

Instituto Brasileiro do Concreto

JOINT CONFERENCE

American Concrete Institute



Concrete — A Century of Innovation

**IBRACON**

Celebrating 100 years of the American Concrete Institute

# **Vida Útil das Estruturas de Concreto Service Life of Concrete Structures NBR 6118 versus ACI 318**

**Eng. Paulo Helene**

*IBRACON President*

*MSc. PhD. Full Professor of Universidade de São Paulo PCC.USP*

*Chairman of Red REHABILITAR CYTED*

1

## **Vida Útil das Estruturas de Concreto Service Life of Concrete Structures NBR 6118 versus ACI 318**

Definição de vida útil

Mecanismos de envelhecimento

Agressividade ambiental

Critérios de projeto

Módulo de elasticidade

Fissuração

Flechas

Aplicação

Service life

Aging

Aggressiveness

Design criteria

Modulus of elasticity

Cracking

Deflection

Example

2

*Vida útil*  
*Service life*

3

**NBR 6118**      **definição da vida útil**  
   **seção 6.2+comentários**

Vida útil de projeto é o período de tempo durante o qual são mantidas as características adotadas para projeto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção especificados no projeto.

4

**ACI 318**  
ACI365.1R

**service life**  
**ACI 365.1R Chapter 1**

**Service life** is the period of time after concrete placement during which all the properties exceed the minimum acceptable values when routinely maintained.

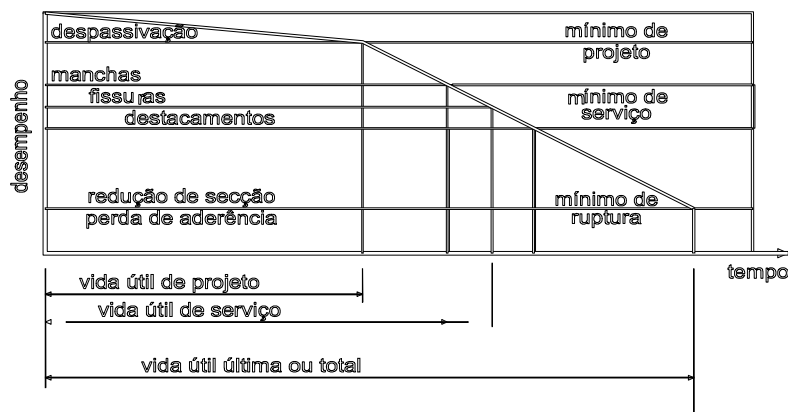
Three types of service life have been defined;

1. Technical service life is the time in service until a defined unacceptable state is reached, such as spalling of concrete;
2. Functional service life is the time in service until the structure needs change in functional requirements;
3. Economic service life is the time in service until replacement of the structure (or part of it) is economically more advantageous than keeping it in service.

5

**NBR 6118**

**ACI 318**



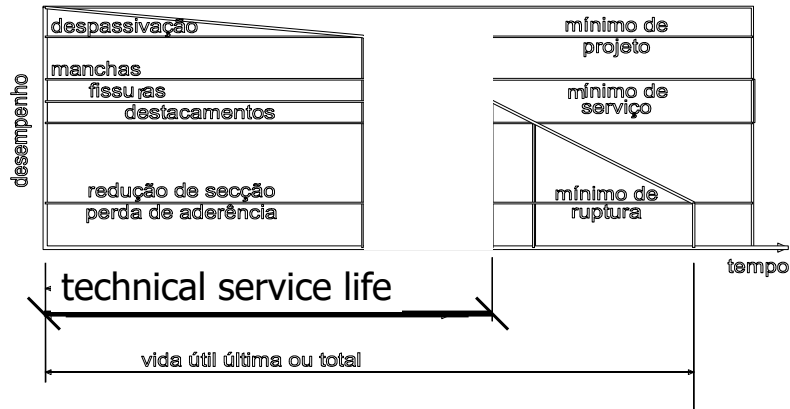
**$t \geq ???$  anos**

6

**NBR 6118**

**ACI 318**  
**ACI 365-1R**

6 years



**$t \geq ???$  years**

7

*Envelhecimento*  
*Aging*

8

**NBR 6118**

**envelhecimento  
secção 6.3**

**Relativos ao concreto**

- **lixiviação** (ácidos, poluição, chuvas)
- **expansão** (álcali-agregado, sulfatos, óxidos)
- **contaminantes** (pirita, óxidos ferrosos)

