

13/09 – QUA – 17:00 a 17:30h – SALA TURQUESA 5

INCÊNDIO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: inspeção *in loco* e análises técnicas para caracterizar danos e subsidiar medidas de reabilitação

Eng. Civil Luís Henrique Poy

Filiado ao IBAPE – SC

Especialista em *Patologia nas Obras Cíveis*

Mestre em *Engenharia de Avaliação de Ativos*



11 A 15

SETEMBRO | 2023

SÃO PAULO - SP

REALIZAÇÃO



IBAPE NACIONAL
Instituto Brasileiro de Avaliações
e Perícias de Engenharia

INCÊNDIO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: inspeção *in loco* e análises técnicas para caracterizar danos e subsidiar medidas de reabilitação

RESUMO

- ➔ **PERÍCIA EXTRAJUDICIAL (COM CLÁUSULA DE CONFIDENCIALIDADE)**
- ➔ **ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO (PARTE NOVA/ PARTE EXISTENTE) DESTINADA A SUPORTAR EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO DE ALTA PERFORMANCE**
- ➔ **INCÊNDIO OCORRIDO DURANTE A FASE FINAL DAS OBRAS CIVIS (PRESENÇA DE FORMAS E OUTROS ELEMENTOS EM MADEIRA)**
- ➔ **OBJETIVO DOS TRABALHOS: VERIFICAR NÍVEL DE DANO, APONTANDO EVENTUAL REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E/ OU DA DURABILIDADE**

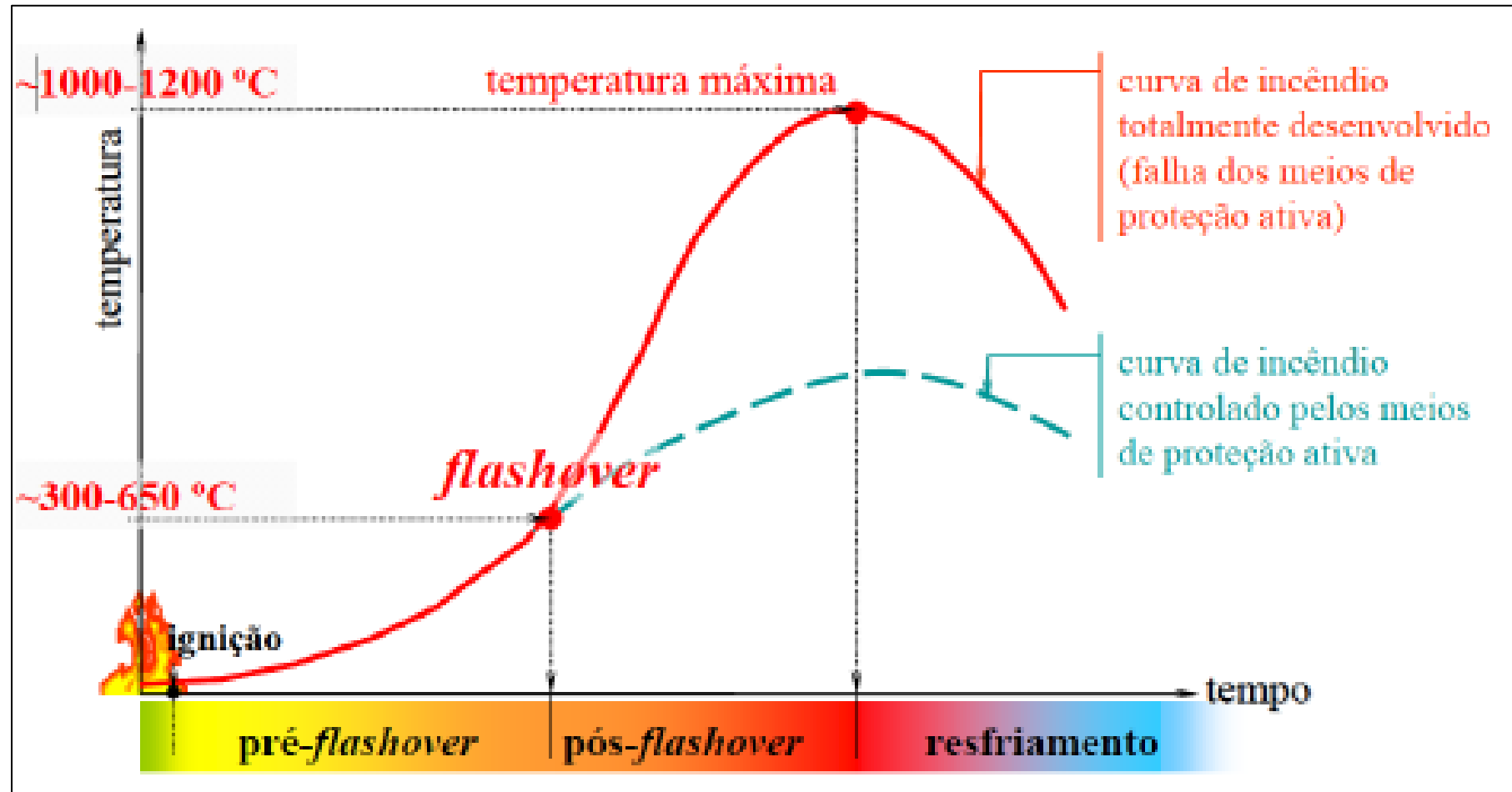
1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 TRIÂNGULO DO FOGO



