

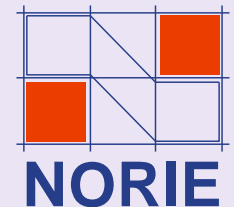


**53<sup>o</sup>** CONGRESSO BRASILEIRO DO  
**CONCRETO**

**IBRACON 2011**

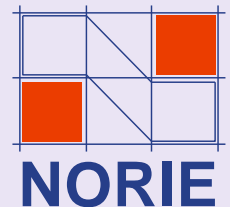
# **DURABILIDADE DO CONCRETO E SUSTENTABILIDADE**

*Denise Dal Molin*



# PROJETO DE UM EDIFÍCIO SUSTENTÁVEL

- Ser viável economicamente para os investidores.
- Satisfazer as necessidades dos usuários.
- Ser projetado e construído com tecnologia que reduza o impacto ao meio ambiente e o trabalho degradante do ser humano.
- Consumir o mínimo de recursos naturais em sua construção e principalmente em sua operação.
- Baixa geração de resíduos.
- **Ter qualidade e durabilidade.**
- Condições de ser reutilizado.



**Preço**

**Percepção do imóvel pelo cliente**

**Que edifício interessante!!!!**



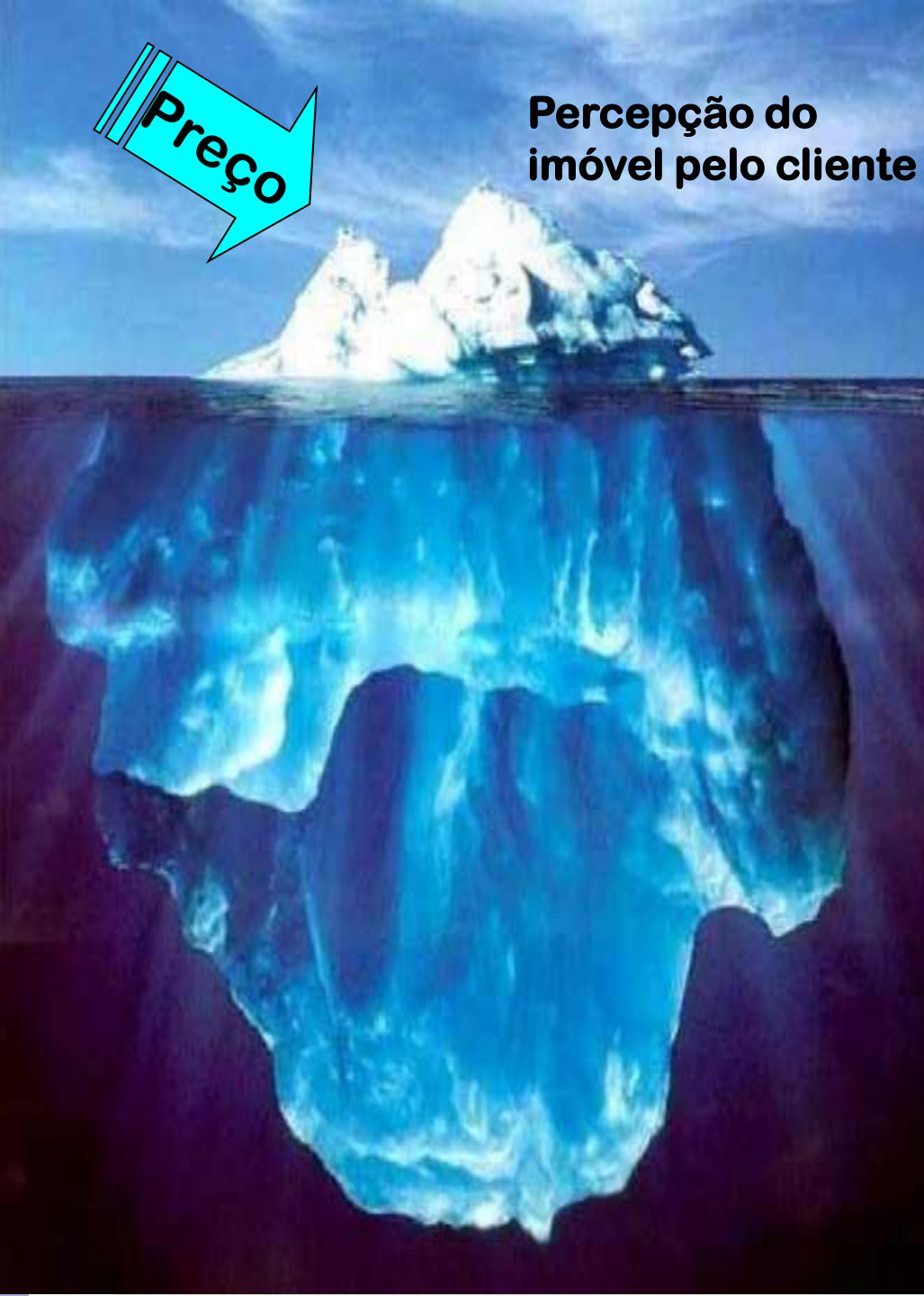
**CLIENTE**

**Custo de operação**  
**Custo de manutenção**  
**Custo de reparos, recuperações e reforços**  
**Passivo ambiental**  
**Custo de reutilização**

(adaptado de Ceotto, 2007)

**Preço**

Percepção do imóvel pelo cliente



**Que edifício interessante!!!!**



## CLIENTE

- Custo de operação
- Custo de manutenção
- Custo de reparos, recuperações e reformas
- Prejuízo ambiental
- Custo de utilização

**Custo para o cliente e toda a sociedade**

# Museu Iberê Camargo - Porto Alegre



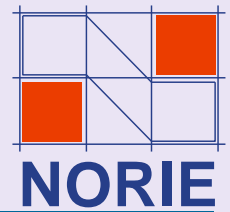
# Museu Iberê Camargo - Porto Alegre





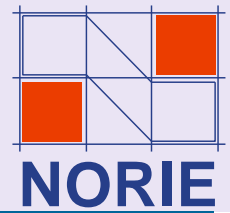
Ciudad de las artes y la ciencia  
Calatrava  
Valência - Espanha





