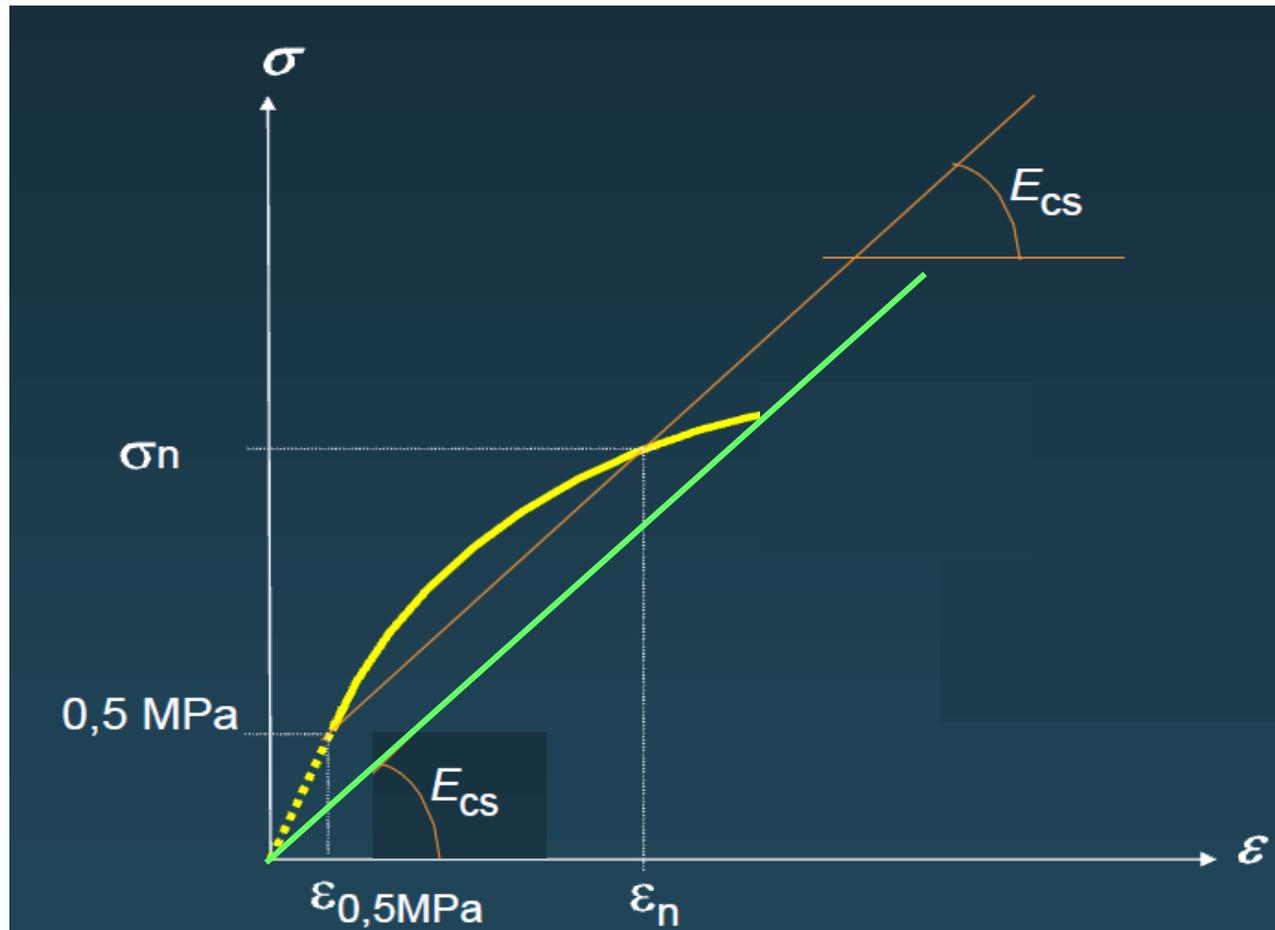


IE-set 2009

**CÁLCULO DOS
DESLOCAMENTOS DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO E PROTENDIDO;
DEFORMAÇÕES IMEDIATAS
E AO LONGO DO TEMPO**