**Relativos à armadura**

- **carbonatação**
- **cloretos**

9

**ACI 318**

**aging**  
chapter 4 Durability Requirements

**Related to concrete**

- **sulfate**
- **freezing and thawing**

**Related to reinforcement**

- **chlorides**

10

## **NBR 6118**

1. Ácidos
2. Poluição
3. Chuvas ácidas
4. Sulfatos
5. Álcali-agregado
6. Óxidos
7. Pirita
8. Oxidos ferrosos
  
9. Carbonatação
10. Cloretos

## **ACI 318**

1. Freezing
  
2. Sulfates
  
3. Chlorides

11

## *Classes de Agressividade* *Aggressiveness*

12

Norma		Classe de Agressividade*			
		<i>Fraca</i>	<i>Moderada</i>	<i>Forte</i>	<i>Muito forte</i>
		I	II	III	IV
NBR 6118		Rural / Submerso	Urbana	Marinha / Industrial	Industrial / Respingos de Maré
micro clima		<b>ambiente externo úmido</b>	<b>ambiente interno seco</b>	<b>ambiente interno seco</b>	<b>ambiente interno seco</b>

13

ACI 318		aggressiveness	
		Chapter 4	
SPECIAL EXPOSURE CONDITIONS			
Exposure Condition			
concrete intended to have low permeability when exposed to water			
freezing and thawing or deicing chemicals			
corrosion protection of reinforcement – deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater or spray from these sources			
sulfate exposure			

14

# *Concreto*

# *Concrete*

15

## **NBR 6118**

## **critérios de projeto**

## **concreto**

## **seção 7.4**

Tabela 7.1

Concreto	Classe de agressividade			
	I	II	III	IV
Relação a/c	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe de Concreto	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

16



# ACI 318

# design criteria concrete

Table 4.2.2 Requirements for Special Exposure Conditions

Exposure Condition	Maximum w/c	Minimum $f'_c$ (MPa)
Concrete intended to have low permeability when exposed to water	0,50	28
freezing and thawing or deicing chemicals	0.45	31
corrosion protection of reinforcement – deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater or spray from these sources	0.50	35

17

*Cobrimento*  
*Concrete cover*

18

**NBR 6118****critérios de projeto  
cobrimento  
seção 7.4**

Tabela 7.2

Elemento	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga/Pilar	25	30	40	50

19

**ACI 318****design criteria  
concrete cover  
sections 7.7.1, 7.7.5**

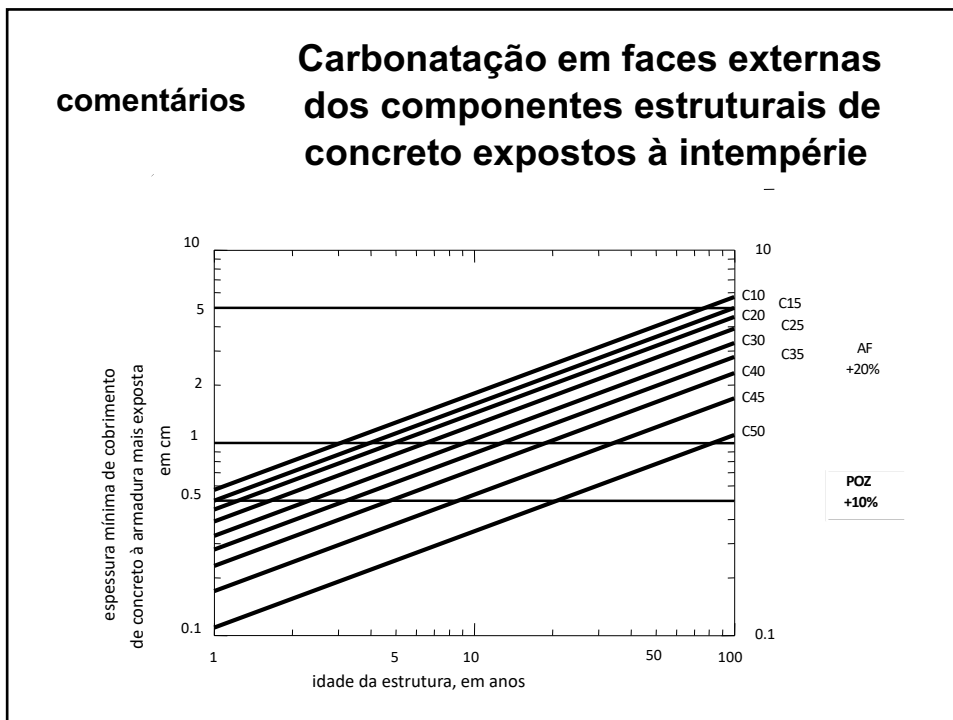
Member	Environmental conditions		
	Not exposed to earth or weather	Exposed to earth or weather	Severe environments
	Nominal concrete cover (mm)		
Slabs	20	40	50
Beams Columns	40	50	60