**NORIE**

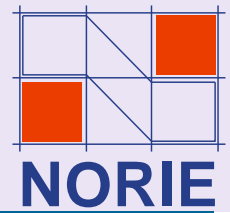




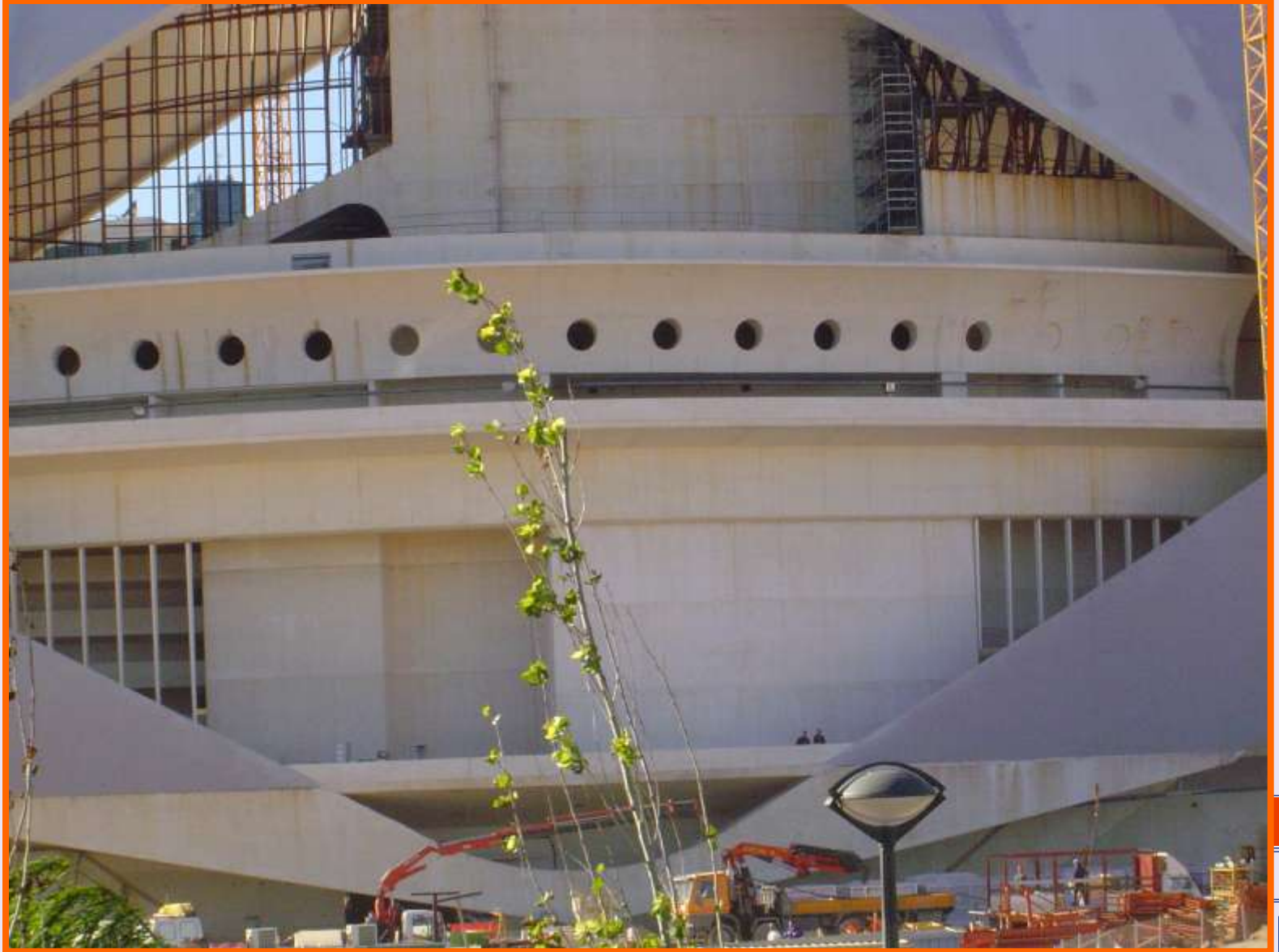
**NORIE**



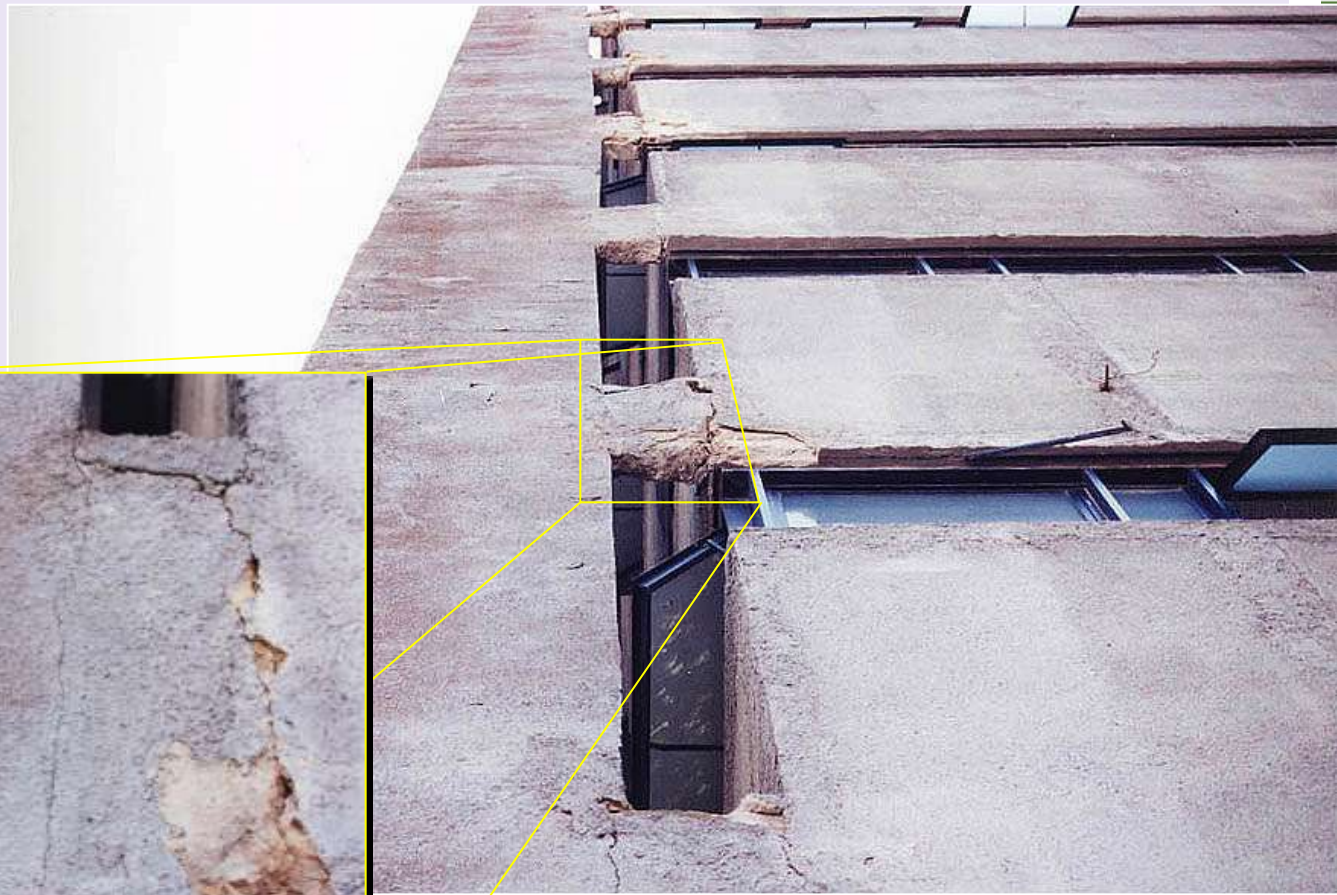




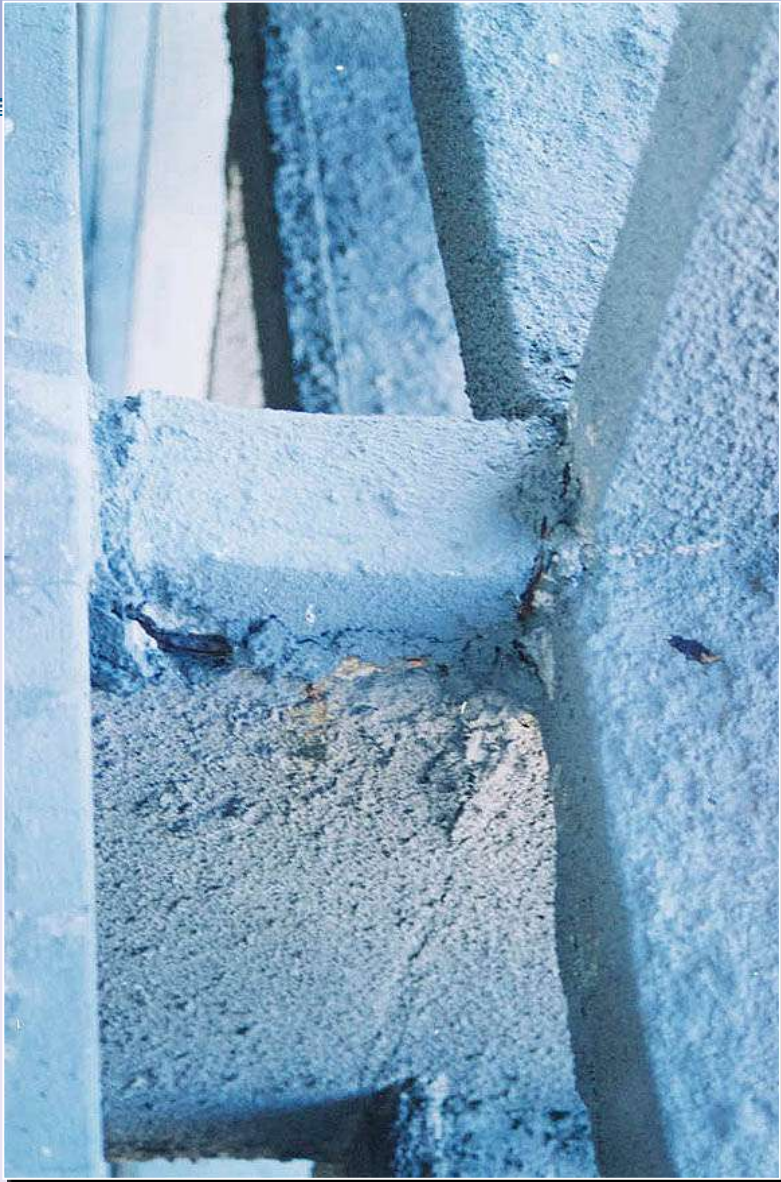


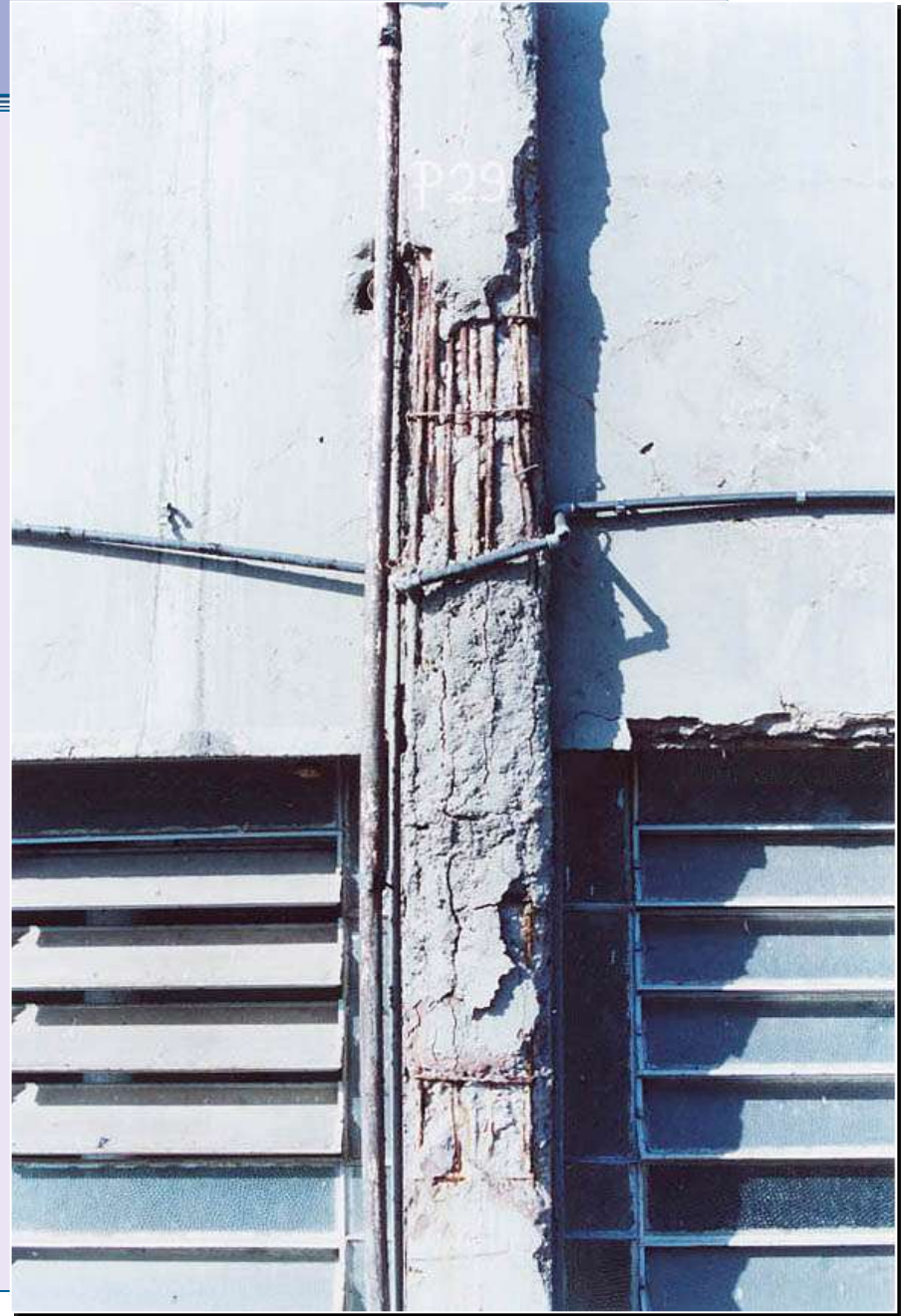
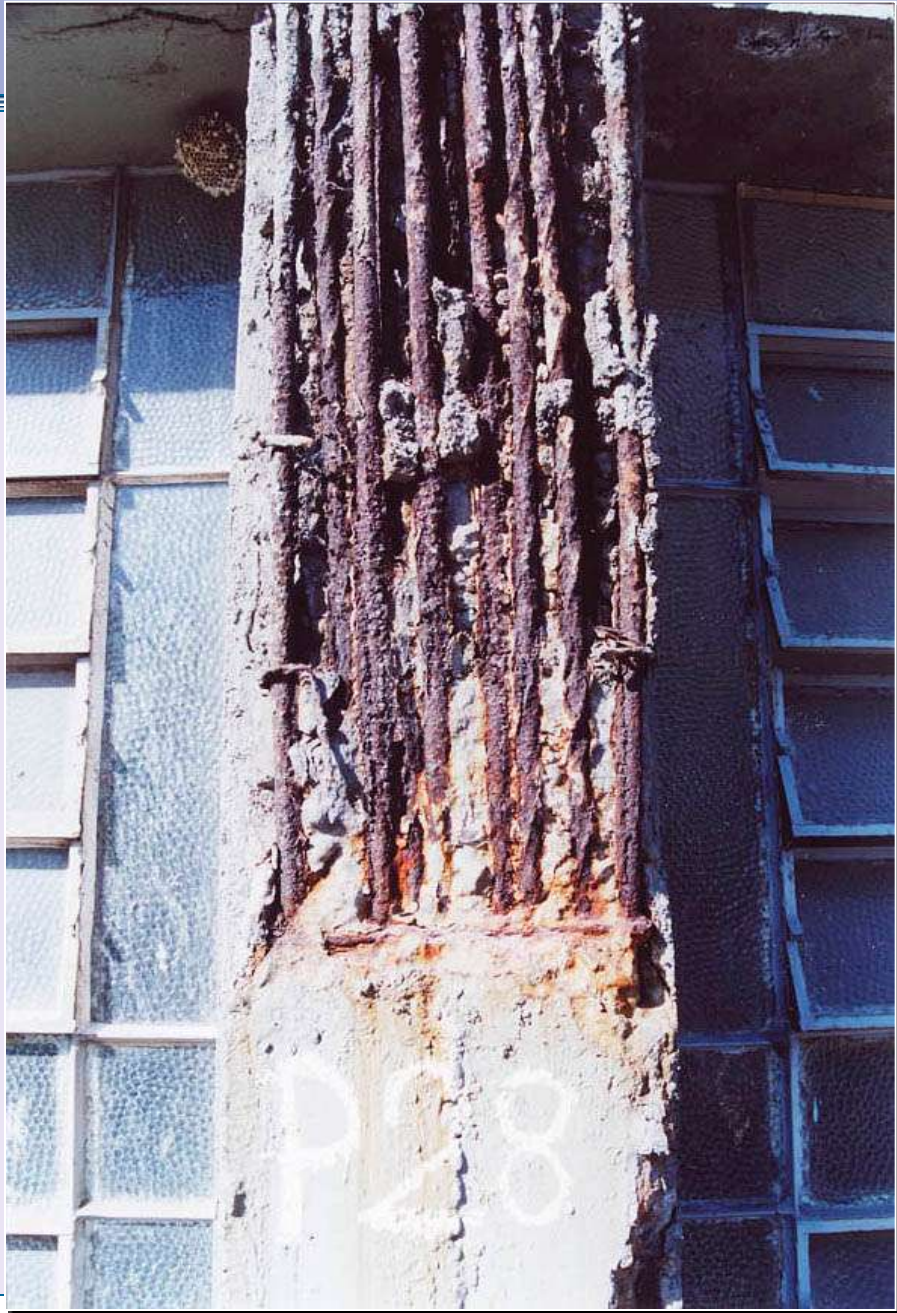








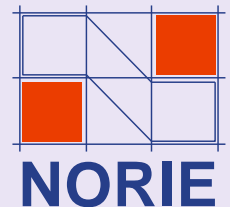


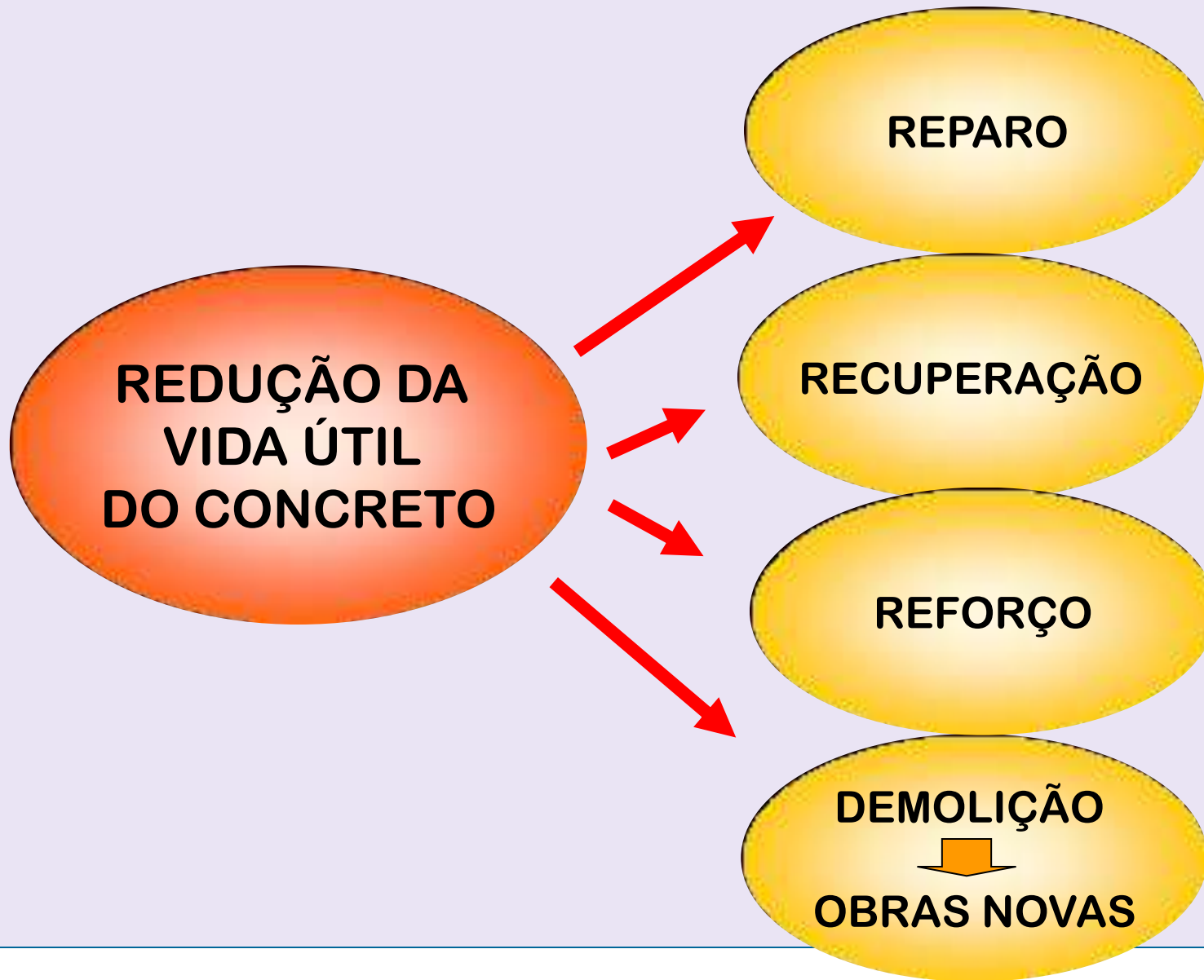


**Falta de qualidade e  
durabilidade**

**X**

**Sustentabilidade**





**REPARO**

**RECUPERAÇÃO**

**REFORÇO**

**DEMOLIÇÃO**



**OBRAS NOVAS**

- Escassez de matérias primas
- Geração de resíduos
- Emissões de gases / CO<sub>2</sub>
- Consumo de energia
- Custo

