

Ingresso de gases e fluidos

mecanismos de transporte

- **Permeabilidade**
- **Capilaridade**
- **Difusibilidade**
- **Migração**
- **Convecção**

1

Permeabilidade do concreto à água

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$k_w = 10^{-(10+0.07*f_{ck})}$$

k_w = coeficiente de permeabilidade à água,
conforme lei de Darcy, em m/s

f_{ck} = resistência característica do concreto à
compressão aos 28 dias, em MPa

2

Permeabilidade do concreto ao O₂

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$k_g = 10^{-(14+0.05*f_{ck})}$$

k_g = coeficiente de permeabilidade ao gás oxigênio, em m²

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

3

Difusibilidade da água no concreto

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$D_w = \frac{10^{-8}}{f_{ck}}$$

D_w = coeficiente de difusão à água, em m²/s

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

4

Frente de Carbonatação

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$e_{CO_2,t} = 4 * \sqrt{10^{-(12,5+0,05*f_{ck})}} * \sqrt{t}$$

$e_{CO_2,t}$ = profundidade carbonatada em m

t = tempo de exposição ao CO_2 com HR = 65% ou idade do concreto em s

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

5

Difusibilidade de íons Cloreto

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$D_{Cl} = 10^{-10} \text{ para } \cdot CPI \& CII, f_{ck} = 20MPa$$

$$D_{Cl} = 3 * 10^{-11} \text{ para } \cdot CIII \& CIV, f_{ck} = 20MPa$$

$$D_{Cl} = 10^{-11} \text{ para } \cdot CPI \& CII, f_{ck} = 50MPa$$

$$D_{Cl} = 3 * 10^{-12} \text{ para } \cdot CIII \& CIV, f_{ck} = 50MPa$$

D_{Cl} = coeficiente de difusão de íons cloreto em m^2/s

6

Capilaridade à Água

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$w = 10^{-(4+0.02*f_{ck})} * \sqrt{t}$$

w_t = água absorvida em m^3/m^2

t = tempo de absorção de água em s

7

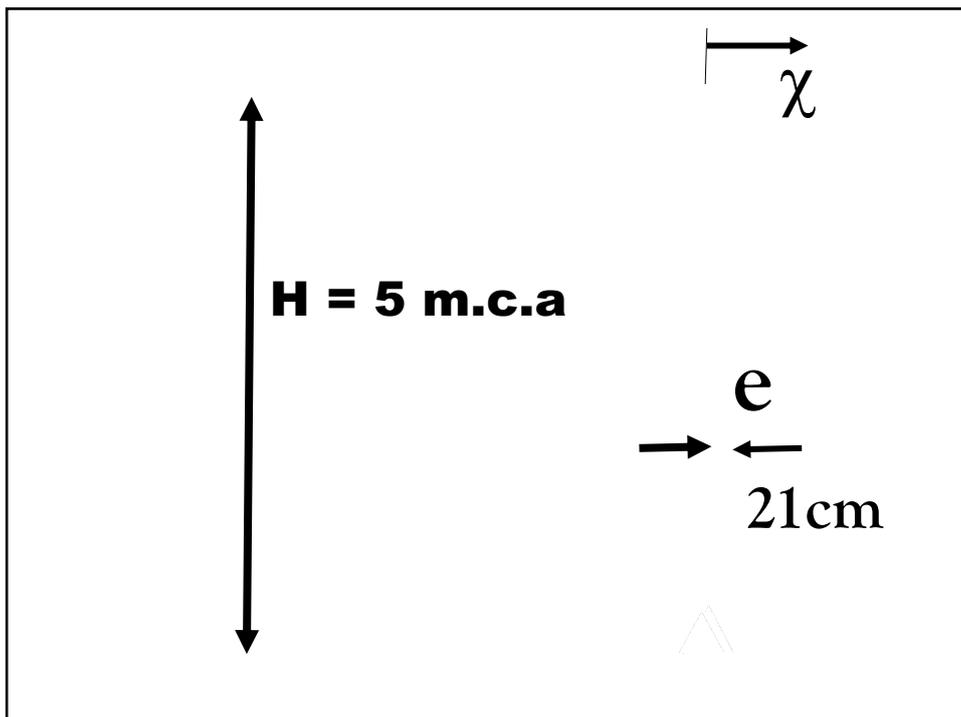
propriedade	20 MPa	50 MPa
coeficiente de permeabilidade à água k_w (cm/s)	$4*10^{-10}$	$3*10^{-12}$
coeficiente de permeabilidade a gás O_2 k_g (m^2)	$1*10^{-15}$	$3*10^{-17}$
carbonatação em 50 anos e_{CO_2} (mm)	52	2
coeficiente de difusão de cloretos D_{Cl} (m^2/s)	$1*10^{-10}$	$1*10^{-11}$
absorção capilar de água em 24h w (dm^3/m^2)	$40*10^{-5}$	$4*10^{-5}$

8



Permeabilidade ou Estanqueidade?