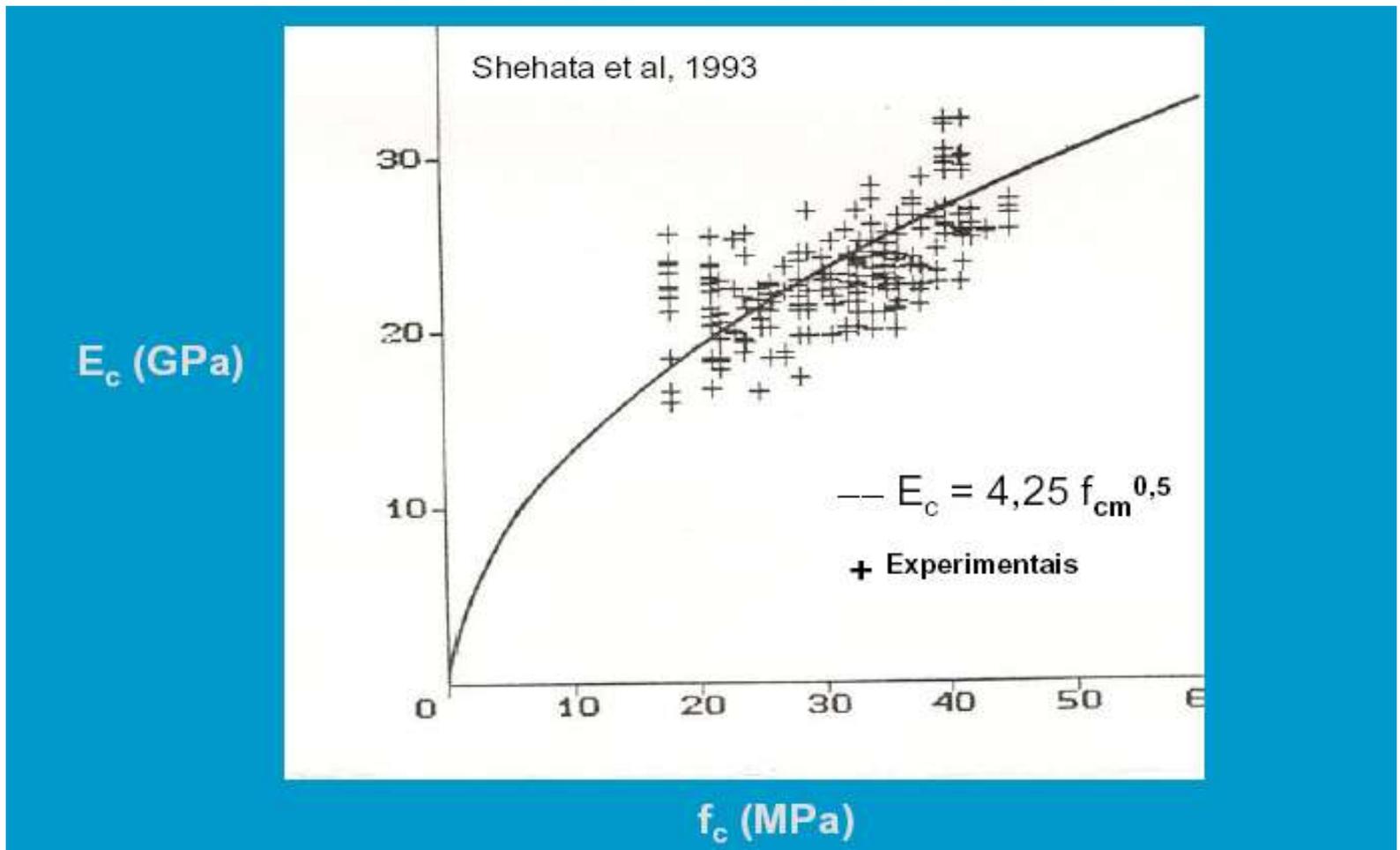
Eng. Ricardo Leopoldo e Silva França

Módulo de Elasticidade do Concreto confundido com o Modulo Cordal



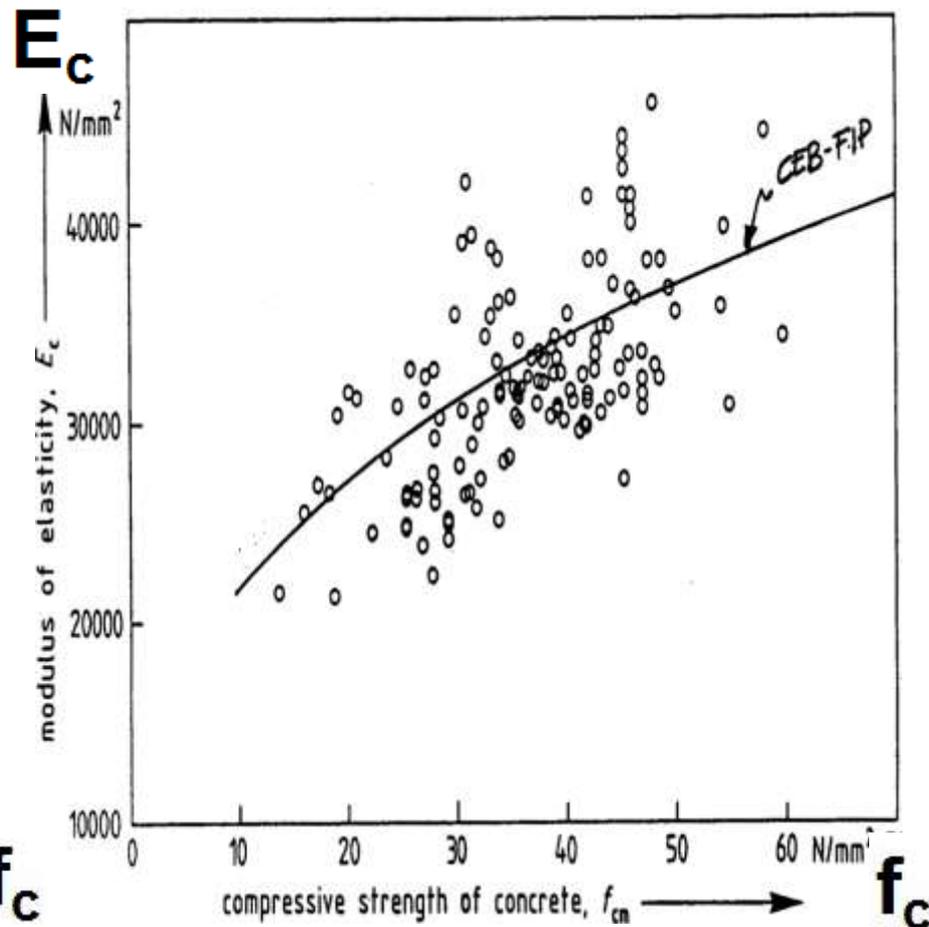
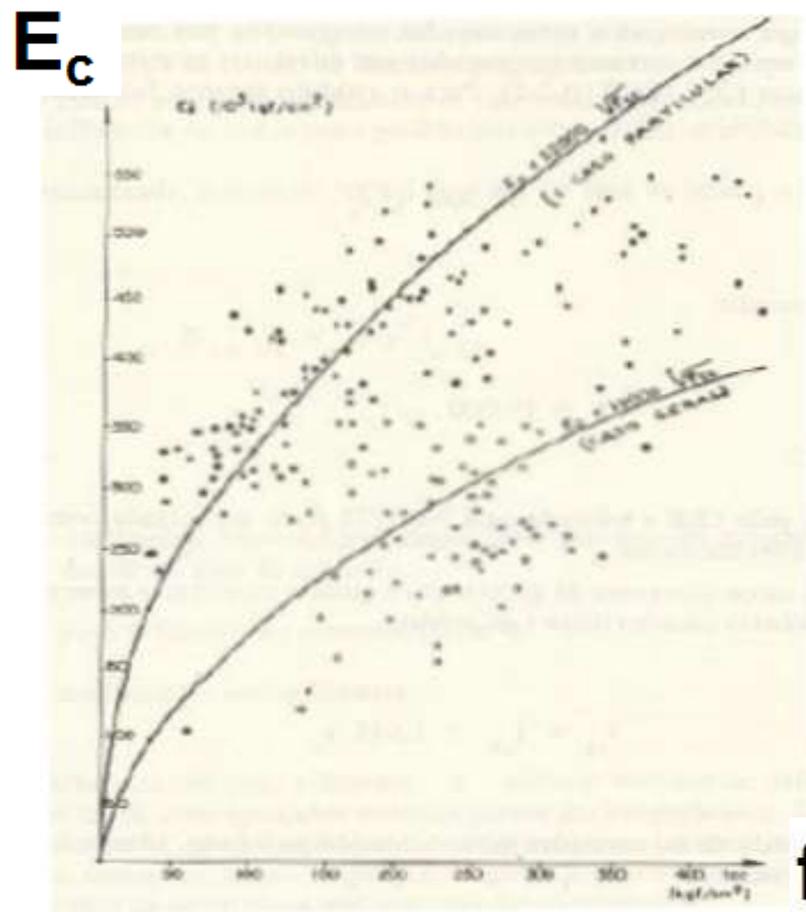
Modulo de Elasticidade-Brasil

Prof. Lidia Shehata



Modulo de Elasticidade

Prof. Péricles Fusco e CEB-FIP



Módulo de Elasticidade do Concreto

Módulo de Elasticidade Inicial do Concreto

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2} \ll E_{ci} = 6600(f_{ck} + 3.5)^{1/2}$$

onde E_c e f_{ck} são dados em MPa

No ensaio valor da corda entre 0,5 MPa e 0,3 f_c

Pode variar conforme a região de 3800 a 6800 !!!!