**REPARO**

**RECUPERAÇÃO**

**REFORÇO**

**DEMOLIÇÃO**



**OBRAS NOVAS**

- Escassez de matérias primas
- Geração de resíduos
- Emissões de gases / CO<sub>2</sub>
- Consumo de energia
- Custo

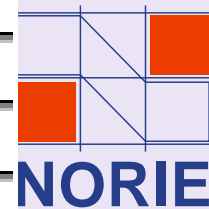
# Preservação Ambiental x Concreto

- A indústria do **concreto** é a **maior consumidora de recursos naturais**
- **20 bilhões** ton. de concreto/**ano**



RECURSO NATURAL	EXTRAÇÃO ATUAL (kg/ano)	RESERVA NATURAL (kg)	USO REMANESCENTE (anos)
MANGANÊS	7,3 E+09	5,0 E+12	685
CARVÃO	4,5 E+12	3,0 E+15	666
POTÁSSIO	2,6 E+10	1,7 E+13	649
URÂNIO	3,3 E+07	1,3 E+10	412
BAUXITA	1,1 E+11	2,8 E+13	257
FOSFATO	1,4 E+11	3,4 E+13	248
FERRO	4,3 E+11	1,0 E+14	231
NÍQUEL	9,2 E+08	1,1 E+11	120
MERCÚRIO	3,1 E+06	2,4 E+08	77
PETRÓLEO	3,2 E+12	2,4 E+14	75
GÁS NATURAL	2,0 E+12	1,3 E+14	66
COBRE	9,8 E+09	6,1 E+11	62
ESTANHO	1,8 E+08	1,0 E+10	56
CÁDMIO	2,0 E+07	9,7 E+08	49
ZINCO	7,1 E+09	3,3 E+11	47
CHUMBO	2,8 E+09	1,2 E+11	43
PRATA	1,4 E+07	4,2 E+08	30
OURO	2,2 E+06	6,1 E+07	28

*Remanescentes de recursos não-renováveis*



**NORIE**

**Fontes:** World Energy Council apud LIPPIATT (1998) e U.S. Bureau of Mines apud LIPPIATT (1998).





Disposição inadequada

Risco de contaminação do solo e fontes de água



Aterro de inertes  
Piracicaba/SP

**REPARO**

**RECUPERAÇÃO**

**REFORÇO**

**DEMOLIÇÃO**



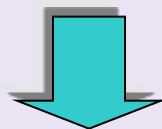
**OBRAS NOVAS**

- Escassez de matérias primas
- Geração de resíduos
- Emissões de gases / CO<sub>2</sub>
- Consumo de energia
- Custo

# Preservação Ambiental x Concreto

- A indústria do **concreto** é a **maior consumidora de recursos naturais**

- **20 bilhões** ton. de concreto/**ano**

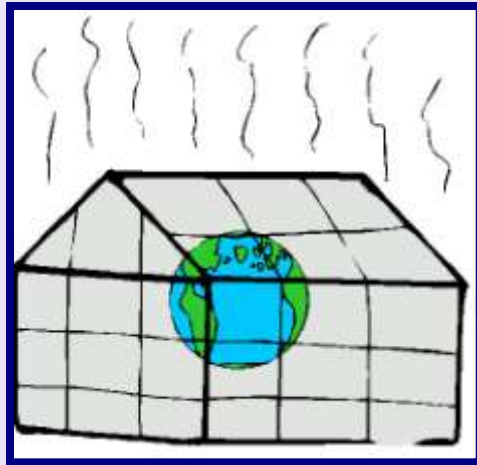


- **2,9 bilhões** ton. de cimento/**ano**



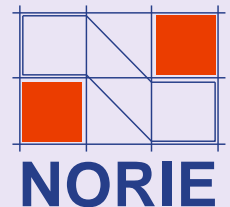
cerca de **2 bilhões** ton. de CO<sub>2</sub>/**ano**

# EFEITO ESTUFA



- **Nos últimos 30 anos, a temperatura média da terra aumentou 3°C;**
- **Estima-se que até 2100 aumente até 5°C.**

 **TEMPERATURA GLOBAL**



# Consequências do efeito estufa



**Degelo das calotas polares e geleiras**  
**Dilatação térmica da massa de água oceânica**



# Consequências do efeito estufa



**Elevação do nível do mar  
Inundações**



# Consequências do efeito estufa nos oceanos

 **TEMPERATURA GLOBAL**



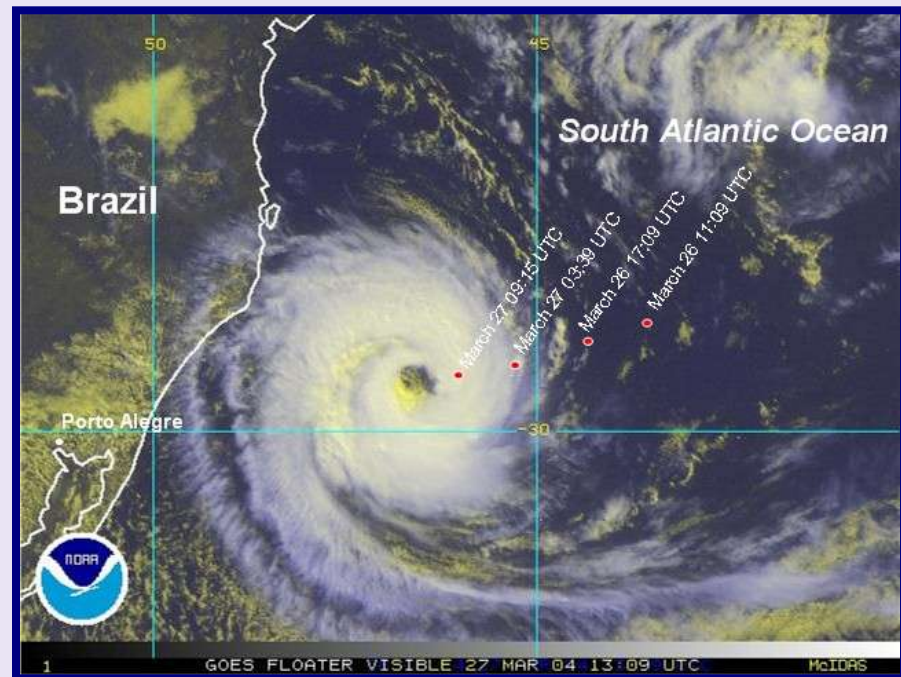
**Aumento da temperatura da superfície dos oceanos**

Acima de 27°C 

**Condições para formação de furacões**



O Catarina,  
fenômeno que  
atingiu o litoral sul  
do Brasil em 2004,  
foi o primeiro  
furacão  
extratropical  
conhecido.



([http://www.apolo11.com/furacao\\_catarina.php](http://www.apolo11.com/furacao_catarina.php), 2006)



# Ciclone Catarina: madrugada de 28 de Março de 2004



Foto Paulo Franken/ZH

Ciclone com ventos de 150 Km/h atingiu Torres (RS) na madrugada deste domingo

Foto 1/36

SLIDESHOW (primeira 36)



Foto Paulo Franken/ZH

Árvores caíram devido à força do vento e causaram transtornos em Torres

Foto 6/36

SLIDESHOW (primeira 36)

# Ciclone Catarina: madrugada de 28 de Março de 2004



Foto Claudio Silva/DC

Foto 16/36

Algumas regiões de Santa Catarina ficaram devastadas com a passagem do ciclone

SLIDESHOW (mínimo 3s)

## TORRES - RS



Foto André Albuquerque/clicRBS

Foto 34/36

Em Torres, no litoral norte gaúcho, o cenário foi de devastação após a passagem do ciclone

SLIDESHOW (mínimo 3s)

# Ciclone Catarina: madrugada de 28 de Março de 2004



Foto Paulo Franken/DC

Posto de gasolina, em Torres, foi completamente destruído

Foto 20/36

## TORRES - RS



Foto André Albuquerque/clicRBS

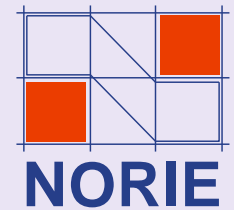
Sociedade dos Amigos da Praia de Torres (SAPT), no RS, também foi palco de destruição

Foto 33/36

# Ciclone Catarina: madrugada de 28 de Março de 2004



- RS



**REPARO**

**RECUPERAÇÃO**

**REFORÇO**

**DEMOLIÇÃO**



**OBRAS NOVAS**

- Escassez de matérias primas
- Geração de resíduos
- Emissões de gases / CO<sub>2</sub>
- Consumo de energia
- Custo

- **Produção cimento consome entre**

**7-10 Bilhões GJ/ano**

- **Energia para produção de agregados**
- **Energia para produção de aço**

**REPARO**

**RECUPERAÇÃO**

**REFORÇO**

**DEMOLIÇÃO**



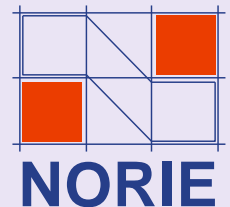
**OBRAS NOVAS**

- Escassez de matérias primas
- Geração de resíduos
- Emissões de gases / CO<sub>2</sub>
- Consumo de energia
- Custo

# CONSUMO DE CONCRETO NO MUNDO

- Obras novas → 45%
- Projetos de infra-estrutura → 15%
- Reparos e renovação do ambiente edificado

40%





# Desenvolvimento sustentável depende da construção civil



Depende da qualidade e durabilidade das estruturas de concreto



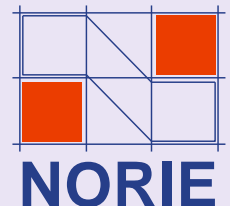
# CONSUMO MUNDIAL DE CONCRETO

**1960** ~ 3 bilhões de toneladas por ano  
(1 ton/per capta)

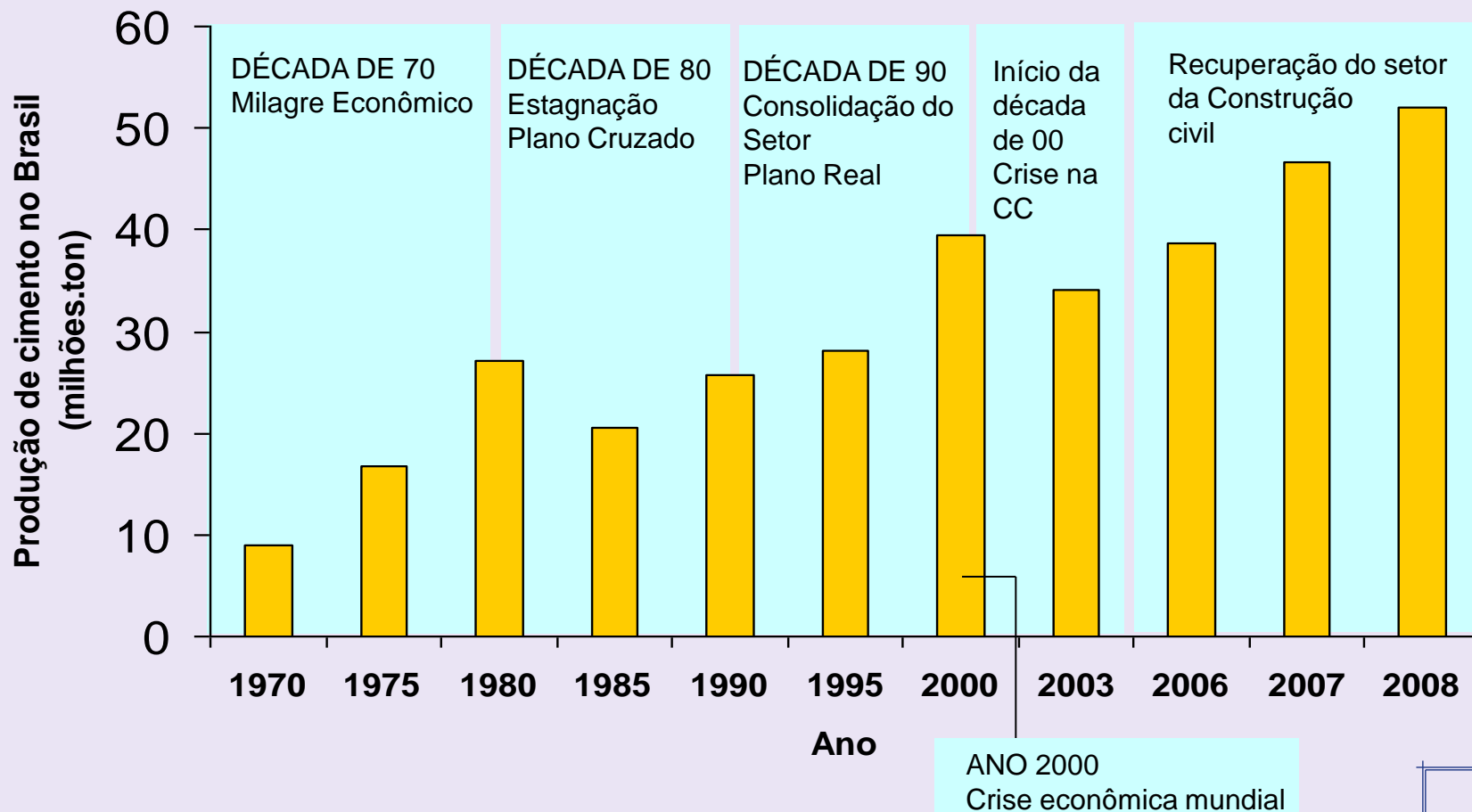
**Atual** ~ 20 bilhões de toneladas por ano  
(1 ton/per capta)