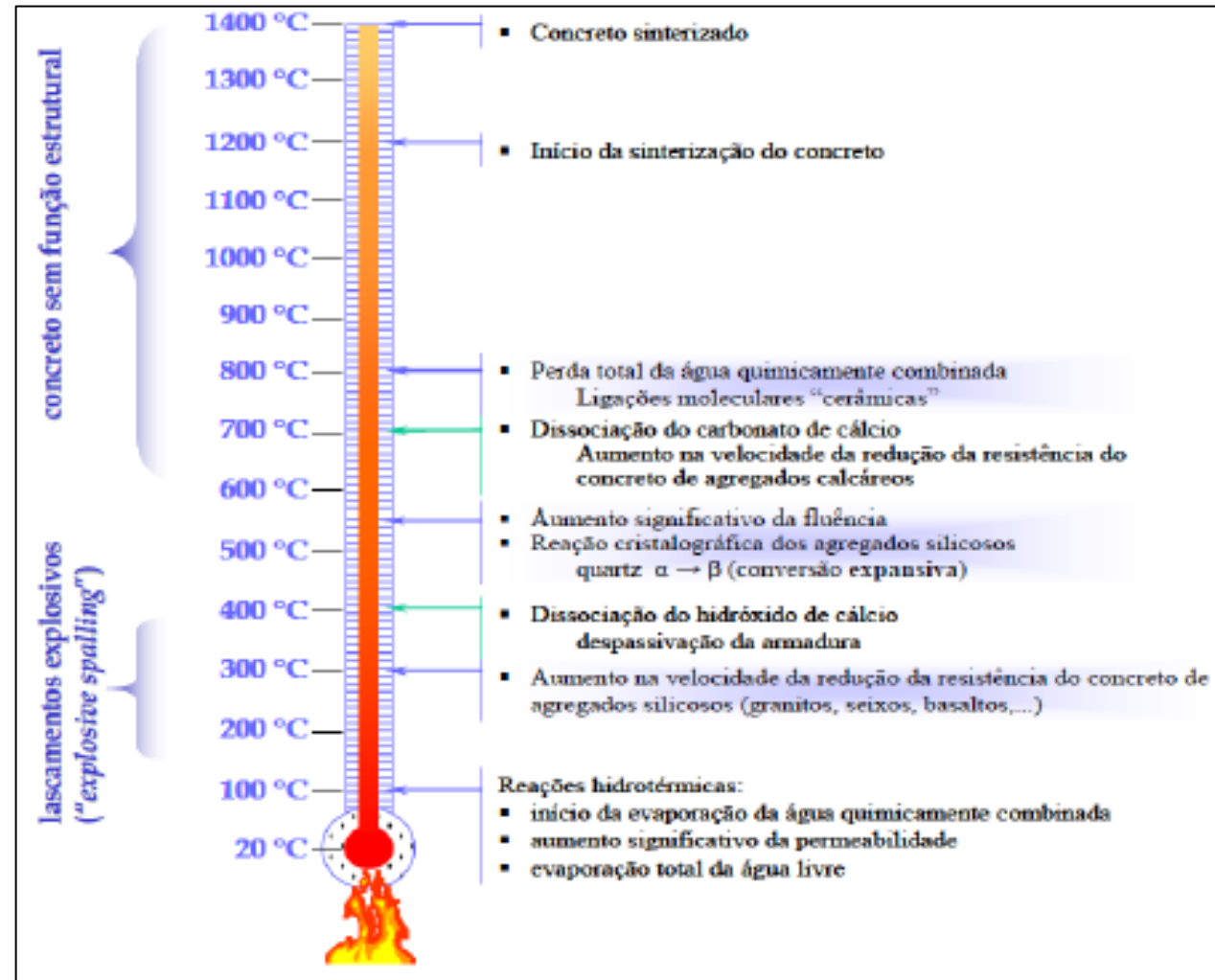
1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.2 ETAPAS DE UM INCÊNDIO