Módulo de Elasticidade Secante do Concreto

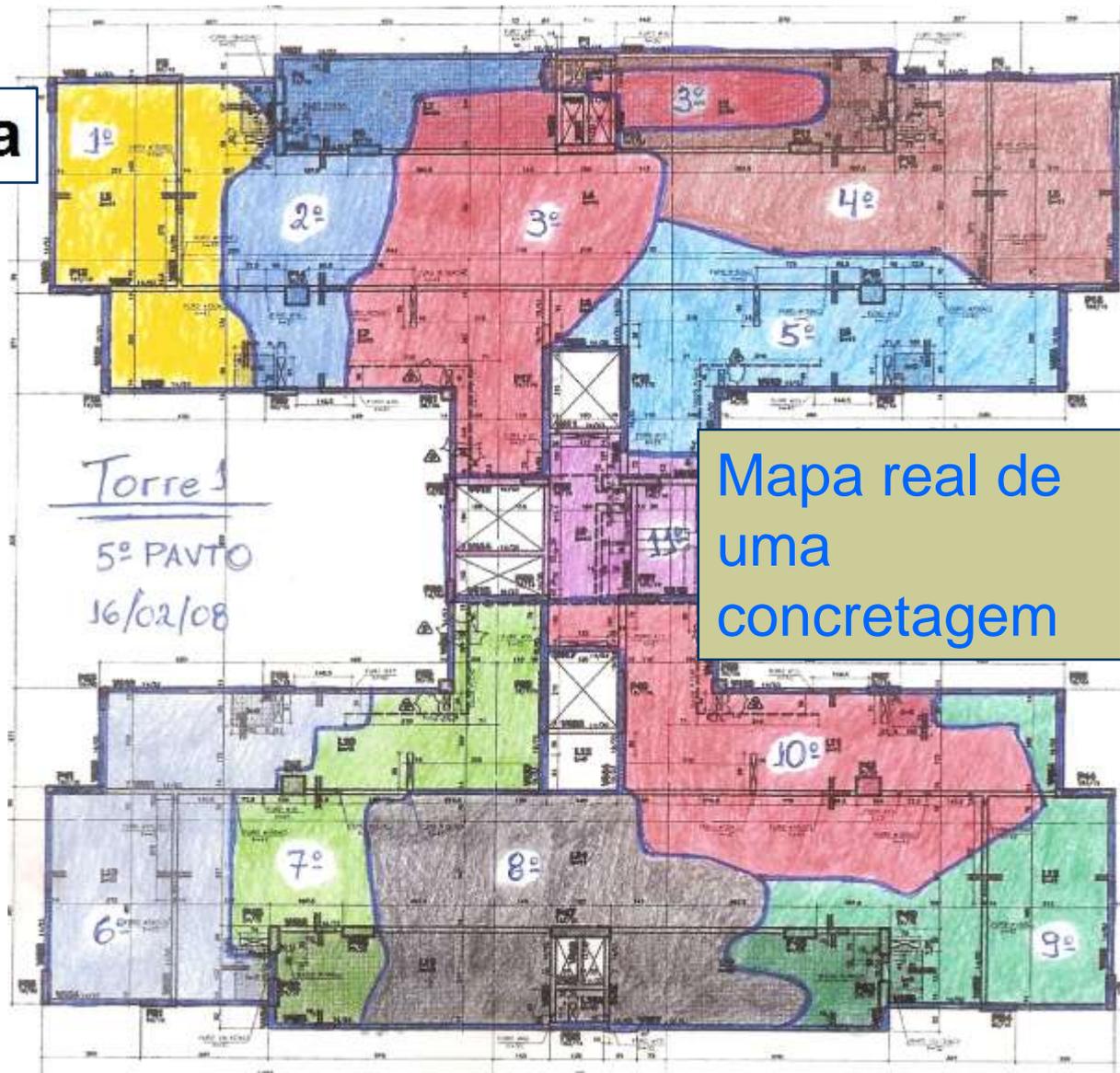
$$E_{cs} = 0,85 E_c$$

No ensaio valor da corda entre 0,5 MPa e 0,4 f_c

Porque correlacionar E_c com f_{ck} ?

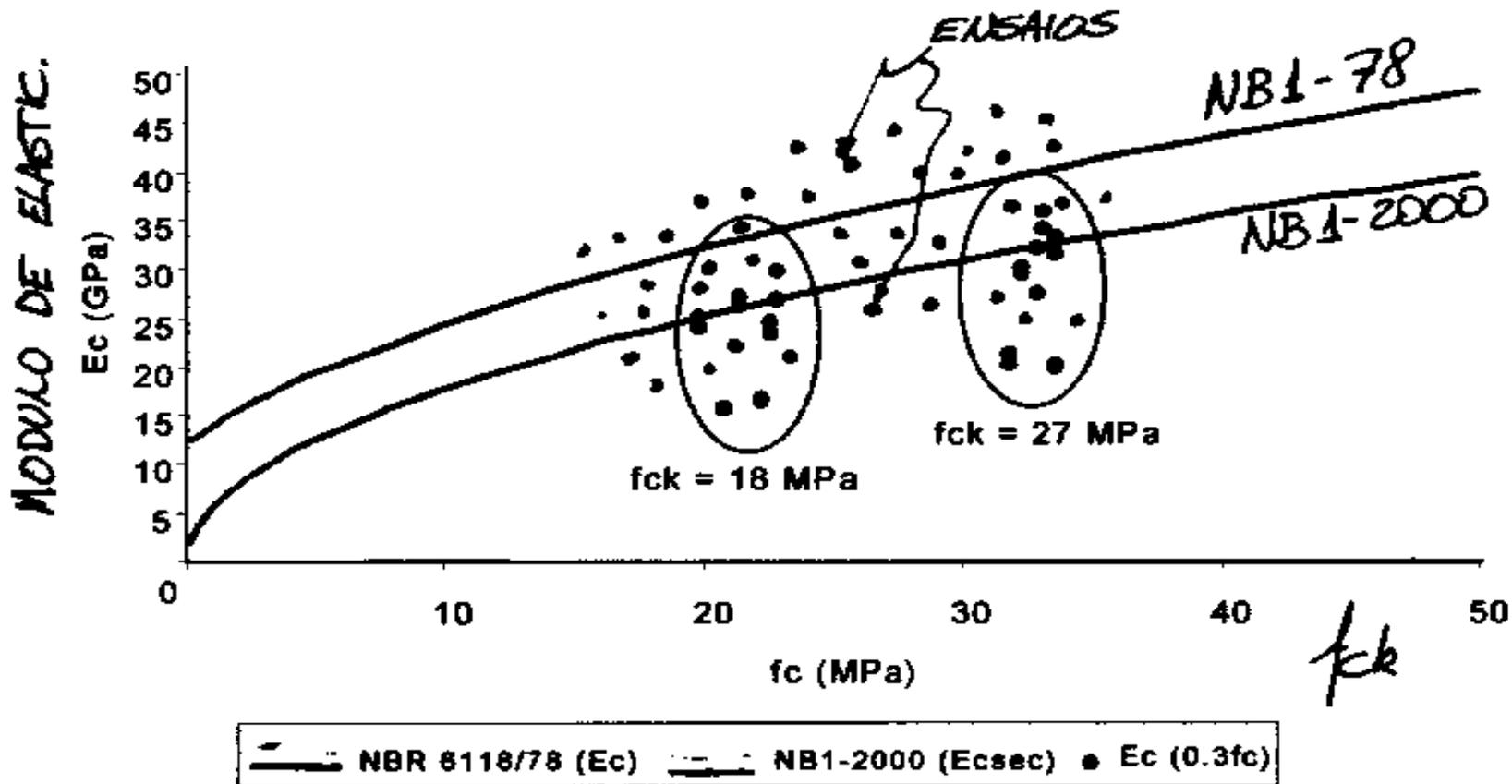
$$f_{ck,projeto} = 35 \text{ Mpa}$$

Betonada	f_c
1	35,6
2	36,0
3	36,2
4	37,1
5	35,2
6	34,8
7	37,5
8	38,3
9	35,8
10	35,4
11	37,6