**~ 7 bilhões de m<sup>3</sup>**



# Produção de cimento no Brasil



(SNIC, 2010)

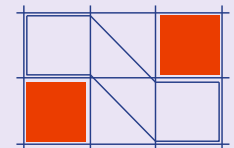
**BAIXA  
VIDA ÚTIL  
DO CONCRETO**

**CONCRETO**

**CULPADO**

**RESPONSÁVEL  
PELA ESPECIFICAÇÃO  
E EXECUÇÃO  
DO CONCRETO**

***Projetando para garantir a  
qualidade  
e a  
durabilidade  
das estruturas de concreto***



# DEGRADAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DE CONCRETO

DETERIORAÇÃO FÍSICO-MECÂNICO

CORROSÃO DO CONCRETO

CORROSÃO ARMADURA

EROSÃO

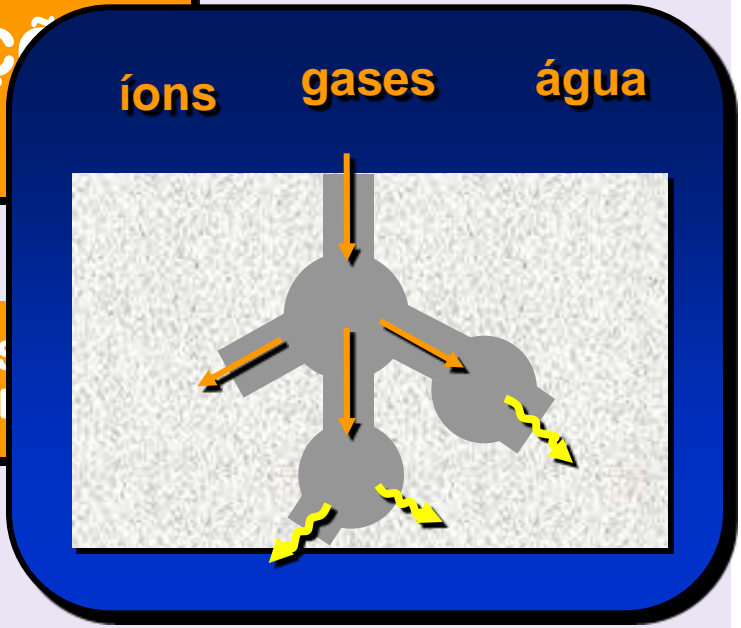
FISSURAÇÃO

EXPANSÃO

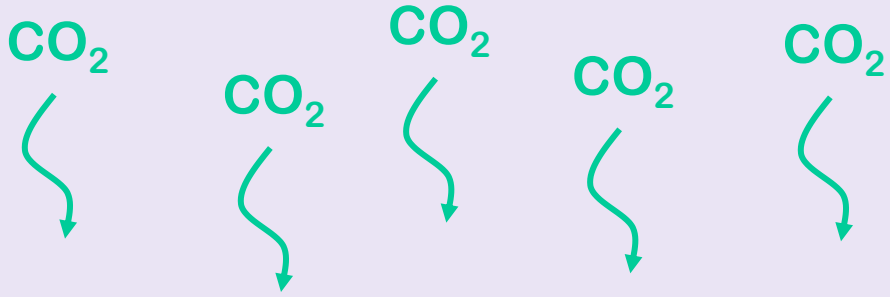
LIXIVIAÇÃO

CARBONATAÇÃO

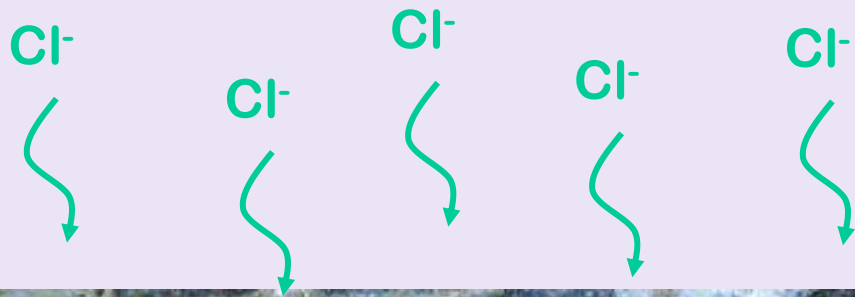
DESPASSIVAÇÃO



# CORROSÃO: DESPASSIVAÇÃO POR CARBONATAÇÃO



# CORROSÃO: DESPASSIVAÇÃO POR CLORETOS



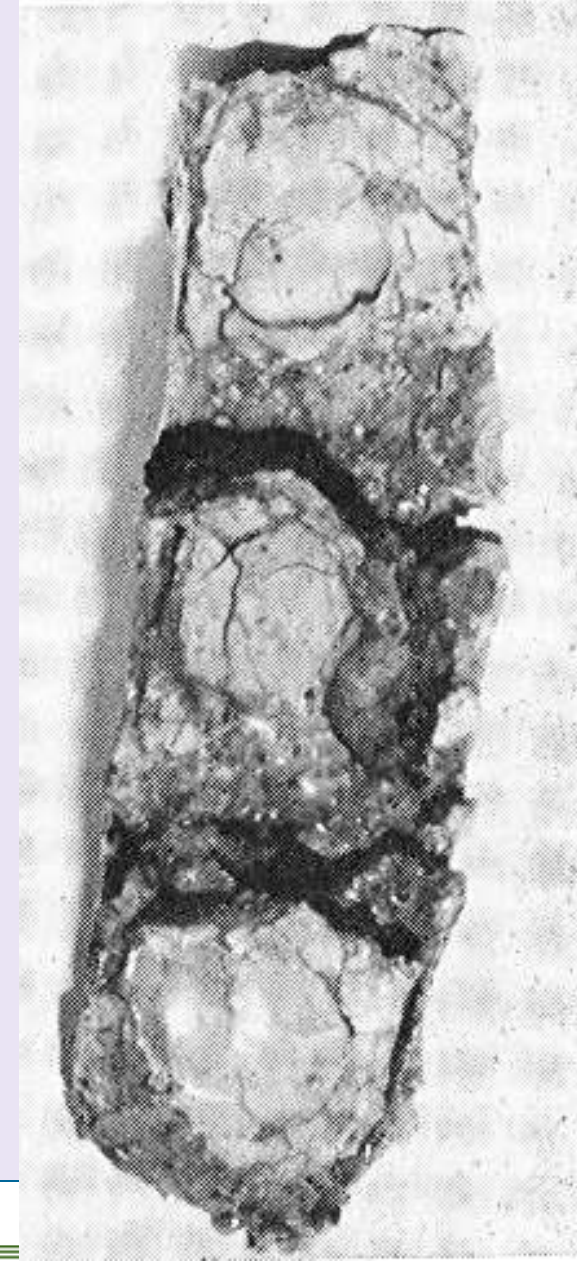
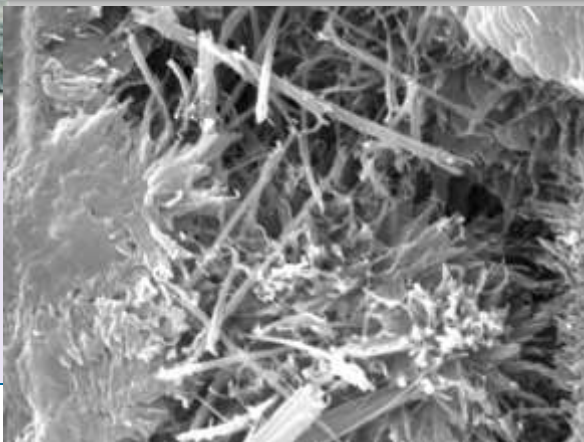
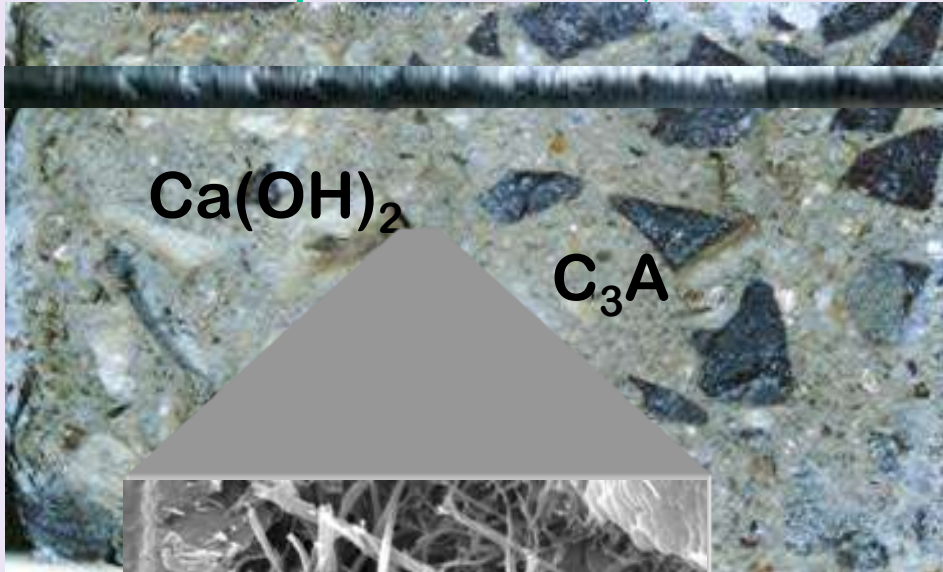
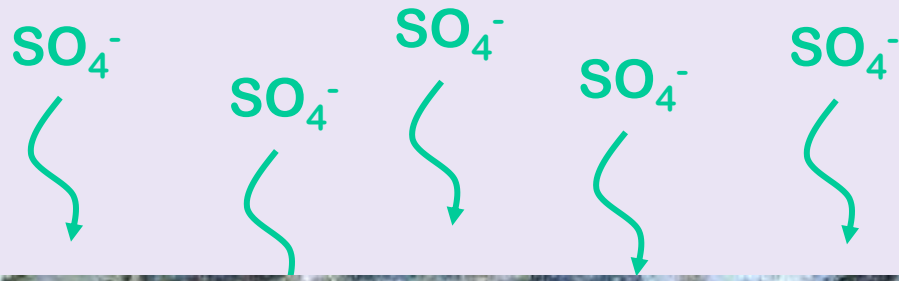


# FATORES NECESSÁRIOS PARA OCORRER CORROSÃO



**CORROSÃO DAS ARMADURAS**

# ATAQUE POR SULFATOS



# REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO





**UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

**NORIE**





**POROSIDADE**



**PERMEABILIDADE**




**ABSORTIVIDADE**



**DIFUSIBILIDADE**

# DEPENDE PRINCIPALMENTE:

 **relação água/cimento**

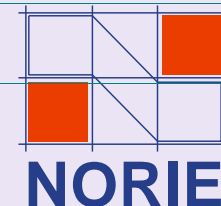
 **tipo de aglomerante**

# As exigências da Norma (Tabela 13 da NBR 6118/2007)

Concreto	Classe de agressividade				
	Tipo	I	II	III	IV
a/c	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de Concreto (NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

# Cimentos brasileiros atuais

$f_{ck}$ ( $f_{c28}$ ) (MPa)	Relação água/cimento							
	CP I 32	CP II 32	CP II 40	CP III 32	CP III 40	CP IV 32	CP V ARI/RS	CP V ARI
20 (26,6)	0,67	0,61	0,67	0,60	0,66	0,63	0,71	0,74
25 (31,6)	0,61	0,54	0,60	0,54	0,60	0,55	0,63	0,67
30 (36,6)	0,55	0,48	0,54	0,49	0,55	0,49	0,56	0,61
35 (41,6)	0,50	0,42	0,49	0,45	0,51	0,45	0,50	0,55



(Prática recomendada IBRACON, 2003)



