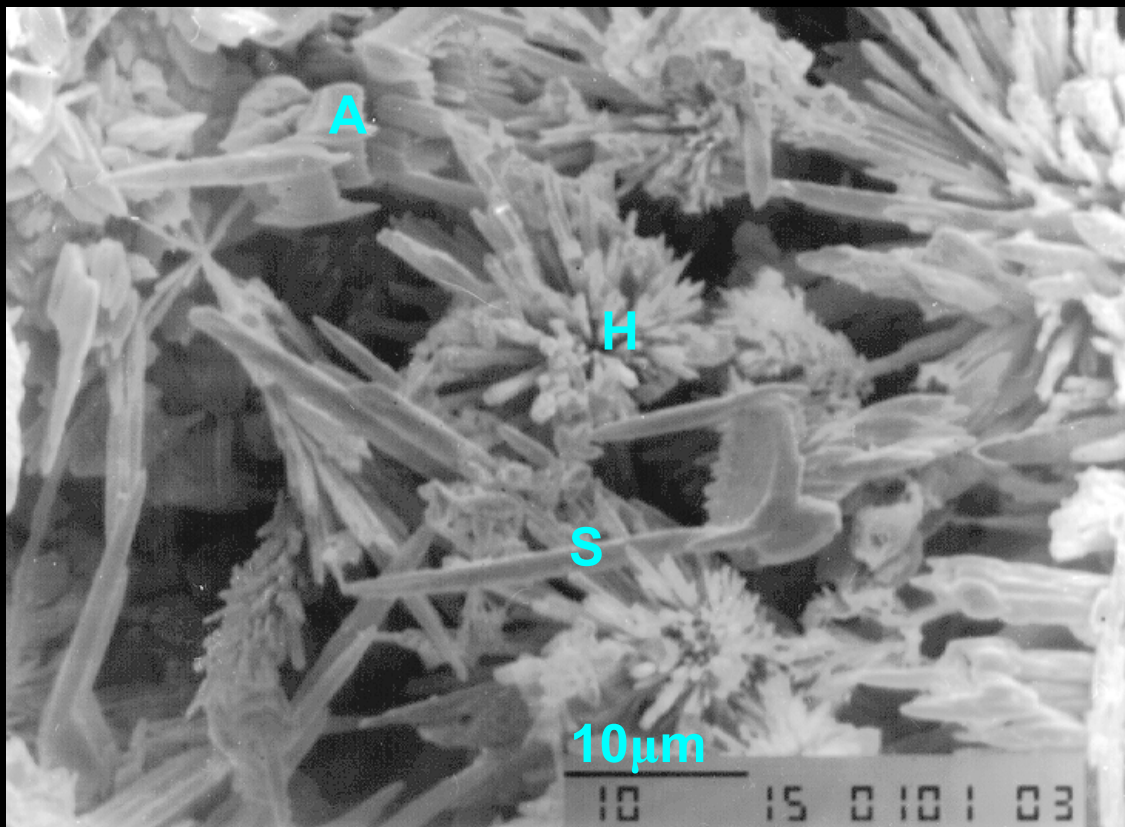
Poros capilares na pasta de cimento hidratado



Microestrutura do concreto - Largura do campo = $125\mu\text{m}$ - Aumento 2000 X
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = Portlandita Hexagonal (P) Idade 28 dias após a hidratação.

ABCP - Geóloga Silvia Vieira
Microscopia eletrônica de varredura.

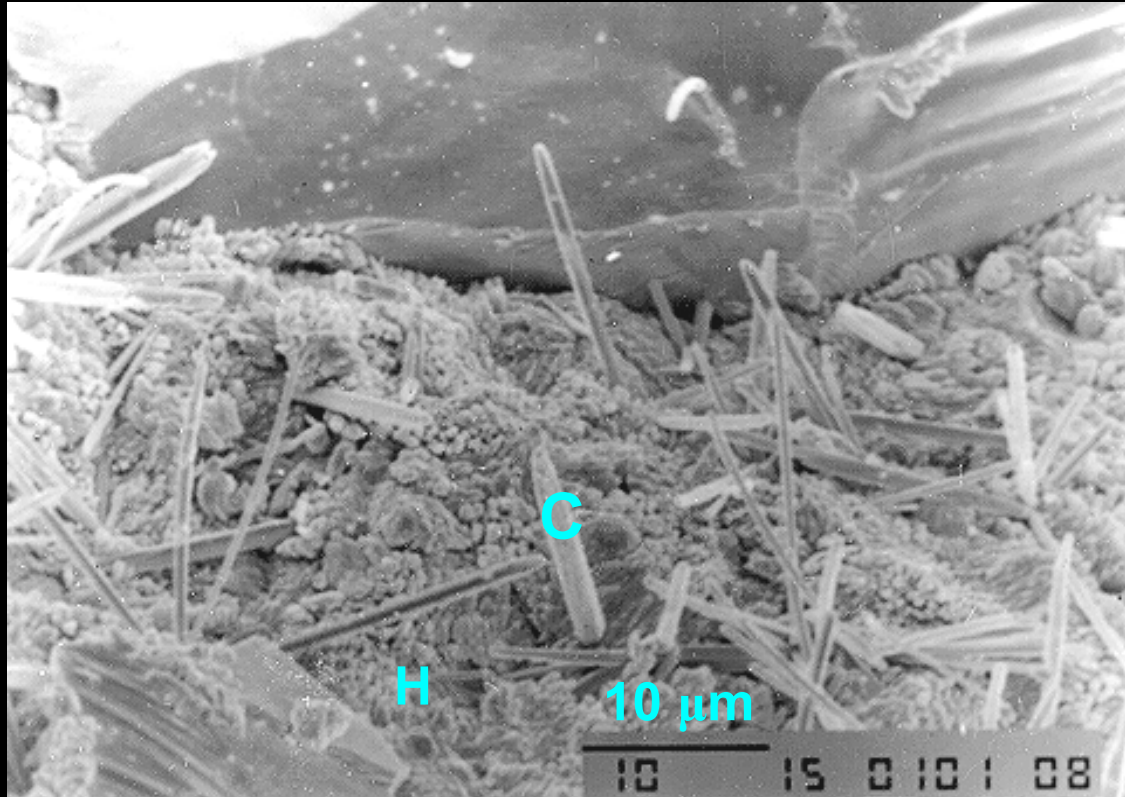
Poros capilares na pasta de cimento hidratado