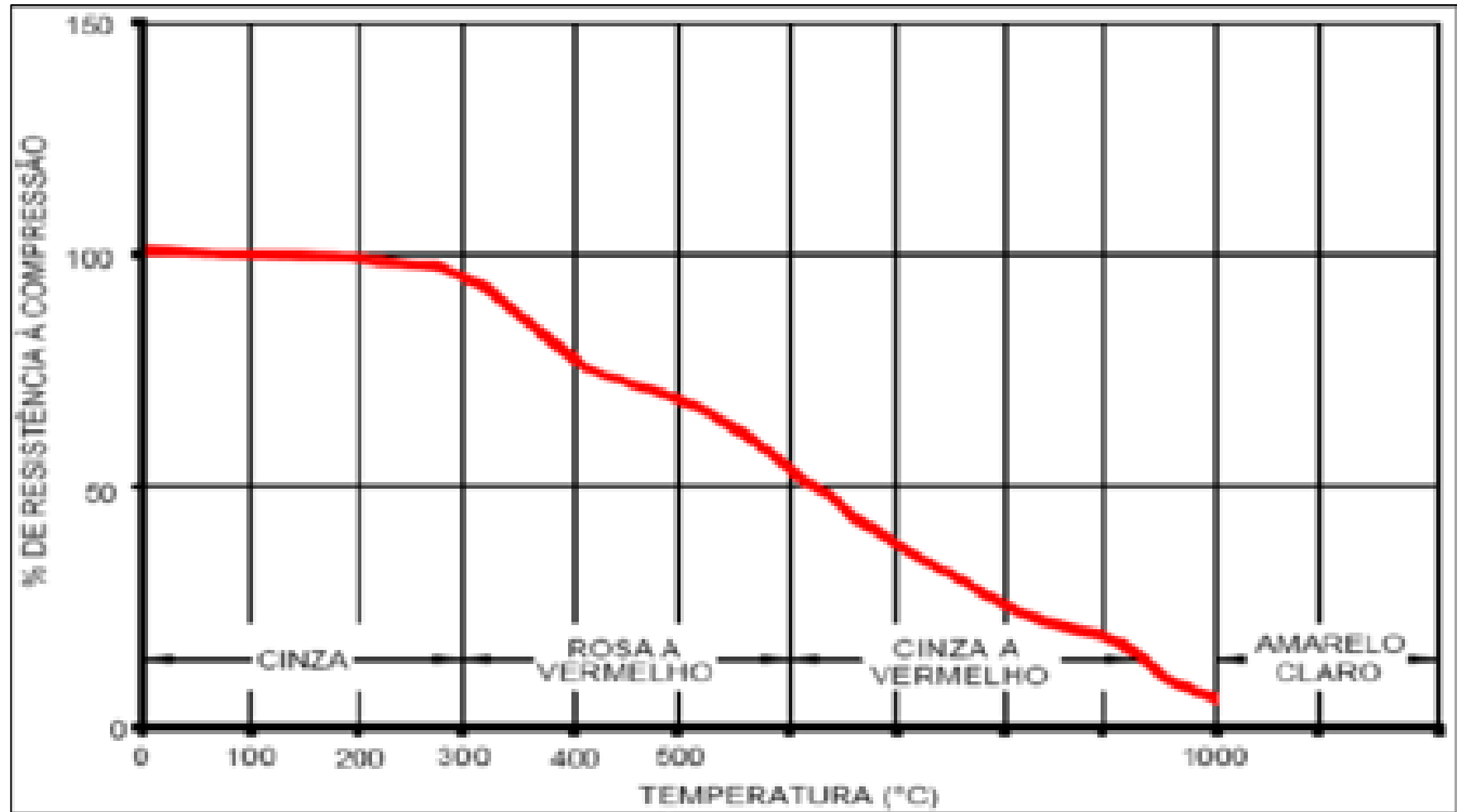
1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.3 CONCRETO x ALTAS TEMPERATURAS