# ÁGUA NO CONCRETO

**fck 20 MPa  
CPV ARI  
a/c 0,74**

→ Água de hidratação ~ 0,20 / 0,21

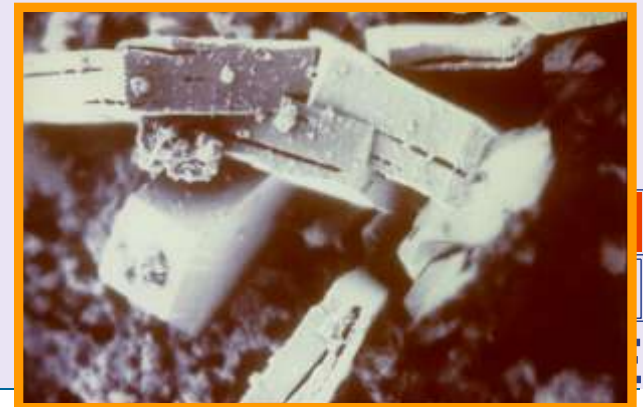
→ Água de gel ~ 0,18 / 0,19

} ~ 0,40

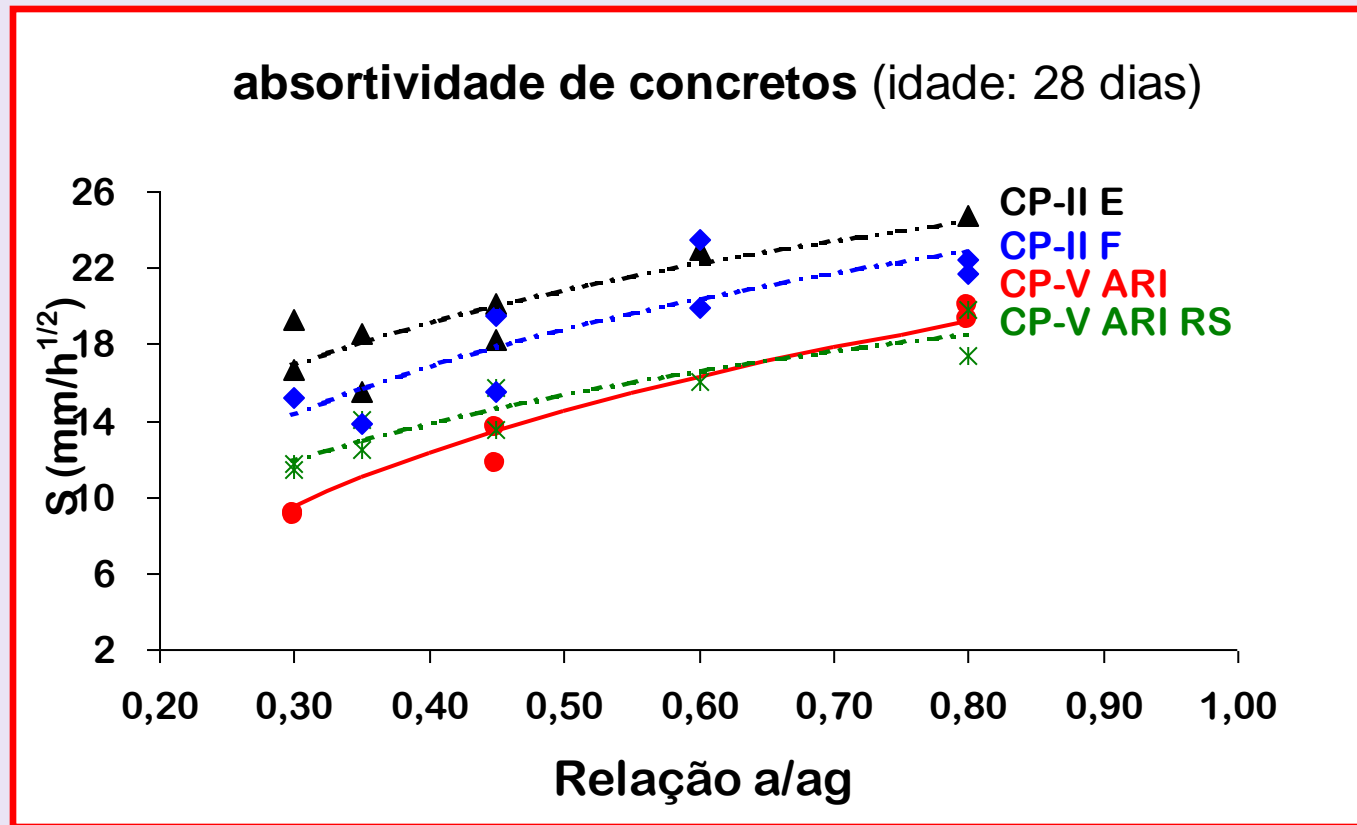
→ Água livre

Porosidade / capilaridade

~ 0,34



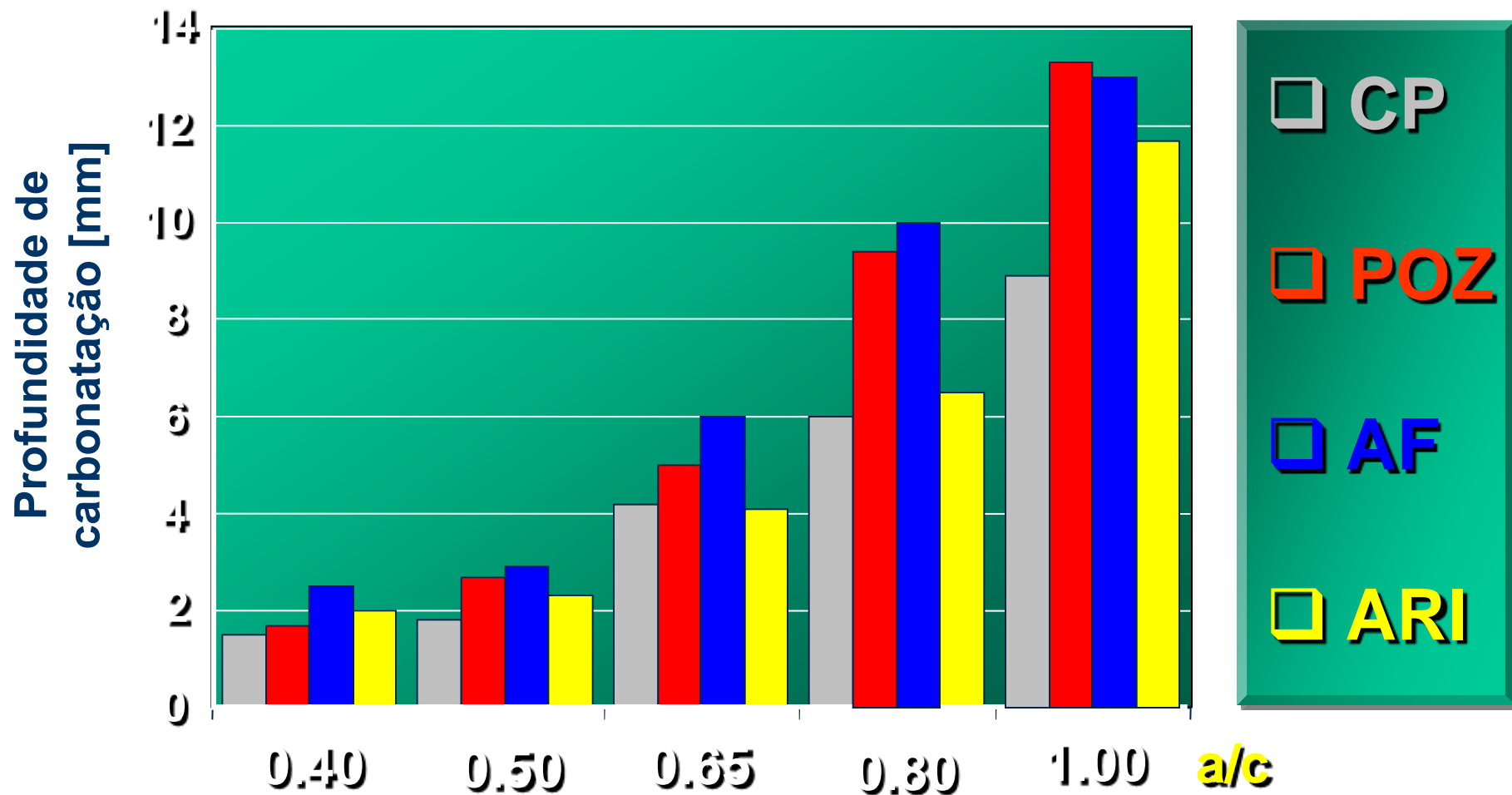
# TAXA DE ABSORÇÃO



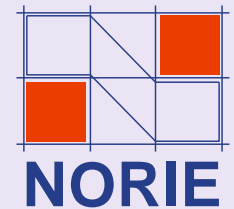
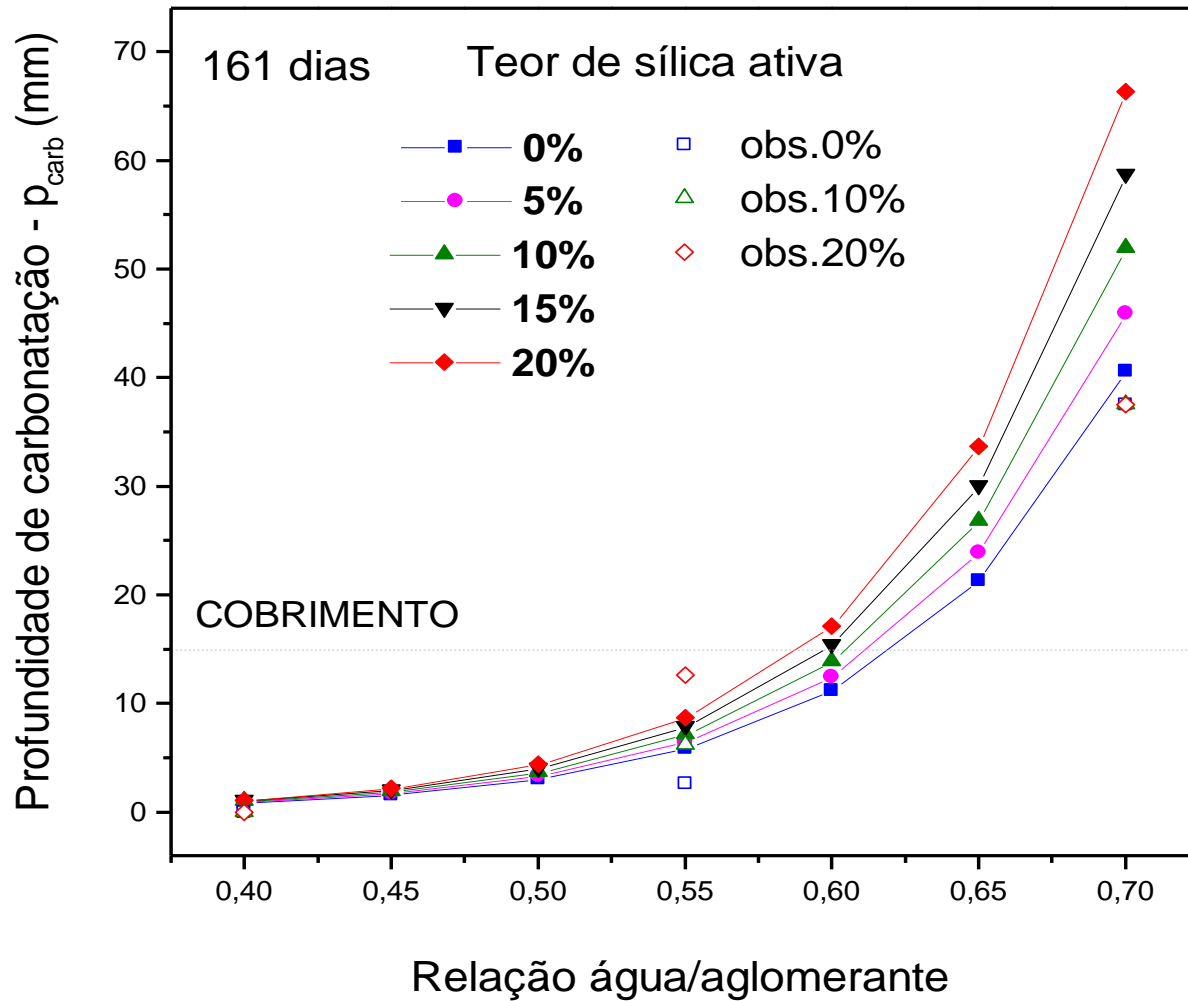
# Carbonatação x Relação a/c

Idade: 42 dias

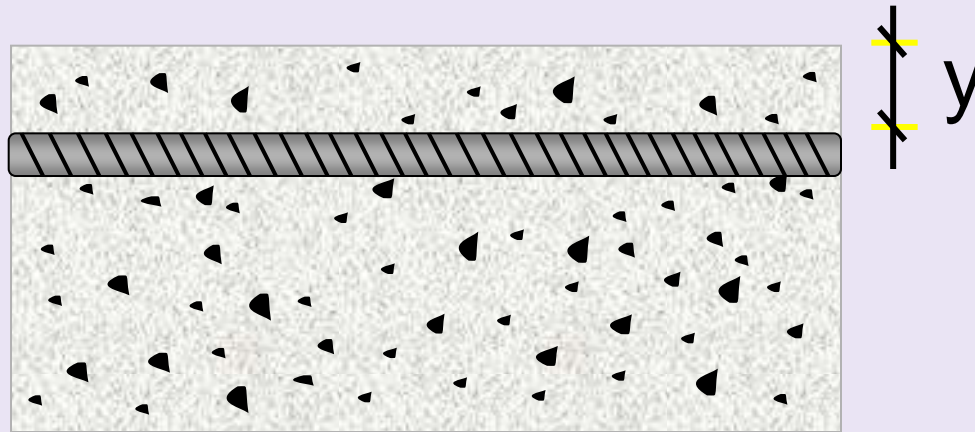
UR: 70%



# PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO



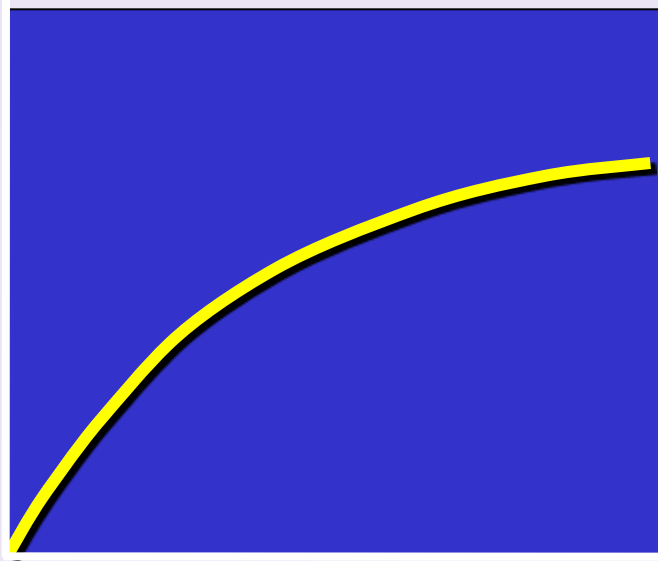
# Estimativa da Profundidade Carbonatada



<b>a/c</b>	<b>Profundidade</b>	<b>10 Anos [mm]</b>	<b>30 Anos [mm]</b>
<b>0,65</b>	<b><math>y = 5,8 \sqrt{t}</math></b>	<b>18,3</b>	<b>31,8</b>
<b>0,55</b>	<b><math>y = 3,7 \sqrt{t}</math></b>	<b>11,7</b>	<b>20,3</b>
<b>0,48</b>	<b><math>y = 2,1 \sqrt{t}</math></b>	<b>6,6</b>	<b>11,5</b>