Microestrutura do concreto - Largura do campo = $60\mu\text{m}$ - Aumento 2000 X
Cristais aciculares de C-S-H em tufo (H) e em agulhas (S), gerados pela decomposição da alita C3S (A). Idade : 1 dia após a hidratação.

ABCP - Geóloga Silvia Vieira
Microscopia eletrônica de varredura.

Poros capilares na pasta de cimento hidratado



Microestrutura do concreto - Largura do campo = $60\mu\text{m}$. Aumento 2000 X
Microestrutura densa definida por C-S-H do tipo III (H) e cristais cilíndricos (C)

Idade 28 dias após a hidratação. Notar a homogeneidade da pasta.

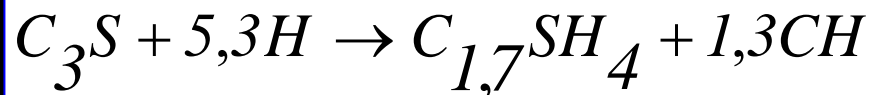
ABCP - Geóloga Silvia Vieira
Microscopia eletrônica de varredura.

Química do Cimento - Variação do Volume – Retração química

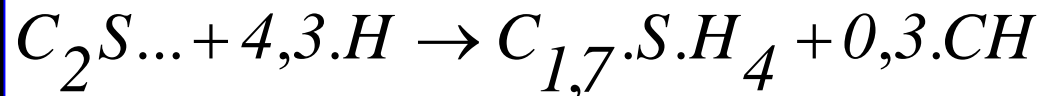
Na hidratação do cimento, o volume do produto final é menor que a soma dos volumes dos reagentes.

Dale P. Bentz - National Institute of Standards and Technology , Building and Fire Research Laboratory - J. Am. Ceram.Soc. 80 – 1997

Hidratação dos Silicatos de Cálcio



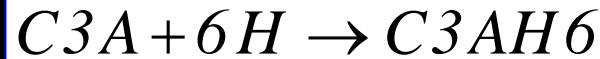
$$.1,00.....1,34.....1,521.....0,61. \leftarrow \Delta volume = -9 \%$$



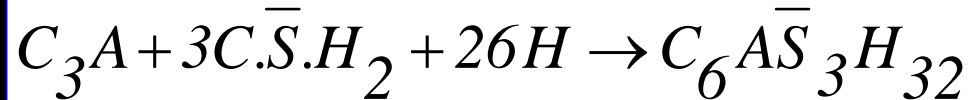
$$...1,00... + 1,49... \rightarrow ...2,077... + ...0,191 \leftarrow \Delta volume = -9 \%$$

Terminologia C = CaO , H = H2O , S = Si O2

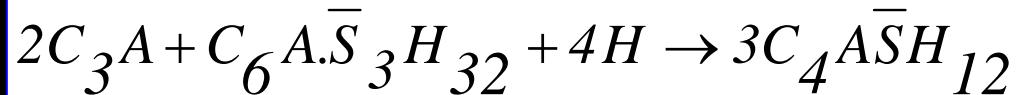
Hidratação dos aluminatos e da ferrita



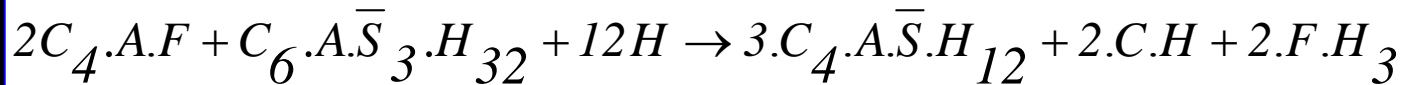
$$..1,00. + .1,21 \rightarrow 1,69. \leftarrow \Delta volume = -24 \%$$