1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.4 RESISTÊNCIA DO CONCRETO x TEMPERATURA ATINGIDA



11 A 15
SETEMBRO | 2023
SÃO PAULO - SP

REALIZAÇÃO

1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

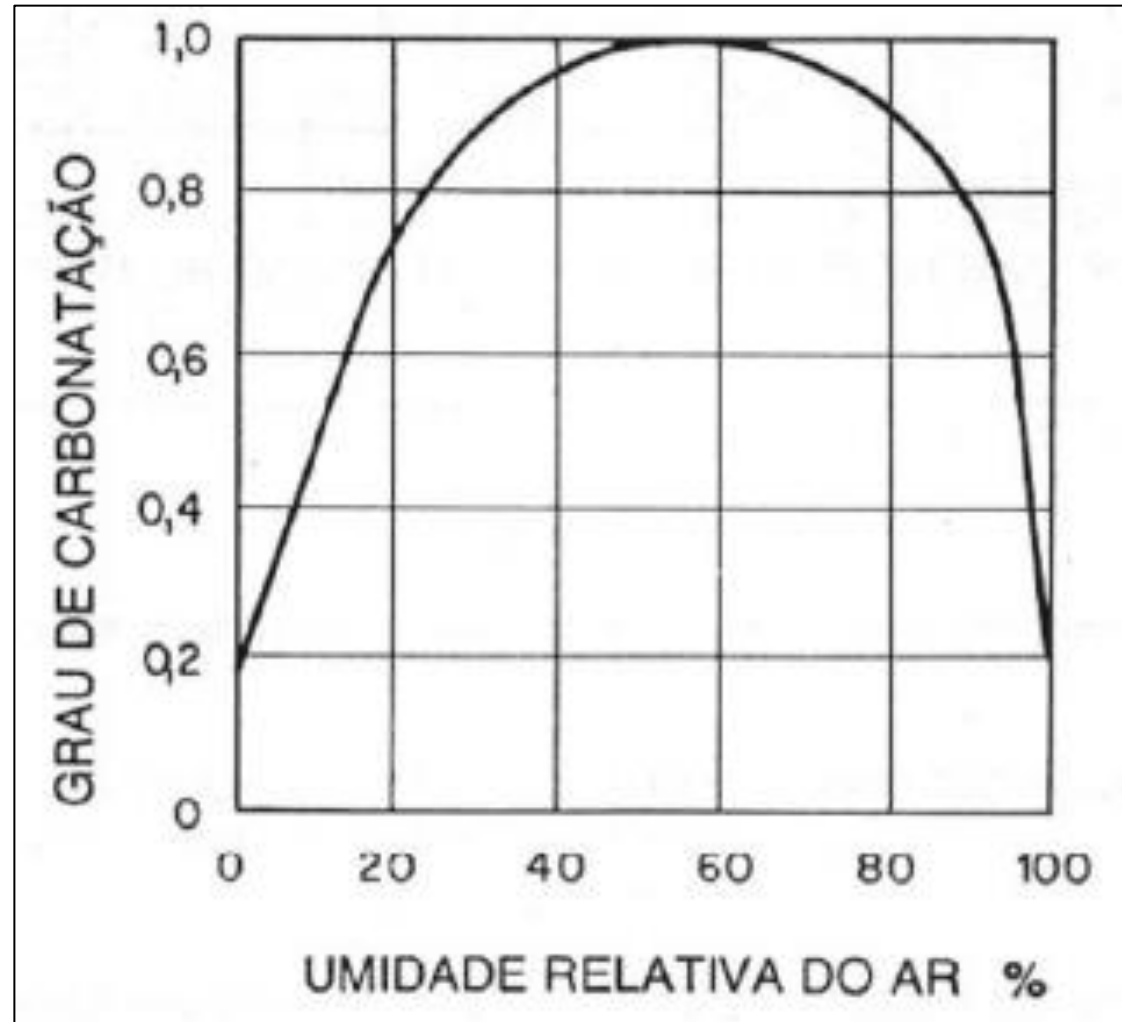
1.5 PRINCIPAIS MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO