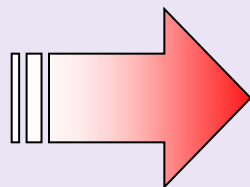
# Carbonatação x Tempo

Profundidade  
Carbonatação  
[mm]



Tempo (Vanos)

**DUPLICANDO A  
ESPESSURA DO  
COBRIMENTO**



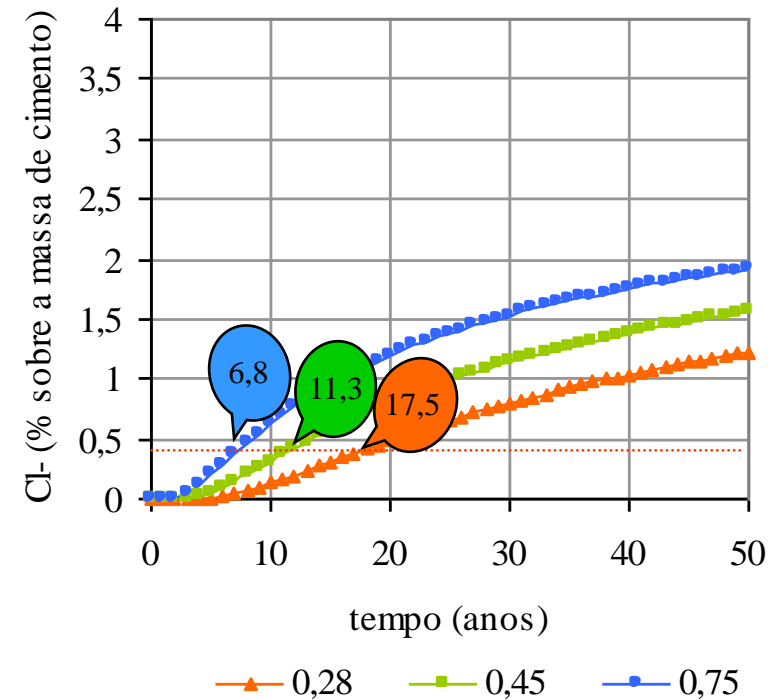
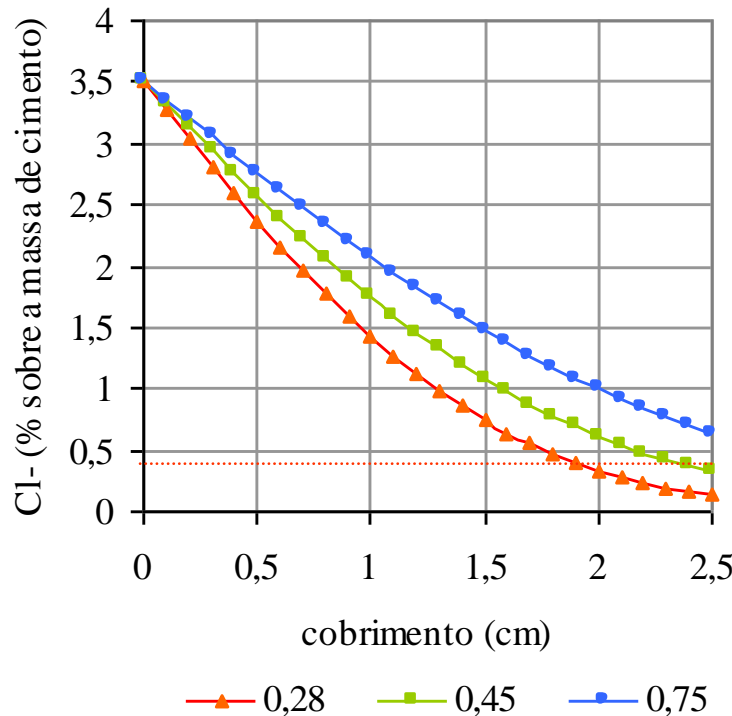
**AUMENTA VIDA ÚTIL  
EM 4 VEZES**

# Previsão de Vida Útil

- ✓ Concentração externa de  $\text{Cl}^-$  → 3,5%
- ✓ Perfil de concentração de  $\text{Cl}^-$  → 10 anos
- ✓ Espessura de cobrimento → 2,5 cm

Teor SA = 10%  
Temp = 25°C  
Idade = 28 dias

Relação  
a/agl



# Aumento da resistência do concreto

	CONCRETO (m <sup>3</sup> )			ARMADURA (kg)			FÔRMAS (M <sup>2</sup> )		
	fck 21 MPa	fck 60 MPa	ECON %	fck 21 MPa	fck 60 MPa	ECON %	fck 21 MPa	fck 60 MPa	ECON %
PILARES	13,2	6,8	- 49	2981	1192	- 60	136,6	93,2	-32
VIGAS	14,9	12,1	- 19	1623	1623	-	180,2	149,1	- 17
LAJES	27,0	26,1	-	994	994	-	280,8	280,8	-
TOTAL	55,1	45	-18	5598	3966	-29	597,6	523,1	- 12

Concreto fck = 20 MPa x fck = 60 MPa

Área do pavimento - 320 m<sup>2</sup>

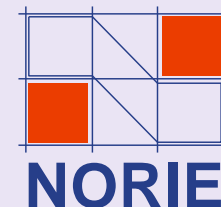
3º pav. de 15 pavimentos

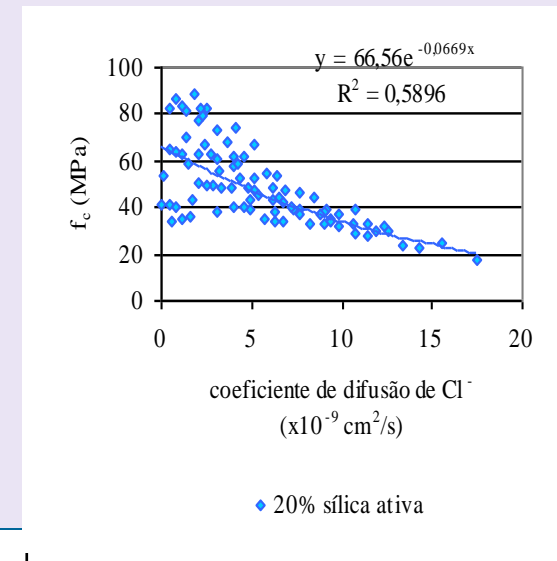
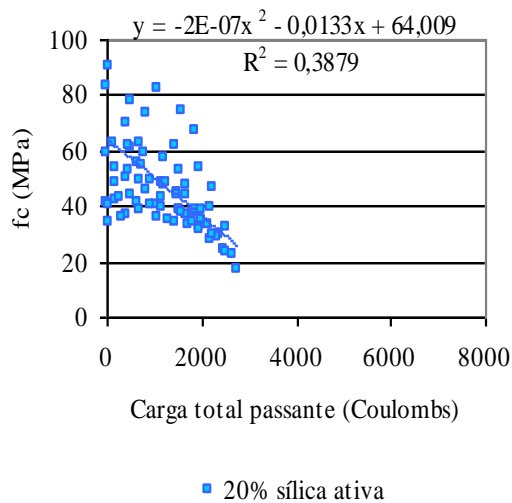
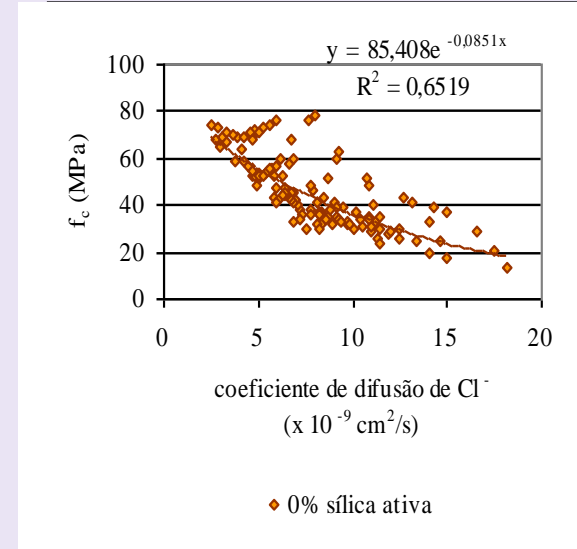
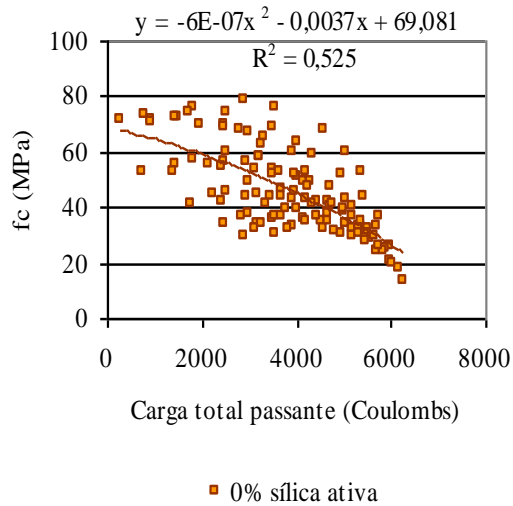


# CUSTO EM US\$

		CONCRETO		ARMADURA		FÔRMA		TOTAL	
		fck	fck	fck	fck	fck	fck	fck	fck
		21 MPa	60 MPa	21 MPa	60 MPa	21 MPa	60 MPa	21 MPa	60 MPa
PILARES	MAT	468	464	1591	636	3871	2628	5931	3728
	MO	507	261	1163	465	774	525	2443	1251
	MAT	528	826	867	866	5086	4210	6481	5903
VIGAS	MO	572	464	633	633	1016	841	2221	1939
	MAT	958	1782	531	531	7940	7940	9428	10252
LAJES	MO	1036	1002	388	388	1587	1587	3011	2976
	MAT	1954	3073	2989	2034	16896	14777	21839	19884
TOTAL	MO	2115	1727	2184	1486	3377	2953	7675	6166
TOTAL GERAL		4069	4800	5173	3520	20273	17730	29515	26050

→ -12%





**$f_c$  não é um bom parâmetro para avaliar a durabilidade dos concretos**

(HOFFMANN e DAL MOLIN, 2001)

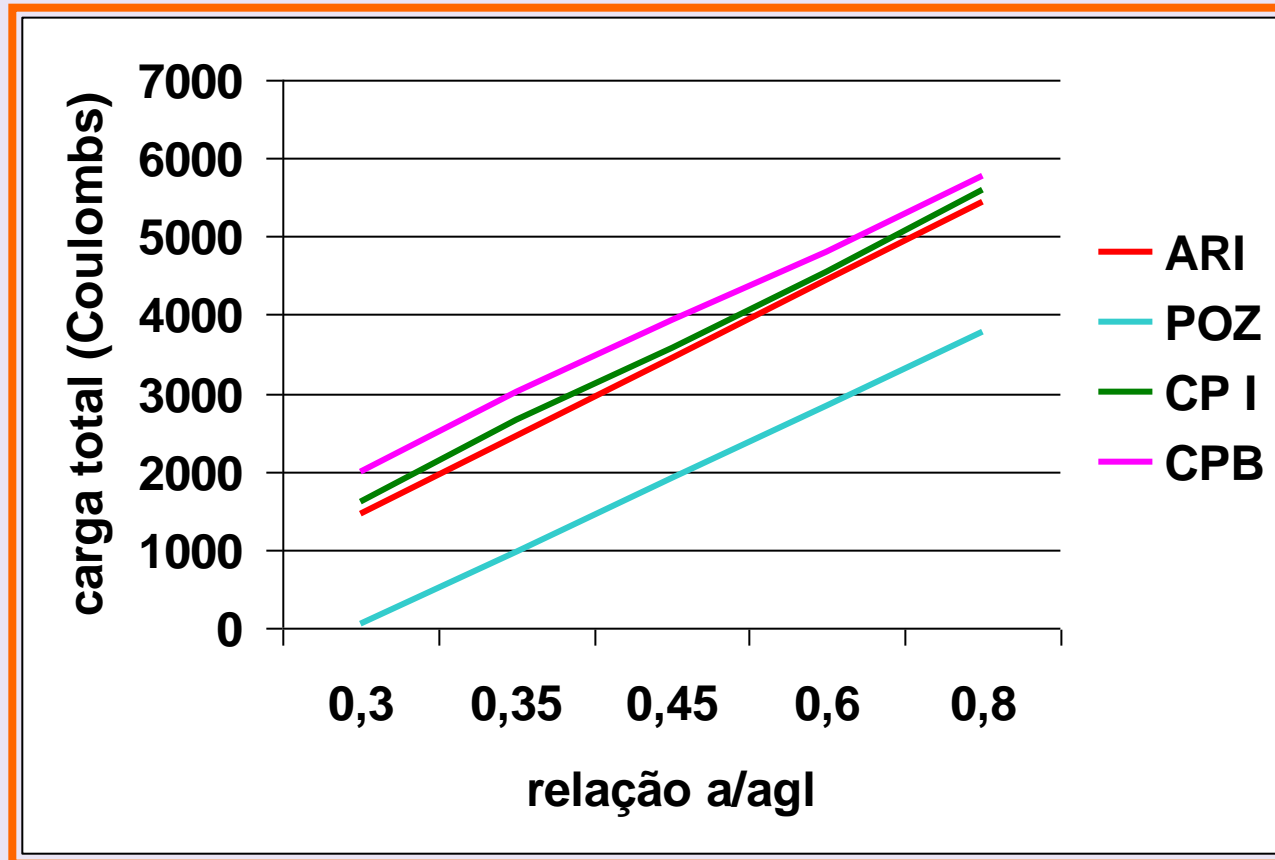
# ESPECIFICAÇÃO CONCRETO

- ❑ Abatimento (slump)
- ❑  $D_{m\acute{a}x}$  característica do agregado graúdo
- ❑ Resistência característica do concreto -  $f_{ck}$