20

**Parâmetros de Durabilidade para Resistir “Splash Zone”**

a/cm W/Cm	kg / kg	<b>NBR 6118</b> <b>≤ 0,45</b>	<b>ACI 318</b> <b>≤ 0,50</b>
Consumo cimento Cement content	kg / m <sup>3</sup>	<b>no</b>	<b>no</b>
f <sub>ck</sub> f' <sub>c</sub>	MPa	<b>≥ 40</b>	<b>≥ 35</b>
Cobrimento Concrete cover	mm	<b>laje 45</b> <b>viga/pilar 50</b>	<b>laje 50</b> <b>viga/pilar 60</b>
Cloretos Chlorides	kg / kg <sub>c</sub>	<b>no</b>	<b>0,15%</b>

21



22

# *Fissuração*

## *Cracking*

23

**NBR 6118**

**critérios de projeto  
abertura de fissura  
seção 7.6+13.4.2**

**Tabela 13.3**

<b>Classe de Agressividade e Ambiental</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Abertura máxima <math>w_k</math> (mm)</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>

24

## ACI 318

## design criteria maximum crack width

O código não apresenta nenhuma informação a respeito do cálculo das aberturas estimadas de fissuras

25

## NBR 6118

## critérios de projeto estimativa da abertura de fissura secção 17.3.3.2

$$w_k = \min(w_1, w_2)$$

$$w_1 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_2 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

$A_{cri}$  é a área da região de envolvimento protegida pela barra  $\phi_i$

$E_{si}$  é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro  $\phi_i$

$\phi_i$  é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada

$\rho_{ri}$  é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente em relação à área da região de envolvimento ( $A_{cri}$ )

$\sigma_{si}$  é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II

26

## NBR 6118

## critérios de projeto estimativa da abertura de fissura secção 17.3.3.2

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

### 8.2.5 resistência à tração

- Para tensões baixas no aço  $\sigma_{si} < 130$  MPa  $w_k$  é diretamente proporcional a  $\phi$  e ao quadrado de  $\sigma_{si}$  e inversamente proporcional a  $f_{ck}$
- Para tensões altas no aço  $\sigma_{si} > 130$  MPa  $w_k$  é diretamente proporcional a  $\phi$ ,  $\sigma_{si}$  e distância entre barras

27

## ACI 318

## design criteria cracking control section 10.6.4

Equation 10.6.4 results on acceptable crack widths

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2.5C_c$$

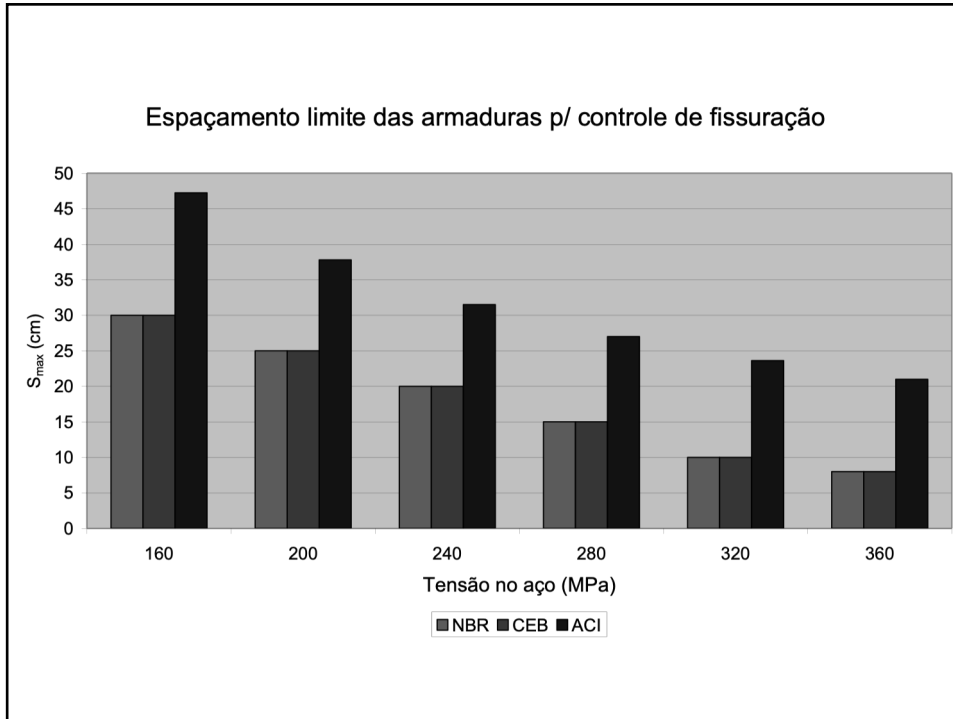
S=spacing of the reinforcement closest to a surface in tension (mm)