9



10

Lei de Darcy

*permeabilidade
(gradiente de pressão)*

$$V = \frac{Q}{S} = k_w \cdot \frac{H}{x}$$

V → velocidade de percolação de água em cm/s

Q → vazão de água em cm³/s

S → área da superfície confinada por onde percola a água em cm²

H → pressão da água de contacto em cm.c.a

x → espessura de concreto percolada pela água em cm

k_w → coeficiente de permeabilidade do concreto em cm/s

11

Lei de Darcy

*permeabilidade
(gradiente de pressão)*

$$V = \frac{Q}{S} = k \cdot \frac{H}{x} \quad \Rightarrow \quad \frac{dx}{dt} = \frac{k \cdot H}{x}$$

$$\Rightarrow \quad x dx = H \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow \quad \int_0^e x dx = \int_0^t H \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow \quad t = \frac{e^2}{2 \cdot H \cdot k}$$

12

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,75 \Rightarrow k = 10^{-9} \text{ cm/s}$$

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,45 \Rightarrow k = 10^{-11} \text{ cm/s}$$

$$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,35 \Rightarrow k = 10^{-13} \text{ cm/s}$$

13

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$t = \frac{e^2}{2 \cdot H \cdot k_w}$$

$$H \rightarrow 5 \text{ m.c.a}$$

$$e \rightarrow 21 \text{ cm}$$

$$k_w \rightarrow 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} \text{ m/s}$$

14

Concreto

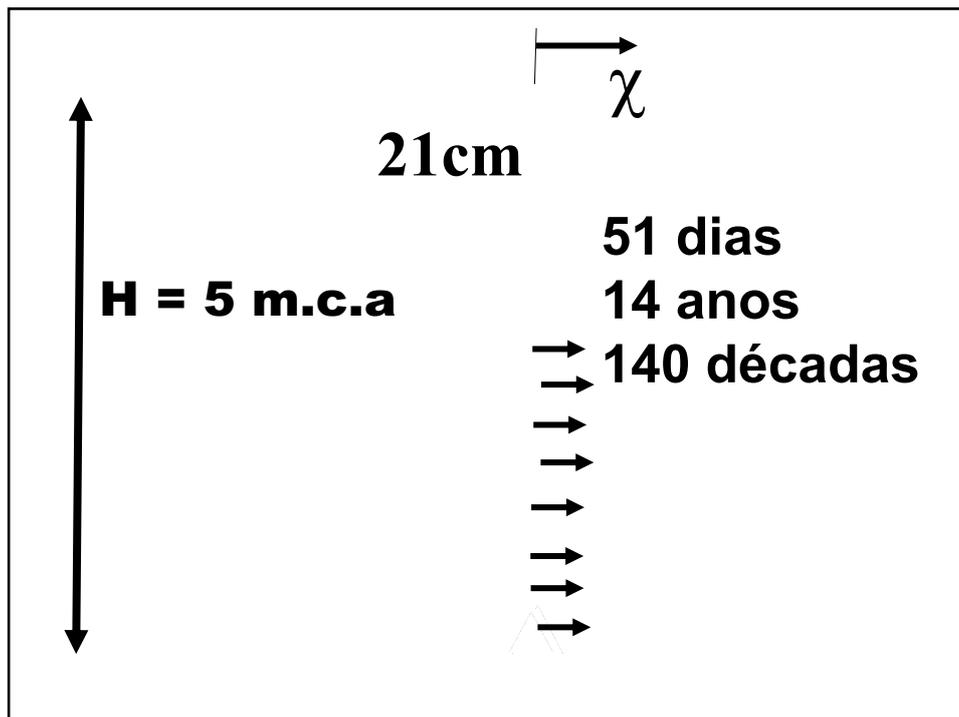
(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$f_{ck} = 20\text{MPa} \rightarrow t = 51 \text{ dias}$$

$$f_{ck} = 40\text{MPa} \rightarrow t = 14 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 60\text{MPa} \rightarrow t = 140 \text{ décadas}$$

15



16

CONCRETO é “impermeável”

difícil → estanqueidade

**pois independe do
material e depende 100%
do projetista e 100% da
CONSTRUTORA**

17



18



19