❑ Tipo de aglomerante

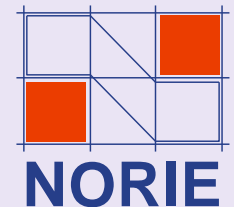


# PENETRAÇÃO DE CLORETOS



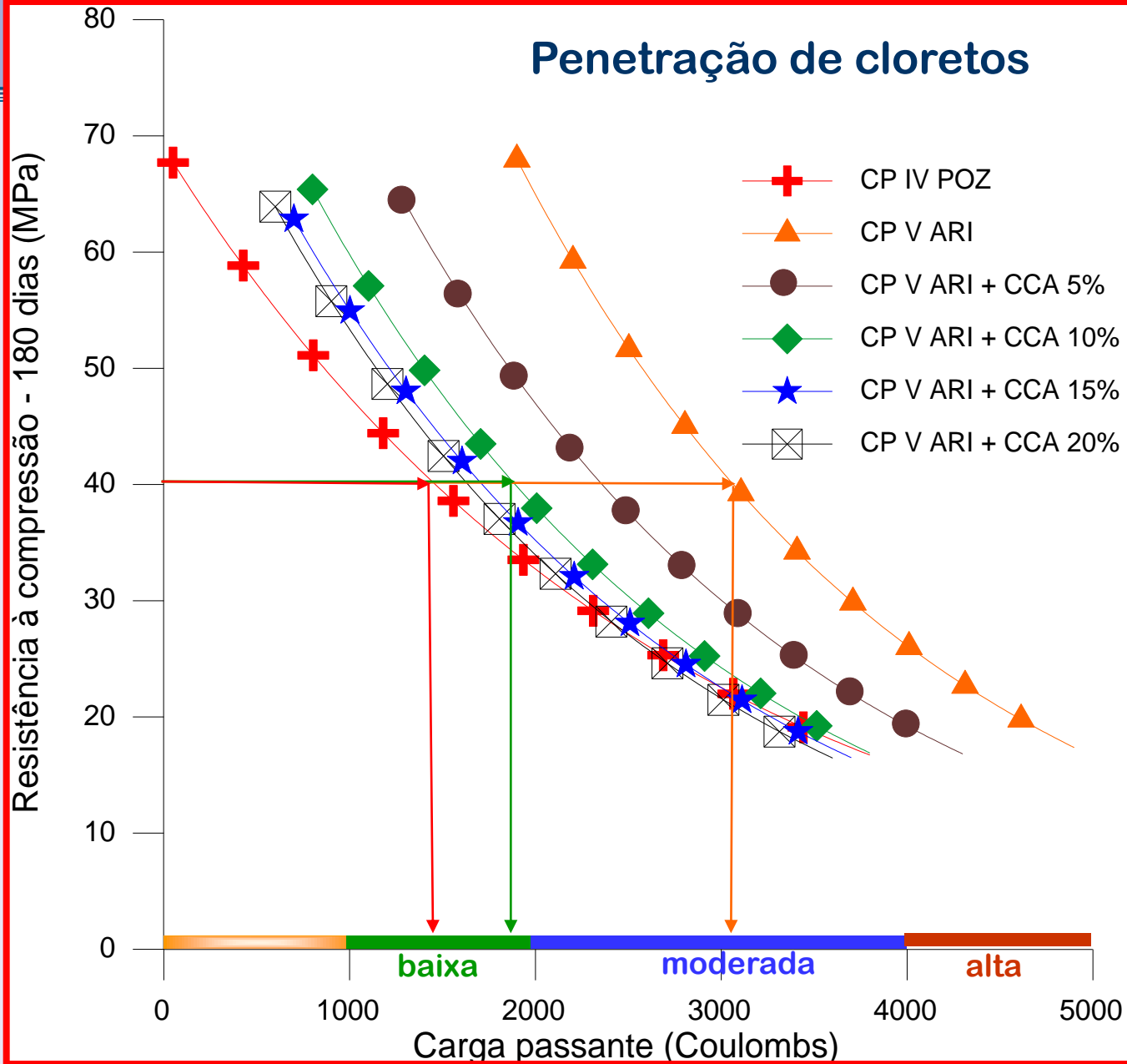
(STOLFO, AZEVEDO e DAL MOLIN, 1997 - NORIE)

(MATTOS e DAL MOLIN, 2002 - NORIE)

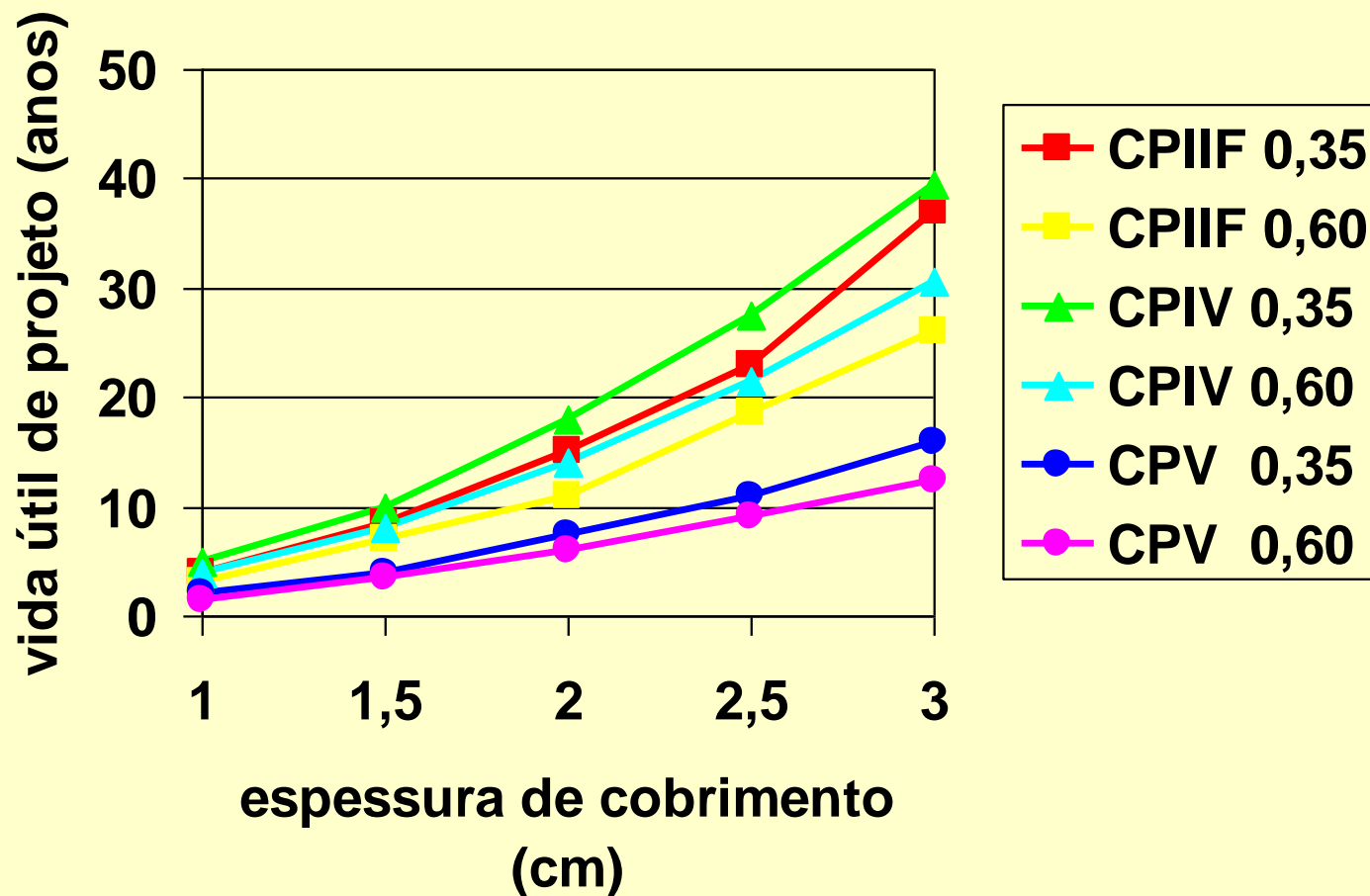


**NORIE**

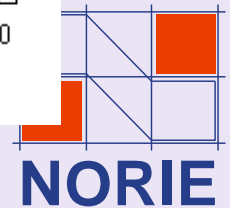
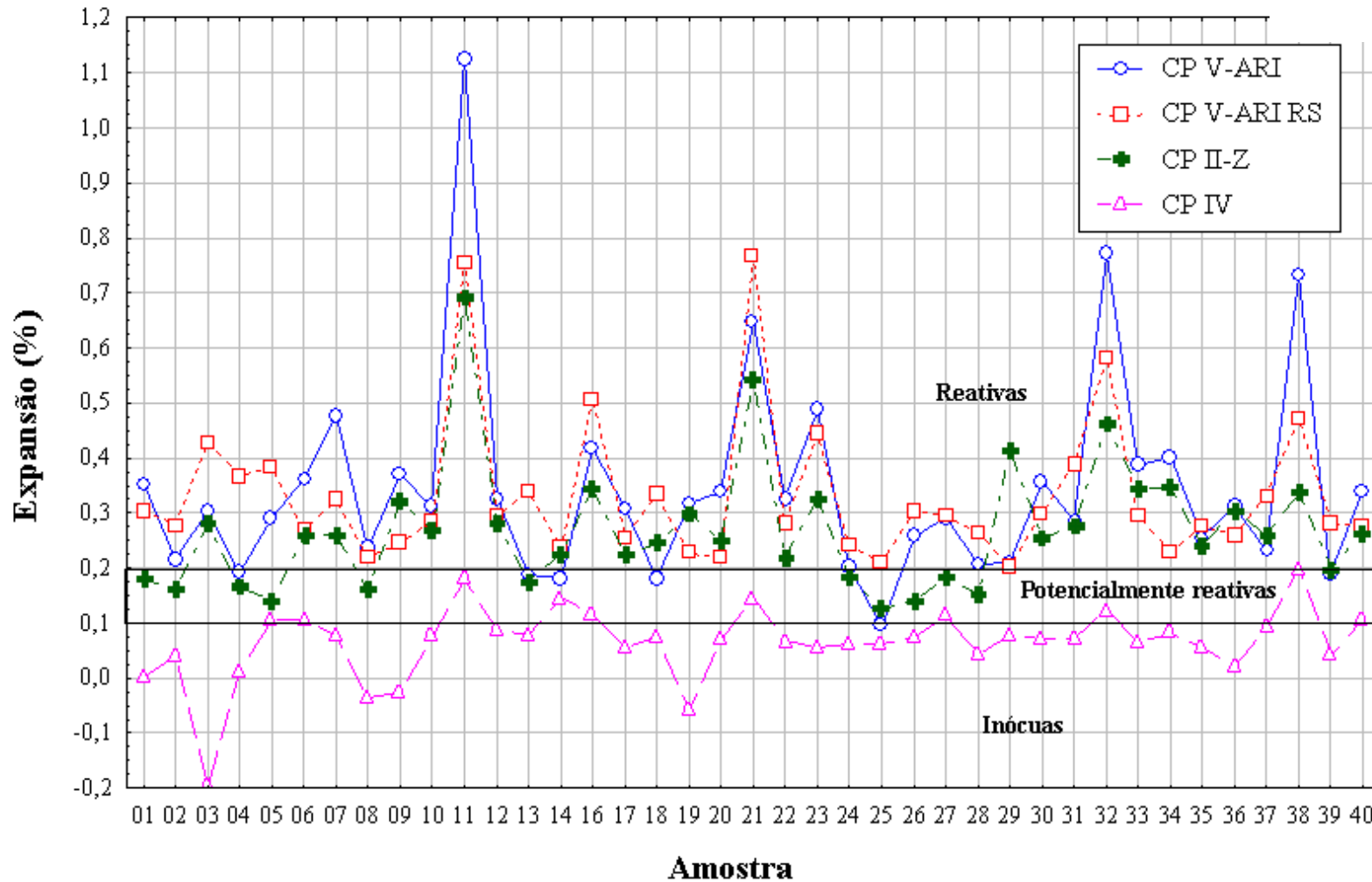
# Penetração de cloretos



# Vida Útil de Projeto - ação de cloretos

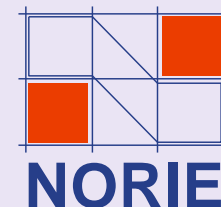


# REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO



# Produção de cimento no Brasil

TIPO DE CIMENTO	SIGLA	2003	2008
COMUM	(CP I)	2%	<1%
COMPOSTO	(CP II)	72%	64%
ALTO-FORNO	(CP III)	13%	17%
POZOLÂNICO	(CP IV)	7%	11%
ARI	(CP V-ARI)	6%	7%
BRANCO	(CPB)	<0,2%	<0,2%