f<sub>s</sub>=steel stress (MPa)

C<sub>c</sub>=concrete cover (mm)

Obs.: very aggressive environments shall need special considerations

28



29

*Flechas máximas*  
*Deflections*

30

## Flechas

- **NBR 6118/03:**
  - Caso geral:  $l/250$
  - Caso especial:  $l/350$
  
- **ACI 318-02:**
  - Caso geral:  $l/240$
  - Caso específico:  $l/480$
  - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural

31

## ACI 318      Relação vão/altura

**TABLE 9.5(a)—MINIMUM THICKNESS OF NONPRESTRESSED BEAMS OR ONE-WAY SLABS UNLESS DEFLECTIONS ARE COMPUTED**

Member	Minimum thickness, $h$			
	Simply supported	One end continuous	Both ends continuous	Cantilever
	Members not supporting or attached to partitions or other construction likely to be damaged by large deflections.			
Solid one-way slabs	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Beams or ribbed one-way slabs	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

\* Span length  $l$  is in millimeters.

Values given shall be used directly for members with normal weight concrete ( $w_c = 2300 \text{ kg/m}^3$ ) and Grade 420 reinforcement. For other conditions, the values shall be modified as follows:

a) For structural lightweight concrete having unit weight in the range  $1500\text{--}2000 \text{ kg/m}^3$ , the values shall be multiplied by  $(1.65 - 0.0003 w_c)$  but not less than 1.09, where  $w_c$  is the unit weight in  $\text{kg/m}^3$ .

b) For  $f_y$  other than 420 MPa, the values shall be multiplied by  $(0.4 + f_y/700)$ .

32

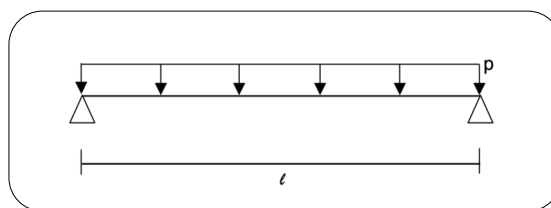


## Aplicação

Comparação de duas vigas de concreto armado situadas num ambiente marinho, correspondente à Classe de Agressividade Ambiental 3 da NBR-6118, e à região com risco de corrosão segundo o ACI 318-02.

33

## Cenário



- Trata-se de uma viga simplesmente apoiada situada em ambiente marinho submetida ao seguinte carregamento:
  - Carregamento permanente: 5 kN/m (DL)
  - Carregamento acidental: 4,5 kN/m (LL)

34

## Parâmetros iniciais

$b = 25,4 \text{ cm}$  (adotado)

Momento =  $173 \text{ kN.m}$

$h = ???$

Armadura = ????

**Aço CA-50 para NBR 6118**

**Aço CA-42 para ACI 318**

35

## Exigência das Normas

### **ACI 318 – 02**

*Para splash zone*

- Cobrimento\*:
- $60 \text{ mm}$  R.7.7.5
- Classe de concreto:  
 $f'_c = 35 \text{ MPa}$  4.2.2

### **NBR 6118 – 03**

*Para maré*

- Cobrimento:
- $50 \text{ mm}$
- Classe de concreto:  
 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

36

## Exigência das Normas

### **ACI 318 – 02**

$$(f'_c):$$

$$f_{cr} = f'_c + 1,34s$$

$$f_{cr} = f'_c + 2,33s - 3,45$$

(5.3.2.1)