Mapa real de uma concretagem

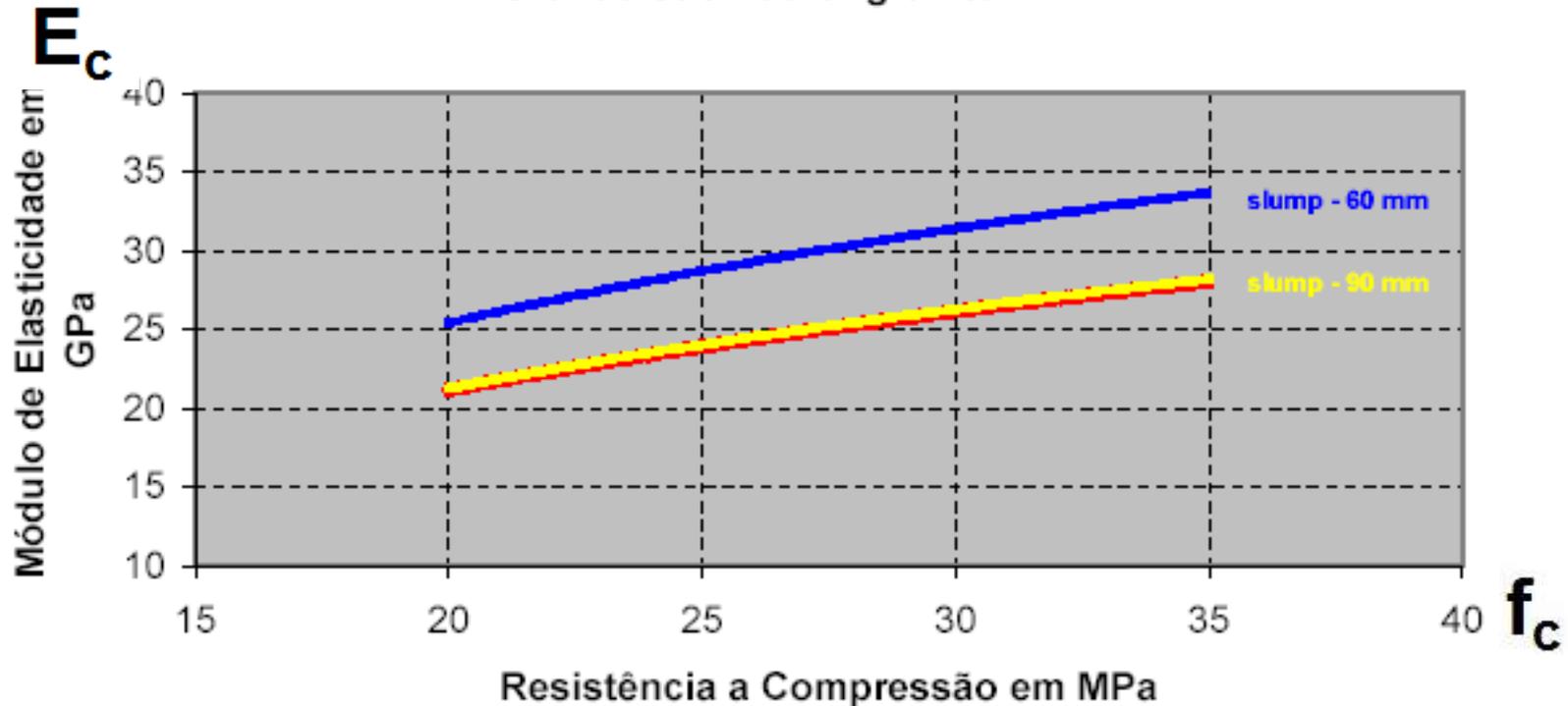
Modulo de Elasticidade Realidade Brasileira



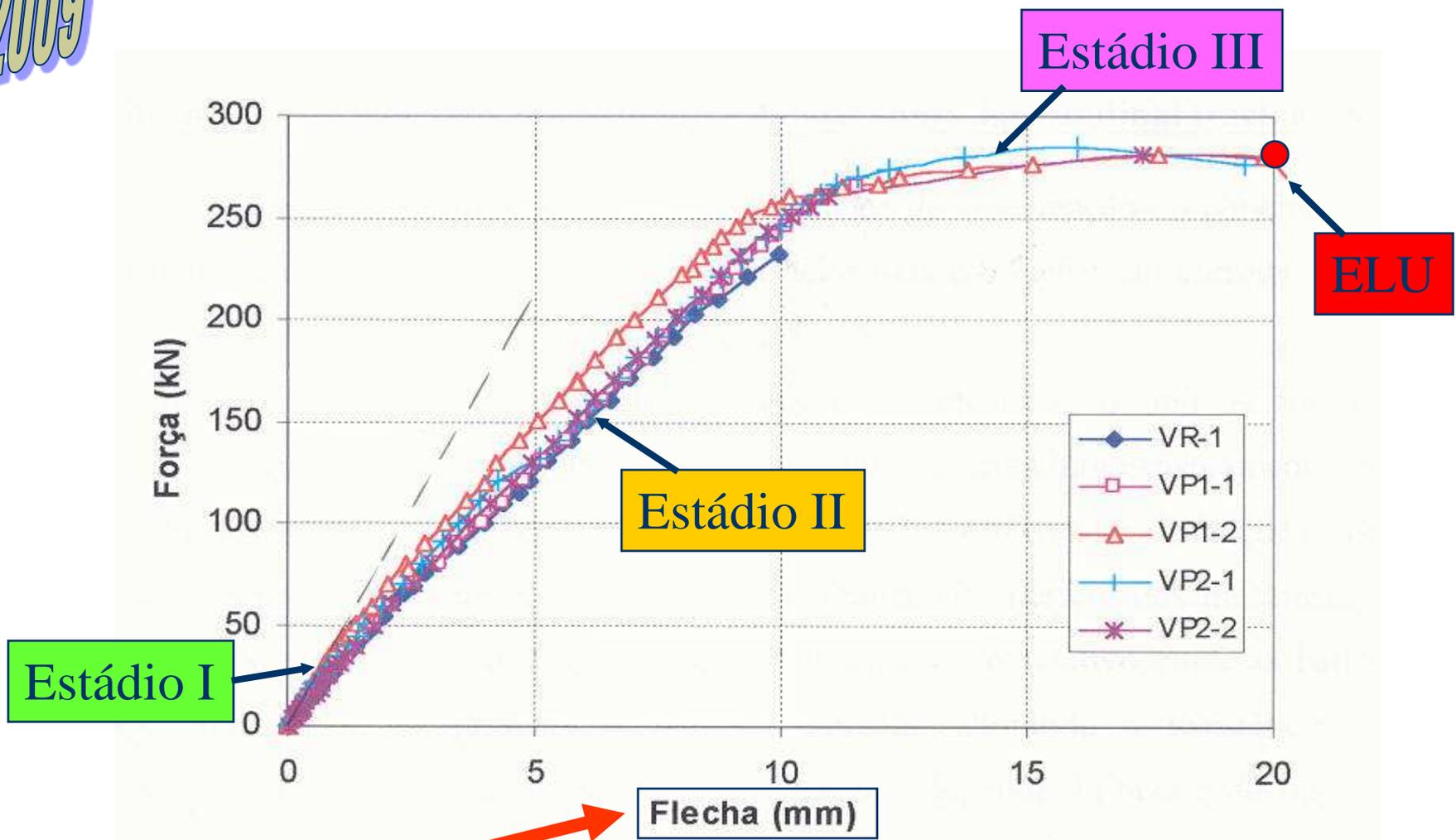
Contribuição Experimental Sobre o Módulo de Elasticidade Secante para Determinação de Esforços Solicitantes e Verificação de Estados Limites de Serviço