Agressividade do ambiente		Consequências sobre a estrutura	
Natureza do processo	Condições particulares	Alterações iniciais na superfície do concreto	Efeitos a longo prazo
Carbonatação	UR 60% a 85%	Imperceptível	Redução do pH, corrosão de armaduras, fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, águas puras	Eflorescências, manchas brancas	Redução do pH, corrosão de armaduras, desagregação superficial
Retração	Umedecimento e secagem, ausência de cura, UR baixa (<50%)	Fissuras	Fissuração, corrosão de armaduras
Fuligem	Partículas ácidas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	Manchas escuras por deposição sobre a estrutura	Redução do pH, corrosão de armaduras
Fungos e mofo	Colônias ácidas em temperaturas (>20°C e <50°C) com UR >75%	Manchas escuras e esverdeadas	Redução do pH, desagregação superficial, corrosão de armaduras
Concentração salina, Cl ⁻	Atmosfera marinha e industrial	Imperceptível	Despassivação e corrosão de armaduras
Sulfatos	Esgoto e águas servidas	Fissuras	Expansão-fissuras, desagregação do concreto, corrosão de armaduras
Álcali-agregado	Composição do concreto, agregados reativos, umidade, UR>95%	Fissuras, gel ao redor do agregado grão	Expansão-fissuras, desagregação do concreto, corrosão de armaduras

1- BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.6 GRAU DE CARBONATAÇÃO x UMIDADE RELATIVA DO AR



1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.7 AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO

Dentre estes vários modelos, tem-se o desenvolvido por Helene (1997) *apud* Carmona (2005)⁵, que a seguir se reproduz:

$$e = k_{CO_2} \sqrt{t}$$

Onde:

e = espessura carbonatada (mm)

k_{CO_2} = Coeficiente de carbonatação (mm/ano^{1/2})

t = tempo transcorrido (em anos)

Sendo:

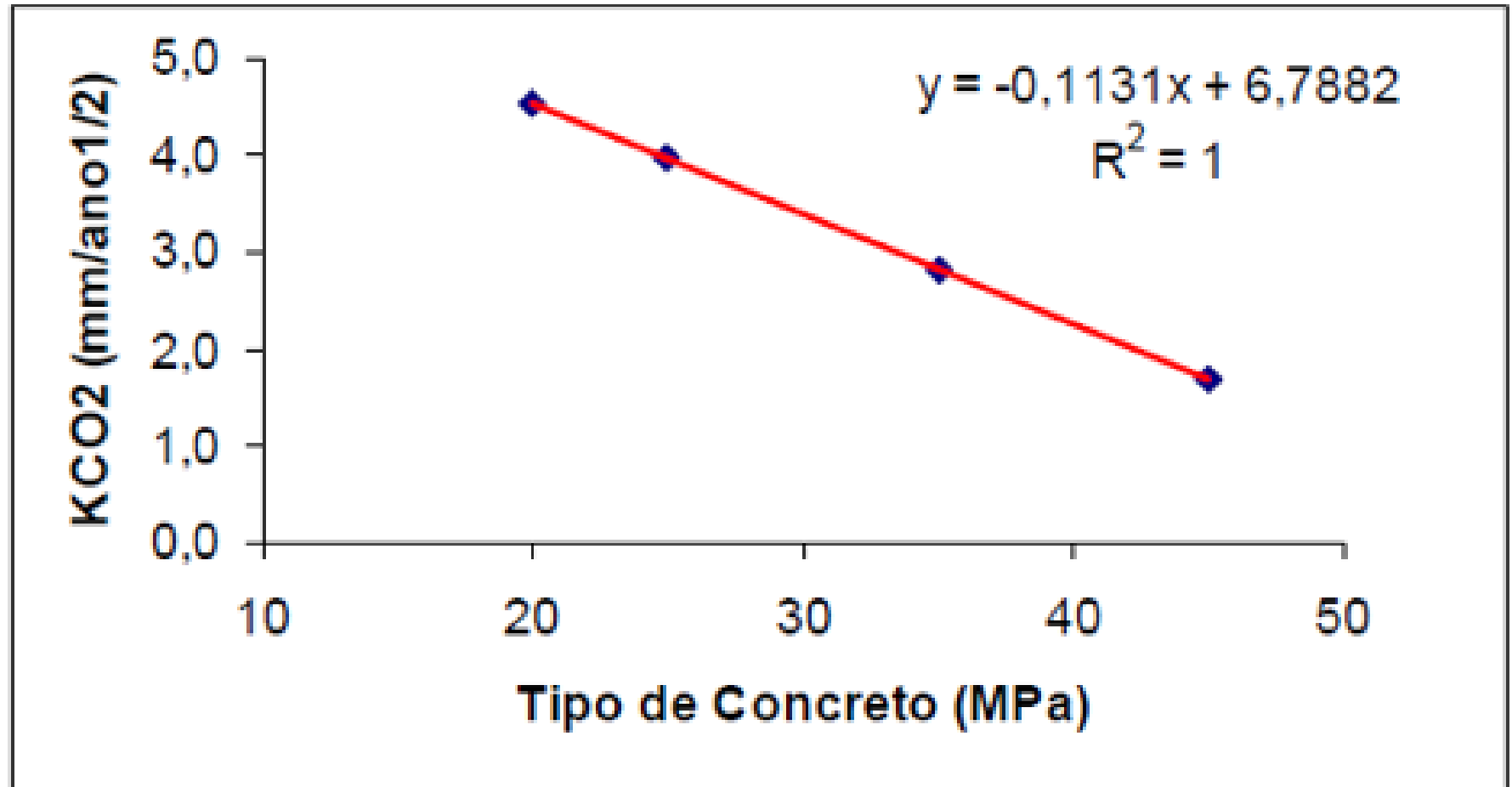
$$k_{CO_2} = (6,7882 - 0,1131 \cdot f_{ck}) \cdot \frac{\sqrt{C_s}}{\sqrt{0,1}}$$