Módulo de elasticidade

$$E = 4700 * f'_c{}^{1/2}$$

$$E = 27,8 \text{ GPa}$$

### **NBR 6118 – 03**

$$f_{ck}:$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65s$$

(NBR-12655 5.5.3.2.1)

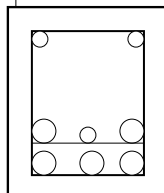
Módulo de elasticidade

$$E = 4760 * f_{ck}{}^{1/2}$$

$$E = 26,1 \text{ GPa}$$

37

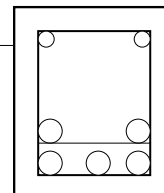
## Dimensionamento



Aço = + 12%

C1 = 0%

C2 = - 10%



### **ACI 318-02**

h = 36 cm

armadura

5  $\phi$  20mm + 1  $\phi$  16mm

Satisfaz flecha / fluência

### **NBR 6118/04**

h = 36 cm

h = 40 cm (utilidade)

armadura

5  $\phi$  20mm

Satisfaz flecha / fluência

38

# Dimensionamento Vida Útil

35 MPa



6 cm

# ACI 318

40 MPa



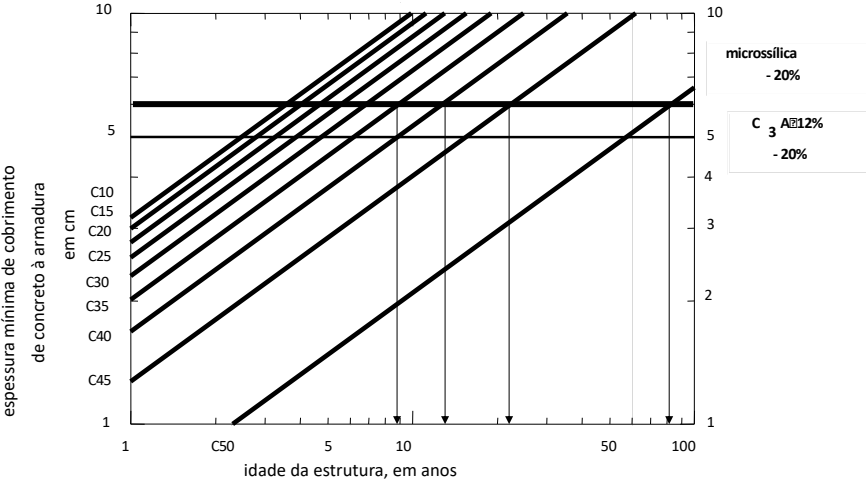
5 cm

# NBR 6118

39

## comentários

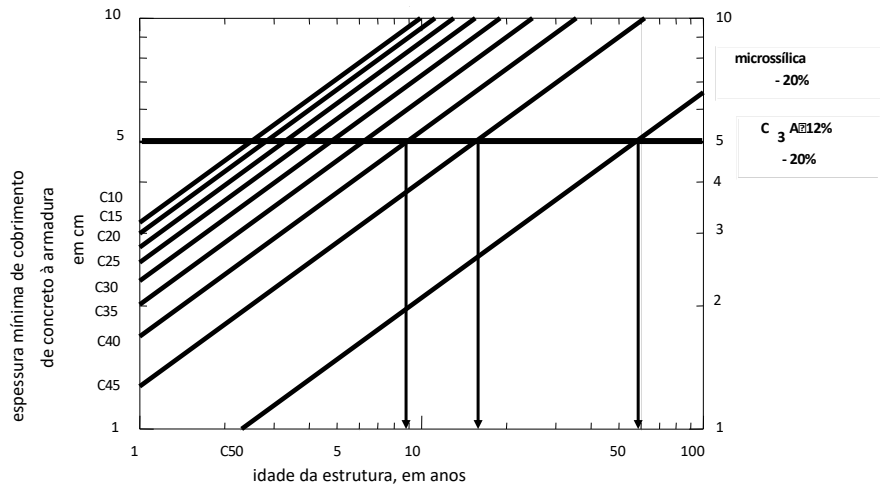
Difusão de cloretos em faces externas de componentes estruturais de concreto expostos à zona de respingos de maré



40

## comentários

Difusão de cloretos em faces externas de componentes estruturais de concreto expostos à zona de respingos de maré



41

## DURABILIDADE vs ECONOMIA

Lajes e vigas → 80% do concreto

→ C = 10% → Aço = 12%

→ Custo final

→ C = 8%

→ Aço = 9,6%

42