Massucato, Carlos J. ; Bassani, Fabrício ; Paulon, Wladimir Antonio

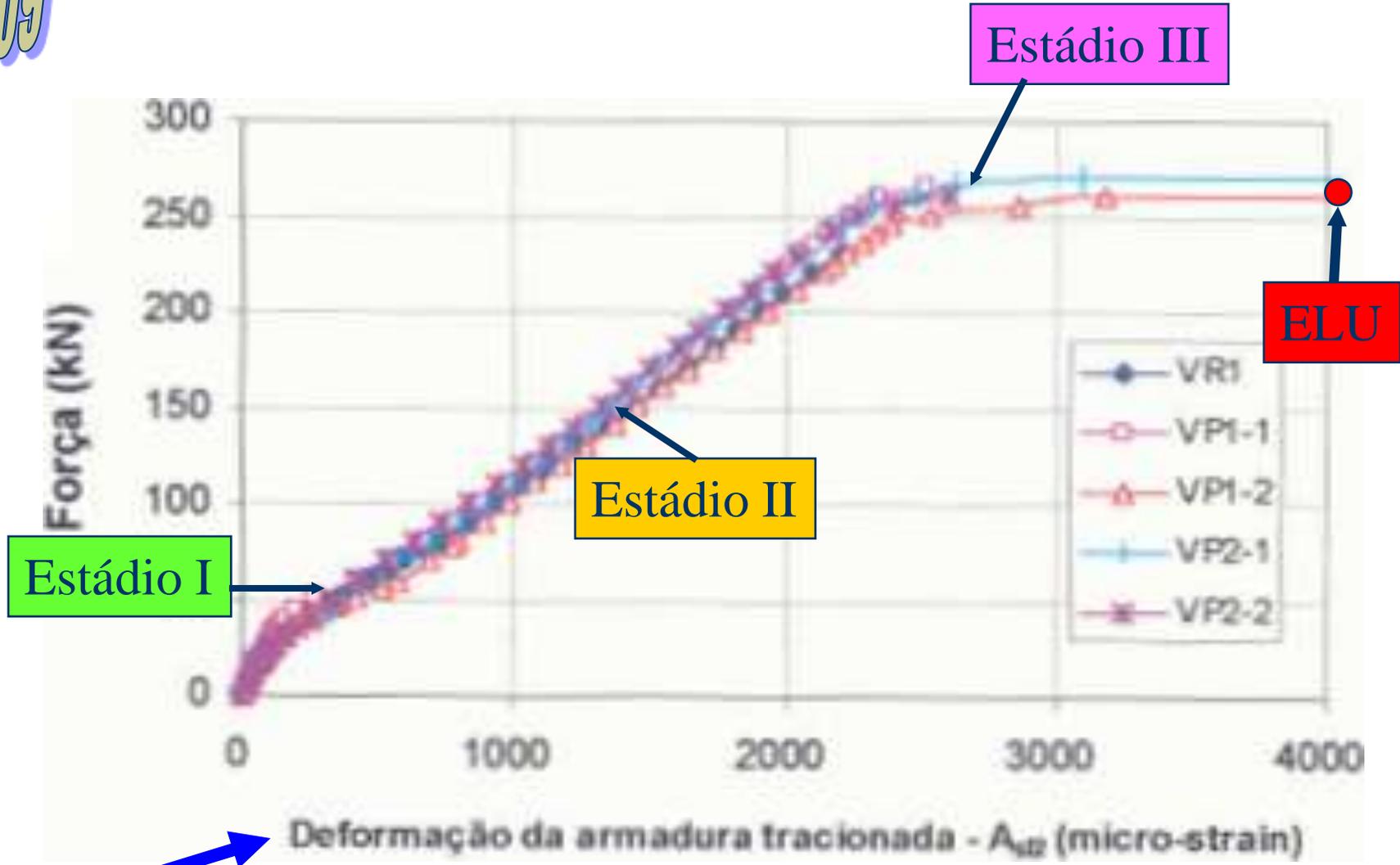
Módulo de Elasticidade Secante (E_c) a 30% f_c
Grande São Paulo *granito



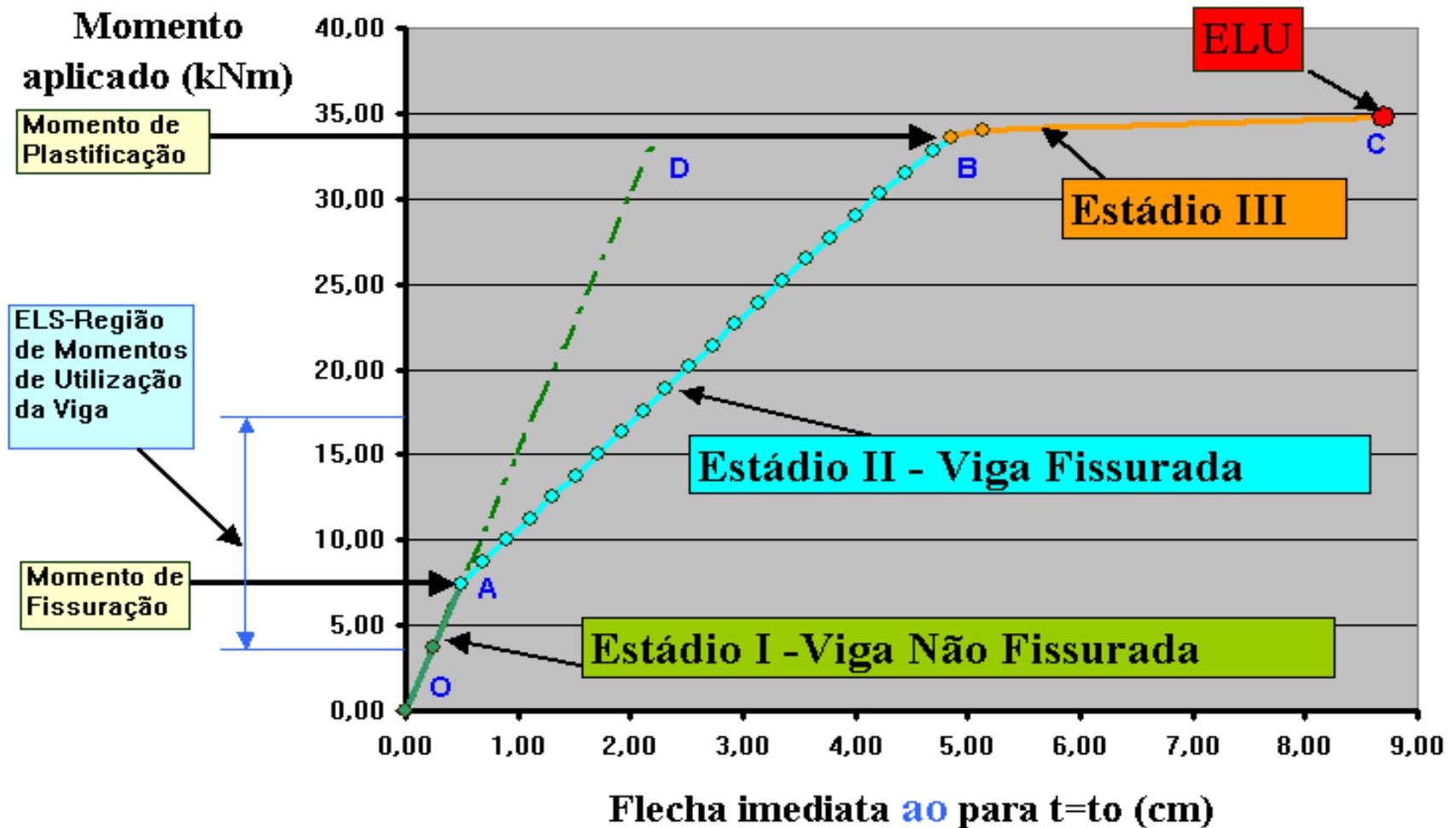
Ensaio de vigas (Eng. Andrea Reis)



Ensaio de vigas (Eng. Andrea Reis)