$$..0,40.. + 1,00... + ..2,10.. \rightarrow ...3,30.. \leftarrow \Delta volume = -6 \%$$



$$0,2424 +1,00.....0,098 \rightarrow ...1,278 \leftarrow volume = -5\%$$

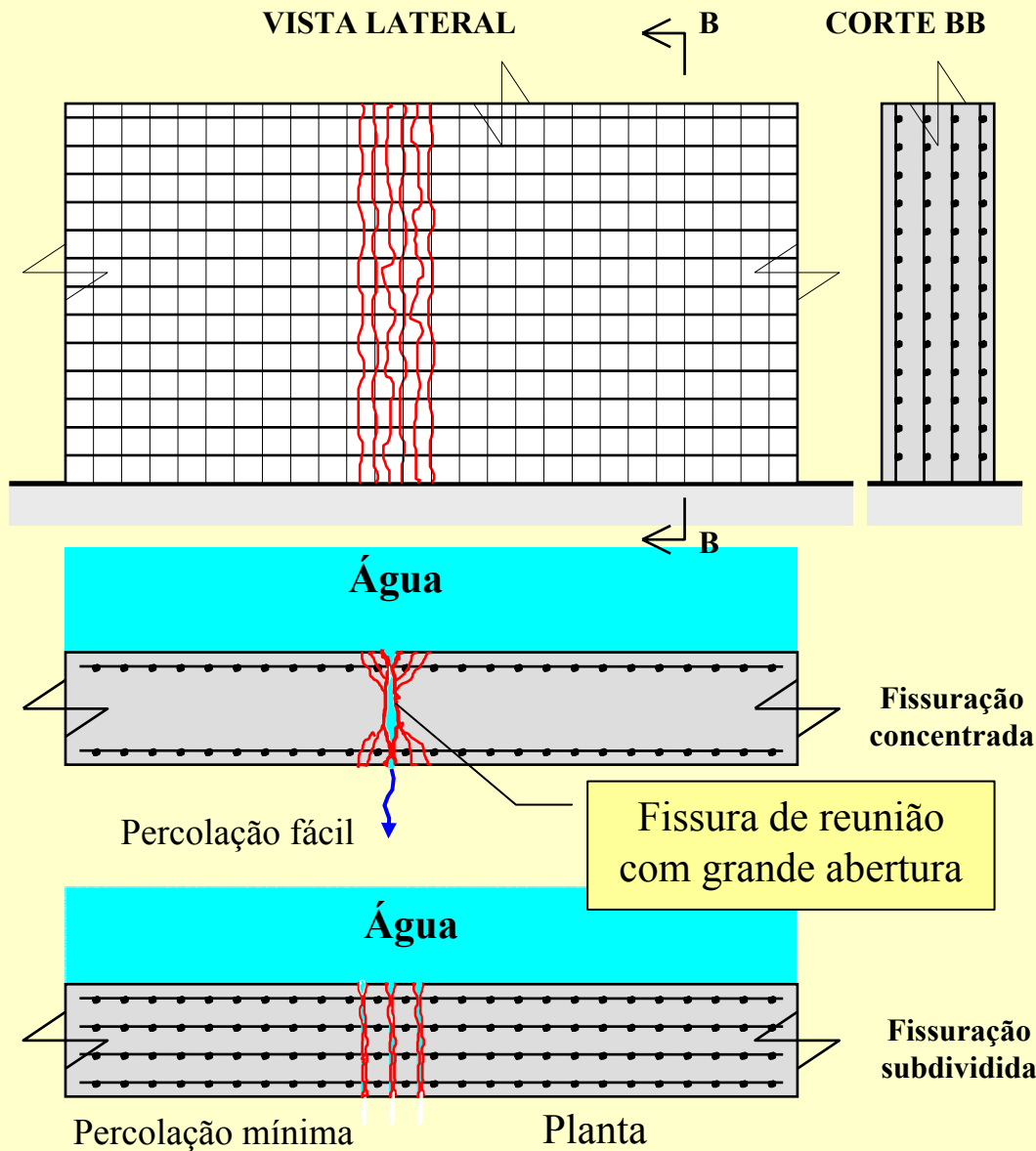


$$..0,348.... +1,00.... +0,294 \rightarrow ...1,278..... +0,09... + ..0,19 \leftarrow \Delta volume = -5\%$$

Terminologia C = CaO, H = H₂O, S = Si O₂, A = Al₂O₃,



Fissuração em paredes de reservatório



Sugestão Eduardo Thomaz :

Para evitar um forte vazamento de água na face externa do reservatório, causado pela fissura de "reunião", no interior da parede, **usar várias camadas de ferros horizontais longitudinais**