C_s = Concentração ambiente de CO₂ (% em volume)

(*) *NOTA: Para cimento AF e POZ, multiplicar o k_{CO_2} por 1,2 e 1,1 (respectivamente).*

1- BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.7 O AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO (continuação)



1 - BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

1.8 PRINCIPAIS DANOS POTENCIAIS AO CONCRETO SUBMETIDO A INCÊNDIO

A – ESTRUTURAIS:

- Diminuição da resistência à compressão (f_{cm})
- Diminuição do Módulo de Deformação (E)

B – DURABILIDADE:

- Fissuração
- Desplacamentos
- Redução do pH

2- INSPEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

2.1 FENOLFTALEÍNA (1%) x CARBONATAÇÃO

Fenolftaleína (indicador de pH)

pH abaixo de 8

Ácido

incolor

pH entre 8,0 e 10,0

Neutro

rosa

pH entre 10,0 e 12,0

Base

carmim ou roxo

2- INSPEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

2.2 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS



2- INSPEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

2.2 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS (continuação)



2- INSPEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

2.3 RUPTURA DE TESTEMUNHOS ANTERIORMENTE EXTRAÍDOS

Nº Amostra	Diâmetro	Altura	Data Extração	Data Ruptura	Resistência Encontrada (fci,ext,inicial)	Coeficientes de correção				Resistênc. Corrigida (fci,ext)	Observações
						k1	k2	k3	k4		
L2 CP1	54,0 mm	149,0 mm	13/12/22	14/12/22	37,78 MPa	0	0,115	0,05	-0,04	42,49 MPa	
L2 CP2	54,8 mm	134,9 mm	13/12/22	14/12/22	37,16 MPa	0	0,114	0,05	-0,04	41,78 MPa	
L4 CP1	54,9 mm	149,5 mm	13/12/22	14/12/22	57,48 MPa	0	0,114	0,05	-0,04	64,62 MPa	
L4 CP1	54,3 mm	144,6 mm	13/12/22	14/12/22	41,05 MPa	0	0,115	0,05	-0,04	46,18 MPa	
L4 CP2	54,5 mm	149,4 mm	13/12/22	14/12/22	38,79 MPa	0	0,115	0,05	-0,04	43,63 MPa	P1 superfície
L4 CP2	55,2 mm	148,1 mm	13/12/22	14/12/22	44,51 MPa	0	0,114	0,05	-0,04	50,02 MPa	P2 fundo
L6 CP1	53,8 mm	150,4 mm	13/12/22	14/12/22	32,76 MPa	0	0,115	0,00	-0,04	35,23 MPa	Feto - concreto aplicado no dia 18/11
L6 CP1	54,2 mm	148,1 mm	13/12/22	14/12/22	32,13 MPa	0	0,115	0,00	-0,04	34,54 MPa	Feto - concreto aplicado no dia 18/11
L6 CP2	54,3 mm	147,6 mm	13/12/22	14/12/22	27,74 MPa	0	0,115	0,00	-0,04	29,81 MPa	Feto - concreto aplicado no dia 18/11
L6 CP2	54,6 mm	149,8 mm	13/12/22	14/12/22	26,52 MPa	0	0,115	0,00	-0,04	28,50 MPa	Feto - concreto aplicado no dia 18/11