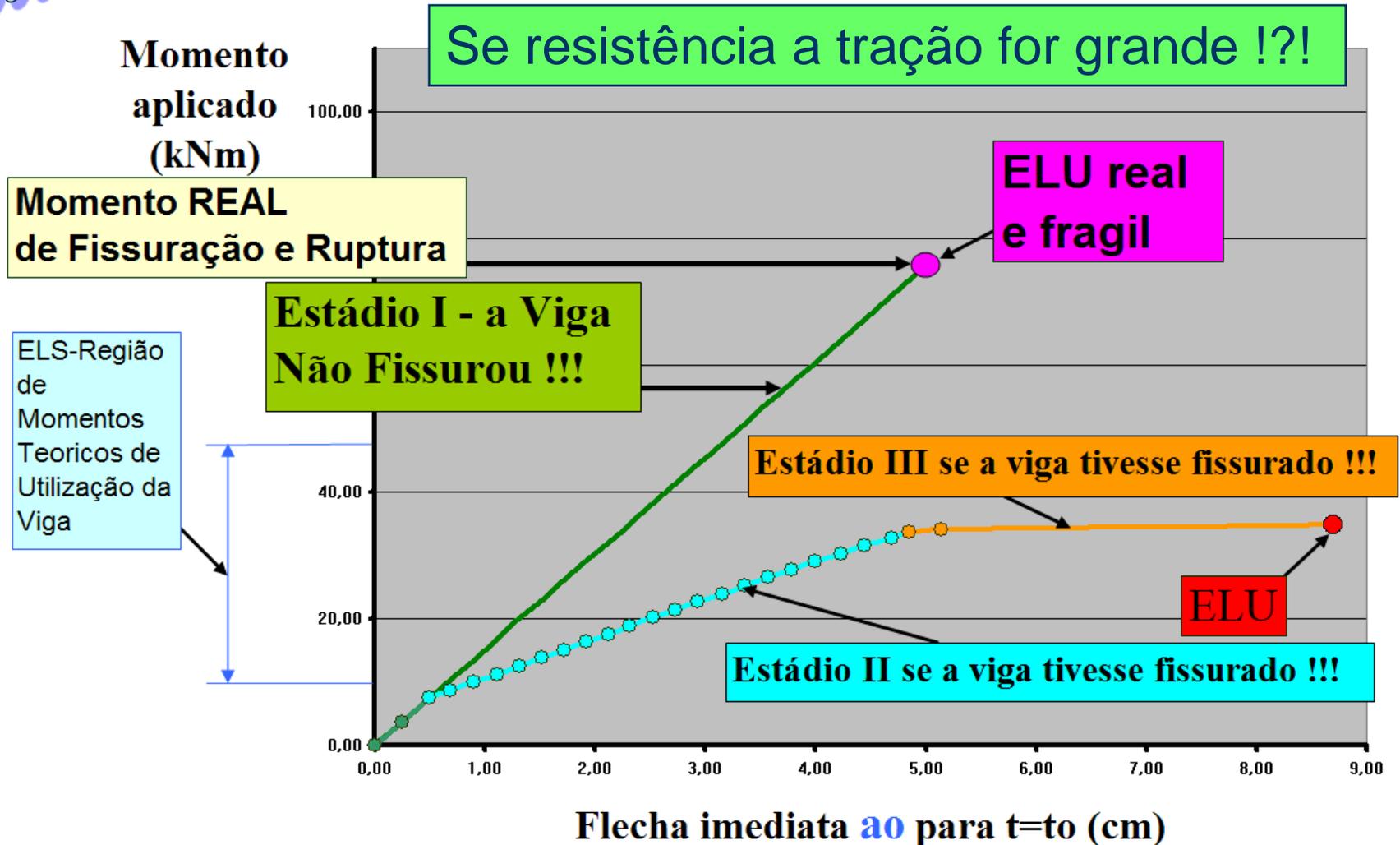


CONCEITOS BÁSICOS



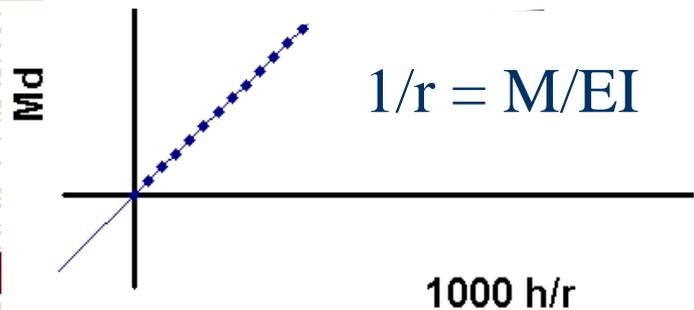
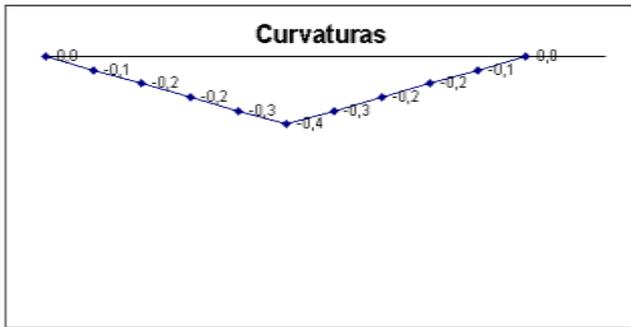
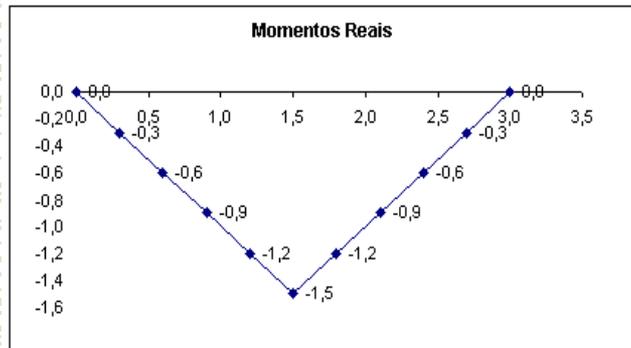
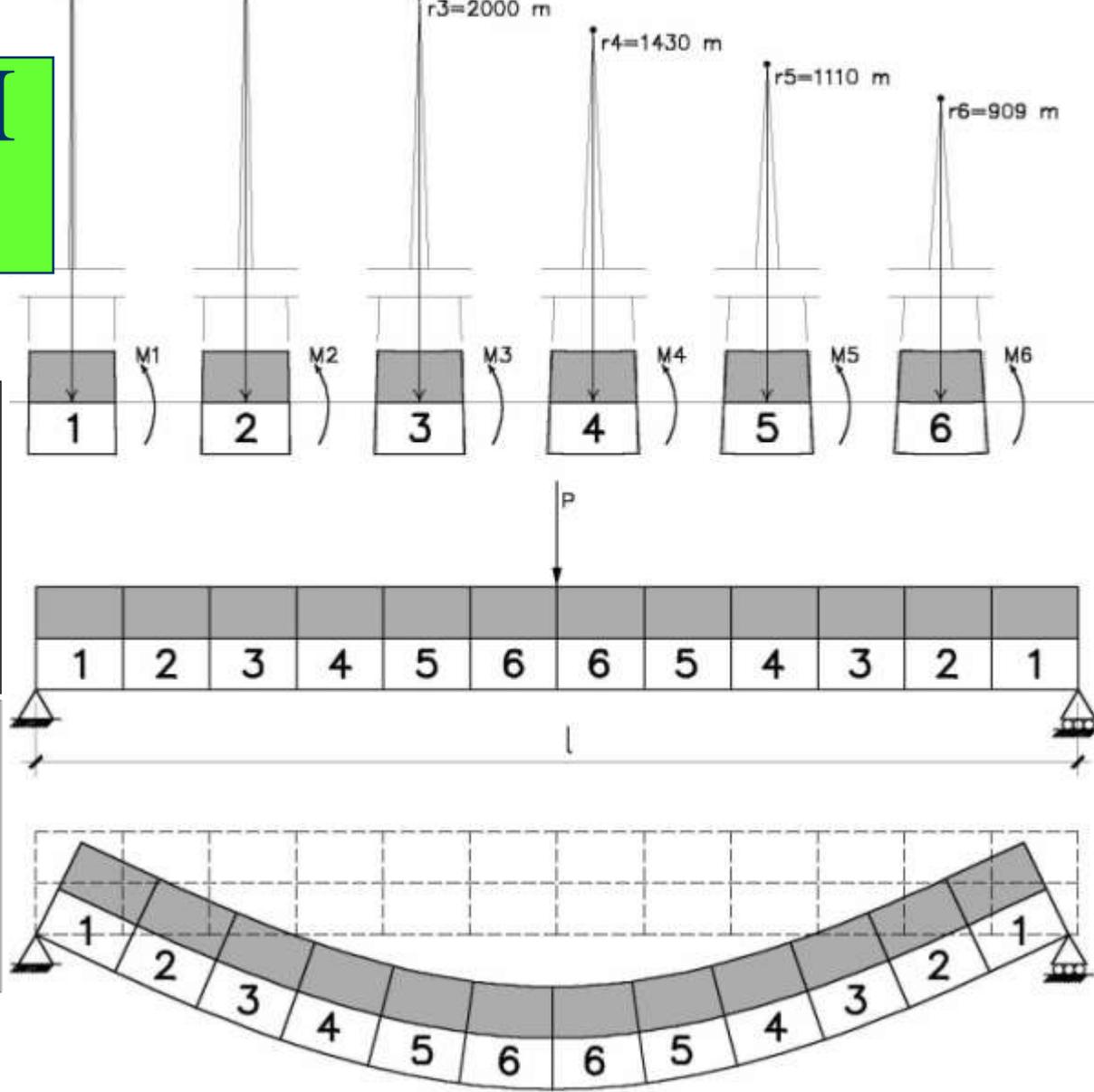
CONCEITOS BÁSICOS