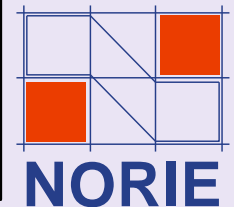
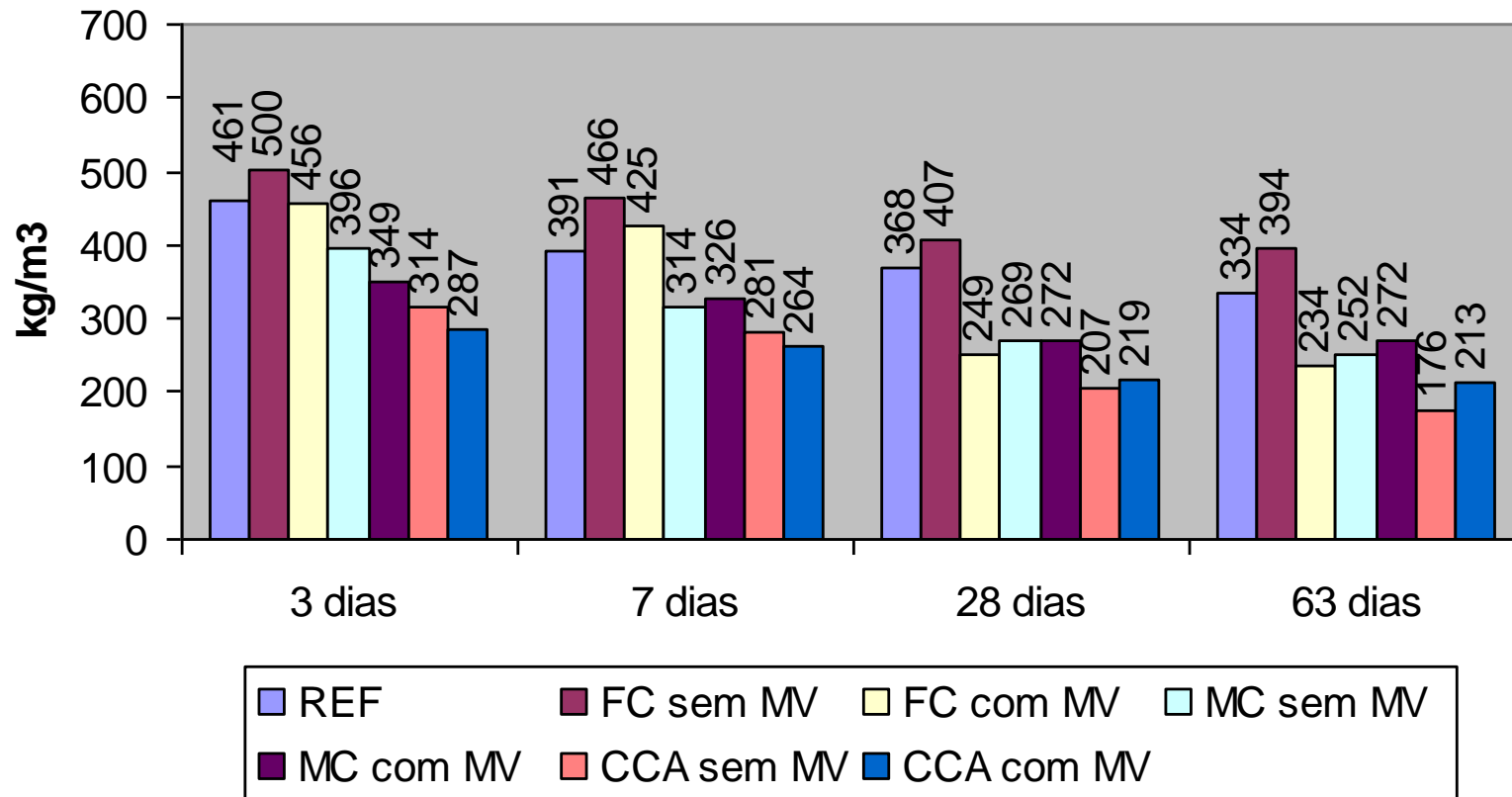
# CONCRETOS MAIS DURÁVEIS E SUSTENTÁVEIS



- Redução da relação água/cimento / Redução da porosidade
- Utilização de adições em cimentos/concretos
- **Redução do consumo de cimento**
- **Novos materiais**

# CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

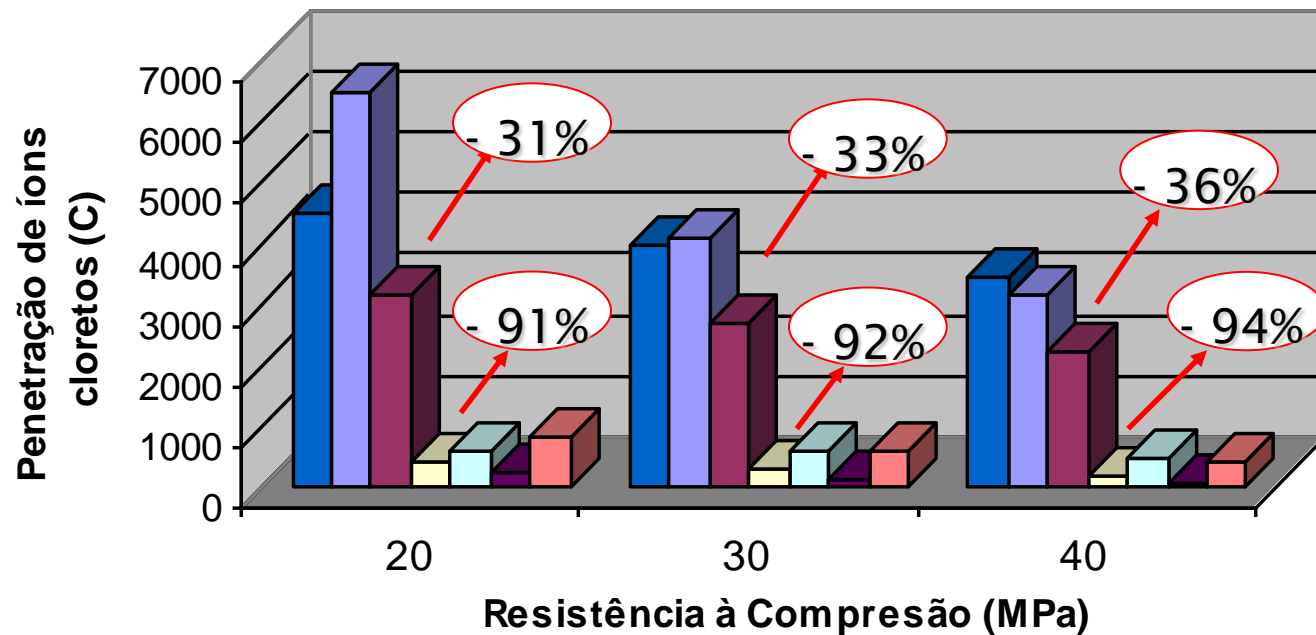
## Consumo de Cimento (kg/m<sup>3</sup>) para concretos de 30 MPa



**NORIE**

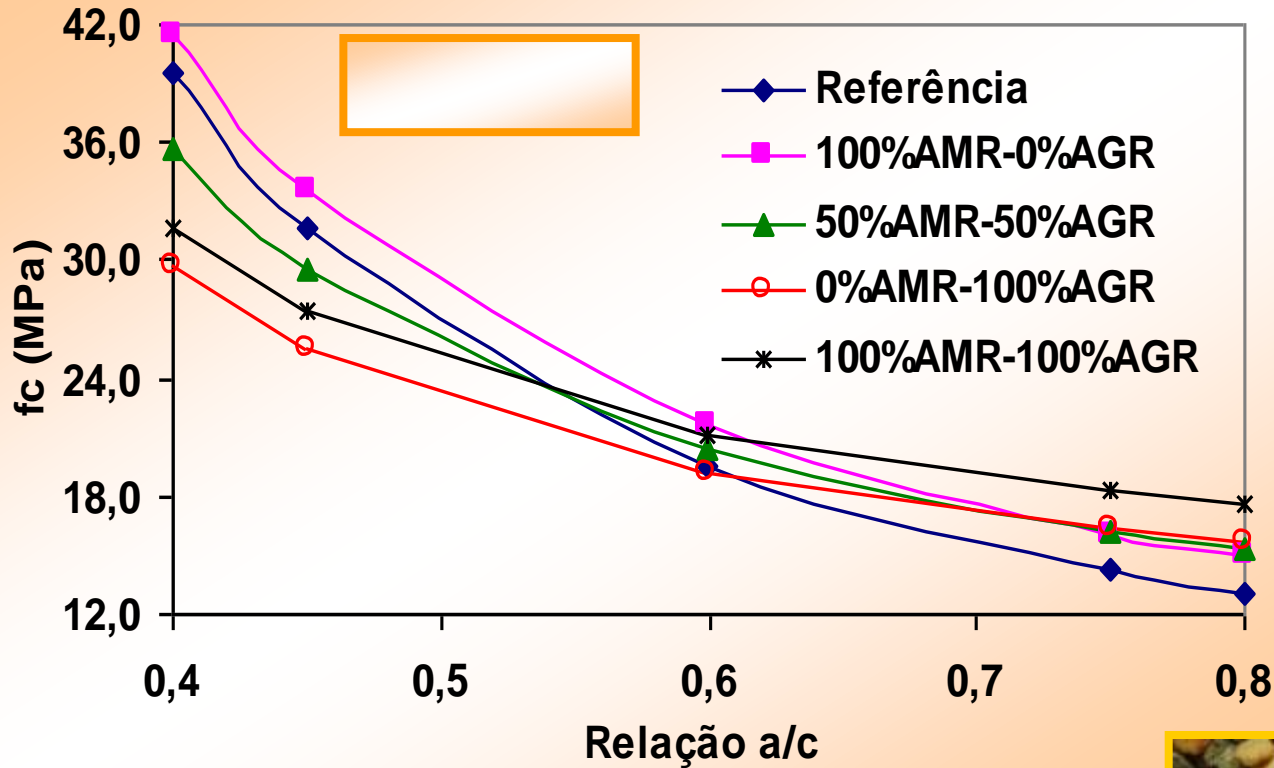
# CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

## Penetração de Cloretos (C)



■ Referência    ■ FC sem VMA    ■ FC com VMA    ■ MC sem VMA  
■ MC com MVA    ■ CCA sem VMA    ■ CCA com VMA

# Concretos com Agregados Reciclad



## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

(LEITE e DAL MOLIN, 2004 - NORIE/UFRGS)

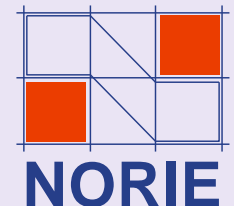


# Concretos com Agregados Reciclados

Condição	Estimativa de vida útil (anos)	
	Concreto convencional	Concreto reciclado
Concreto com 20 MPa relação a/c de 0,60	35,1	45,8 <sup>(1)</sup> 34,8 <sup>(2)</sup>

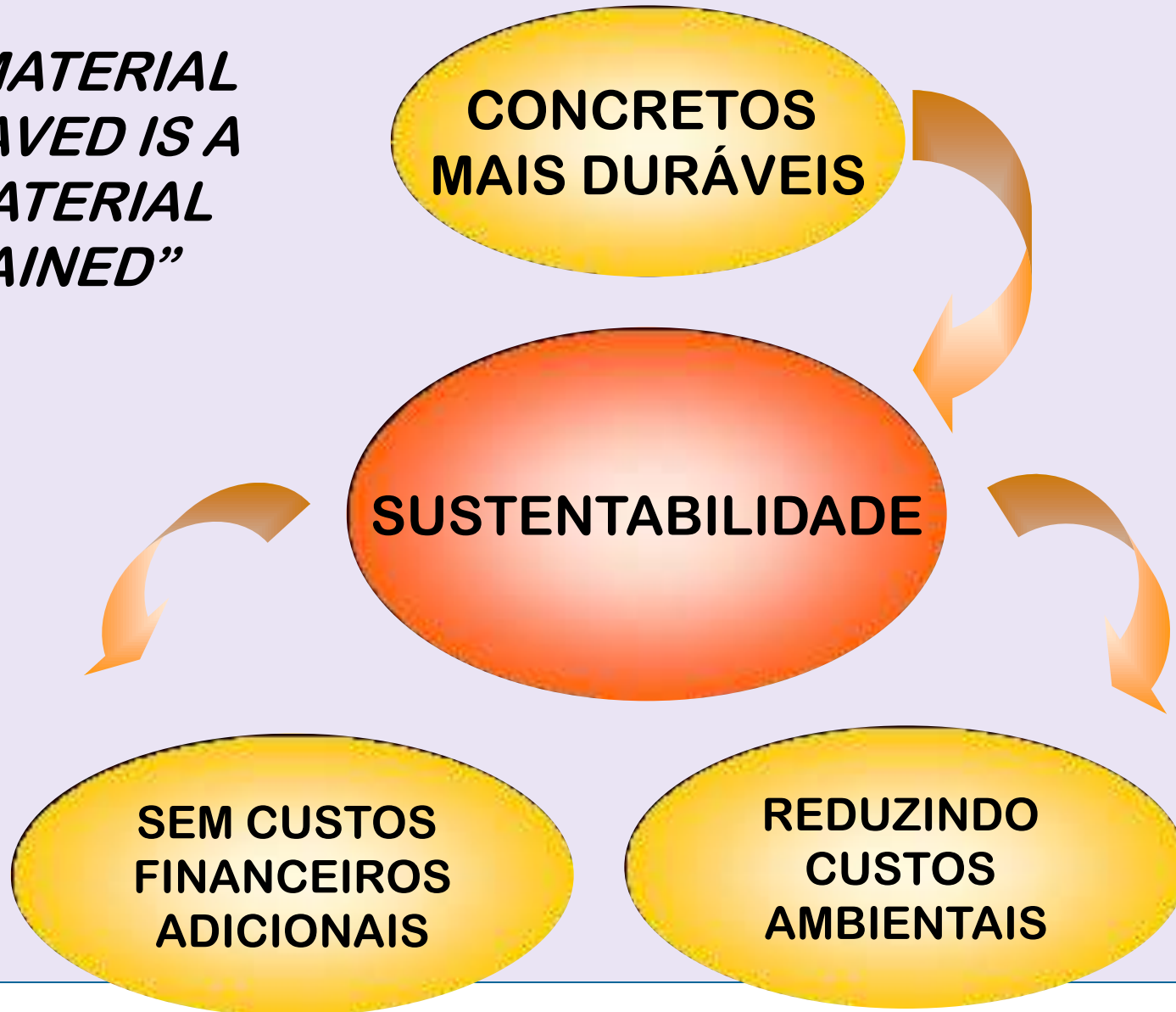
(1) concreto com 100% de agregado miúdo reciclado e brita natural;

(2) concreto com 50% de agregado miúdo natural e 50% de agregado graúdo reciclado



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“MATERIAL  
SAVED IS A  
MATERIAL  
GAINED”*





**53<sup>o</sup>** CONGRESSO BRASILEIRO DO  
**CONCRETO**

**IBRACON 2011**

**Obrigado pela atenção**

*Denise Dal Molin*  
*dmolin@ufrgs.br*