Nº Amostra	Diâmetro	Altura	Data Extração	Data Ruptura	Resistência Encontrada (fci,ext,inicial)	Coeficientes de correção				Resistênc. Corrigida (fci,ext)	Observações
						k1	k2	k3	k4		
L1-1	72,9 mm	154,3 mm	30/11/22	02/12/22	24,08 MPa	0	0,093	0,05	-0,04	26,55 MPa	Ferragem na amostra
L1-2	73,3 mm	154,8 mm	30/11/22	02/12/22	39,86 MPa	0	0,092	0,05	-0,04	43,93 MPa	
L2-2	73,1 mm	166,6 mm	30/11/22	02/12/22	30,00 MPa	0	0,092	0,05	-0,04	33,06 MPa	
L2-2	73,4 mm	155,2 mm	30/11/22	02/12/22	23,17 MPa	0	0,092	0,05	-0,04	25,53 MPa	Ferragem na amostra
L3-1	72,7 mm	150,5 mm	30/11/22	02/12/22	31,51 MPa	0	0,093	0,05	-0,04	34,75 MPa	
L4-3	72,3 mm	109,3 mm	30/11/22	02/12/22	25,03 MPa	-0,039	0,093	0,05	-0,04	26,63 MPa	Ferragem na amostra
L5-2	72,7 mm	159,8 mm	30/11/22	02/12/22	25,04 MPa	0	0,093	0,05	-0,04	27,61 MPa	
L5-3	72,3 mm	157,5 mm	08/12/22	12/12/22	28,16 MPa	0	0,093	0,05	-0,04	31,06 MPa	Ferragem na amostra
L6-2	72,4 mm	165,2 mm	30/11/22	02/12/22	20,58 MPa	0	0,093	0,00	-0,04	21,67 MPa	
L7-2	73,1 mm	162,8 mm	30/11/22	02/12/22	45,31 MPa	0	0,092	0,00	-0,04	47,68 MPa	
L7-2	73,5 mm	152,0 mm	30/11/22	02/12/22	38,69 MPa	0	0,092	0,00	-0,04	40,69 MPa	
L8-1	72,3 mm	154,4 mm	08/12/22	12/12/22	35,97 MPa	0	0,093	0,05	-0,04	39,69 MPa	

3- CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 ANÁLISE DOS TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS



3- CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.2 AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO x MODELO PREDITIVO

- $f_{ck} = 25\text{mpa}$ (dado de projeto)
- $T = 20$ anos (concretagem no ano de 2002)
- C_s (concentração de CO_2) $> 0,3\%$ (ambiente confinado/ industrial)

$e > 30\text{mm}$

**LOGO, o observado se deve fundamentalmente à
CARBONATAÇÃO NATURAL e NÃO AO INCÊNDIO!**

3- CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.3 VEREDITO

Diante do decorrido e contemplando os **resultados de pH obtidos**, o **bom aspecto superficial do concreto** e as **resistências aferidas no ensaio de ruptura à compressão** resta concluir que o concreto não sofreu alterações importantes e significativas relacionadas ao incêndio ocorrido, apresentando **nível baixo de dano**, o que dispensaria a adoção de medidas de reabilitação mais complexas e onerosas.

11 A 15
SETEMBRO | 2023
SÃO PAULO - SP

REALIZAÇÃO

GRATO PELA ATENÇÃO DE TODOS!!!!

Eng. Civil Luís Henrique Poy

Filiado ao IBAPE – SC

Especialista em *Patologia nas Obras Civis*

Mestre em *Engenharia de Avaliação de Ativos*

paralaxe@paralaxe.net.br

+55(47) 9.9974-7998