Porque $A_{s,min}$ e $M_{d,min}$?



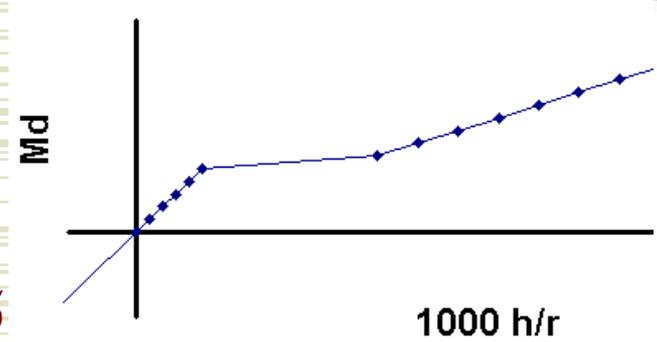
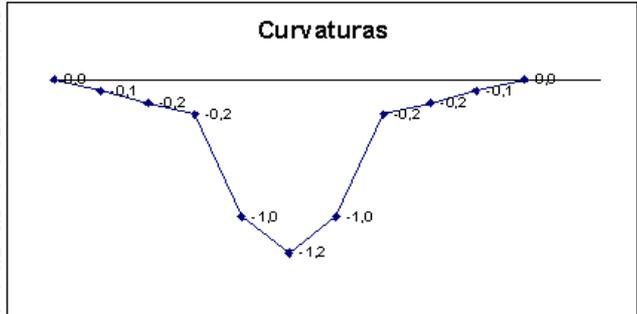
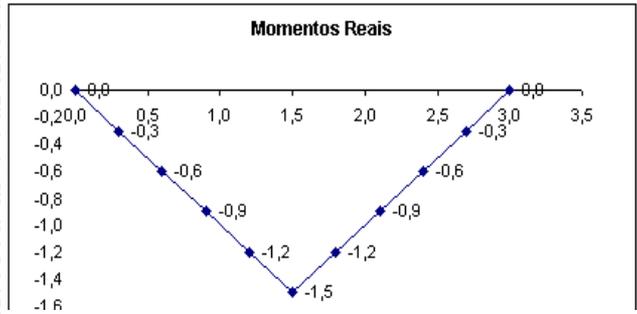
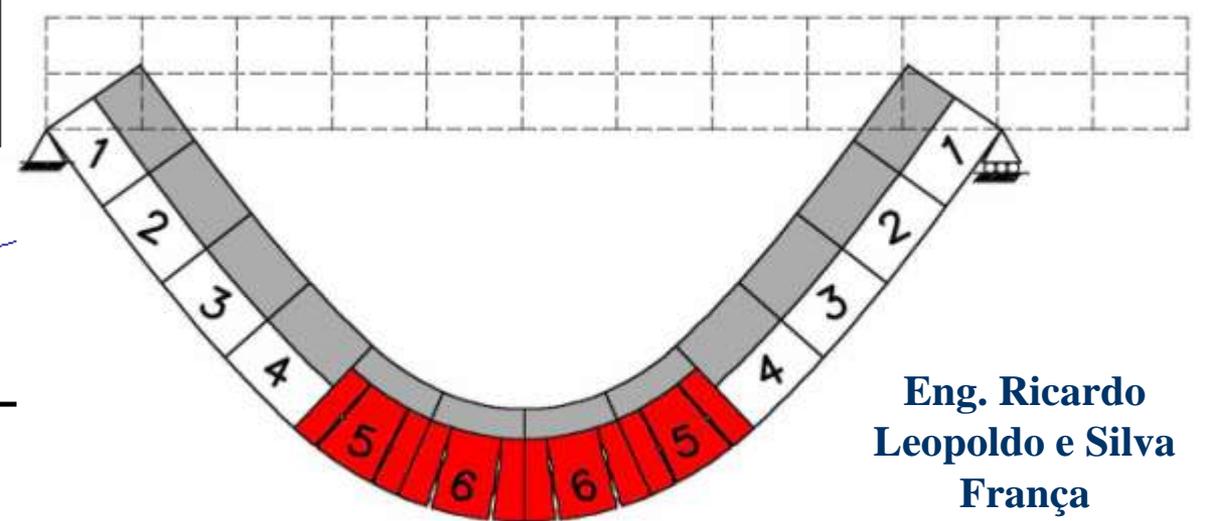
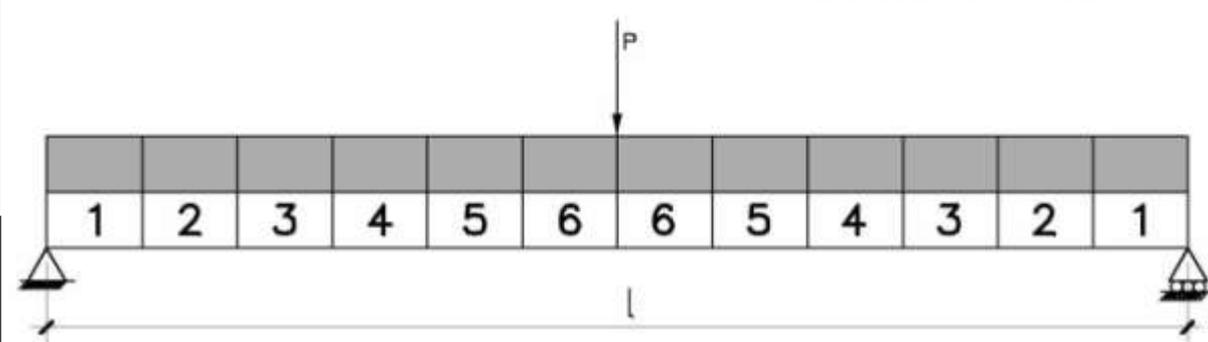
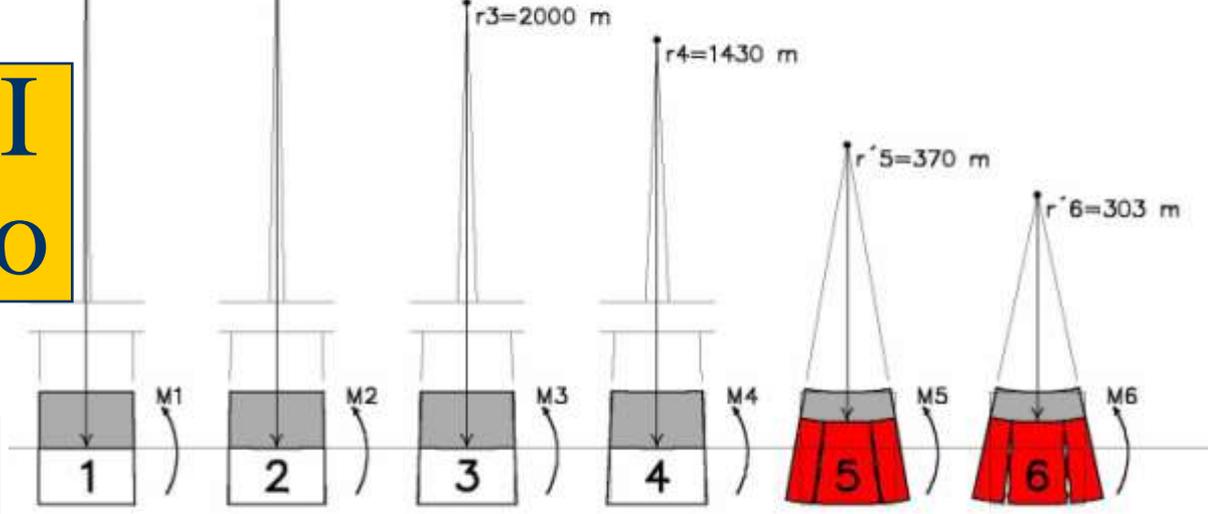
Estádio I

t=t₀



IE
set 2009

Estádio II Puro ,t=to



**Eng. Ricardo
Leopoldo e Silva
França**

Exemplo de Integração da curvatura

Microsoft Excel - Enece Viga ret Fred B3.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

R5 = 4

Planilha para cálculo de rotações e deslocamentos numa viga bi-apoiada com momentos nas extremidades e carregamento constante Mr= 1,20 tfm

	P=	a=	b _w	h	b _f	h _f	d	d'	d _p	A _s	A' _s	A _p	Seção	E _c	E _s	E _p	f _{ct,fl}	Tensão prot	
	tf	L/2	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)	cl Aço	(GPa)	(GPa)	(GPa)	(MPa)	(tf/cm ²)	
p=	0		20	30	0,0001	0	26	3,5	15	4,25	0	0	0	25	210	200	4,00	11	
Ma=	0																		
Mb=	0																		
			L=	3,0			Apoios		A ep=	0,00		B ep=	0,00				Usar cargas equiv ?	1	(0=Não)

Carreg. Real

Momentos Fict

Curvaturas

Deslocamentos em cm

		0,200267	0,2402667	0,2802667	0,362076	1,082238	1,202395	1,322555	1,442714	1,562874	1,683033	1,803192
0,56667	0,2666667	0,2666667	0,2666667	4,5453984	0,801063	0,801063	0,801063	0,801063	0,801063	0,801063	0,801063	0,801063
0,451	0,801	0,751	0,901	1,051	1,201	1,351	1,501	1,651	1,801	1,951	2,101	2,251

Momentos Reais

Viga Biapoiada Estádio II com Protensão Momento x Curvatura Rigidez x Momento

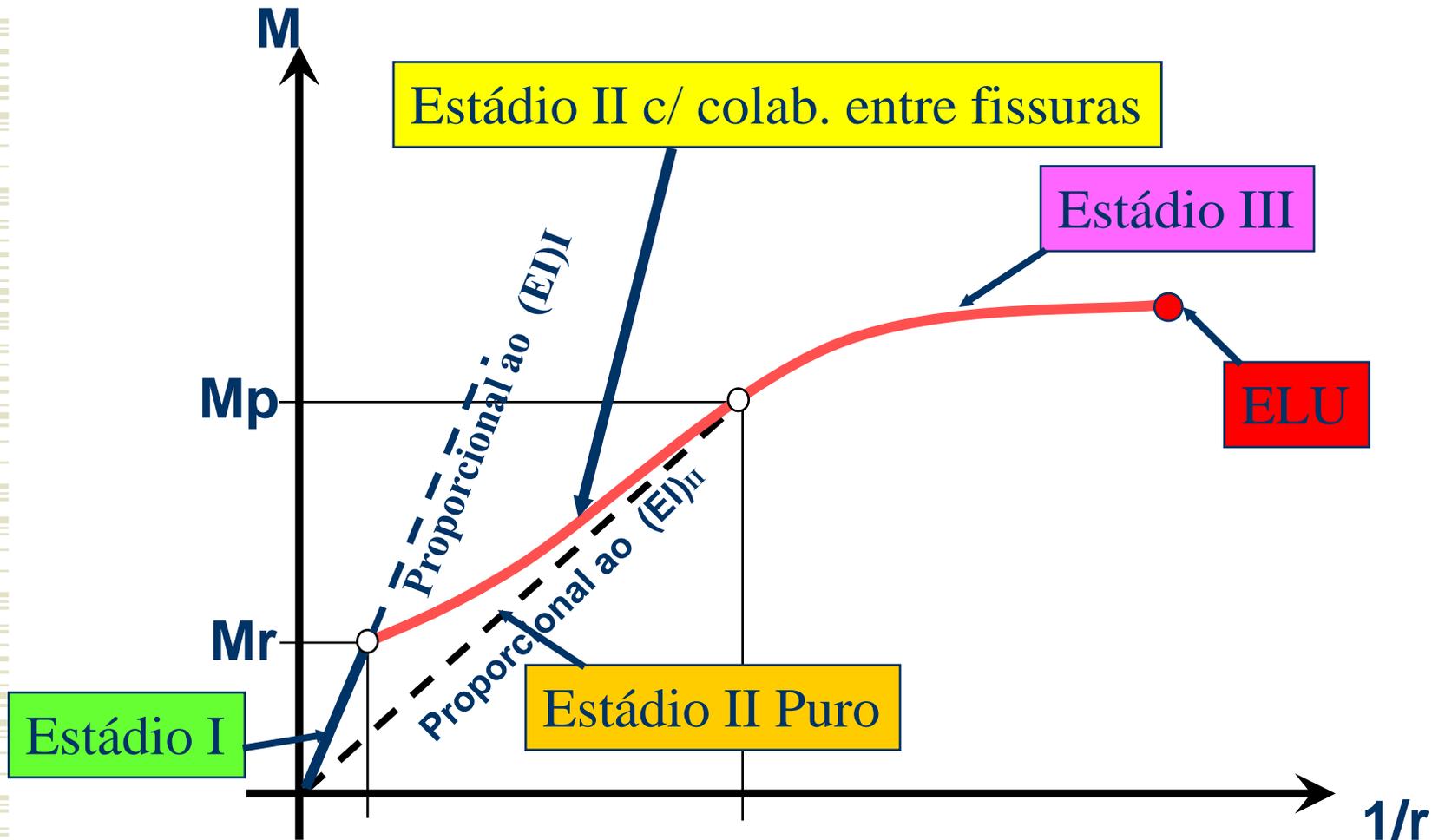
Desenhar AutoFormas

Pronto

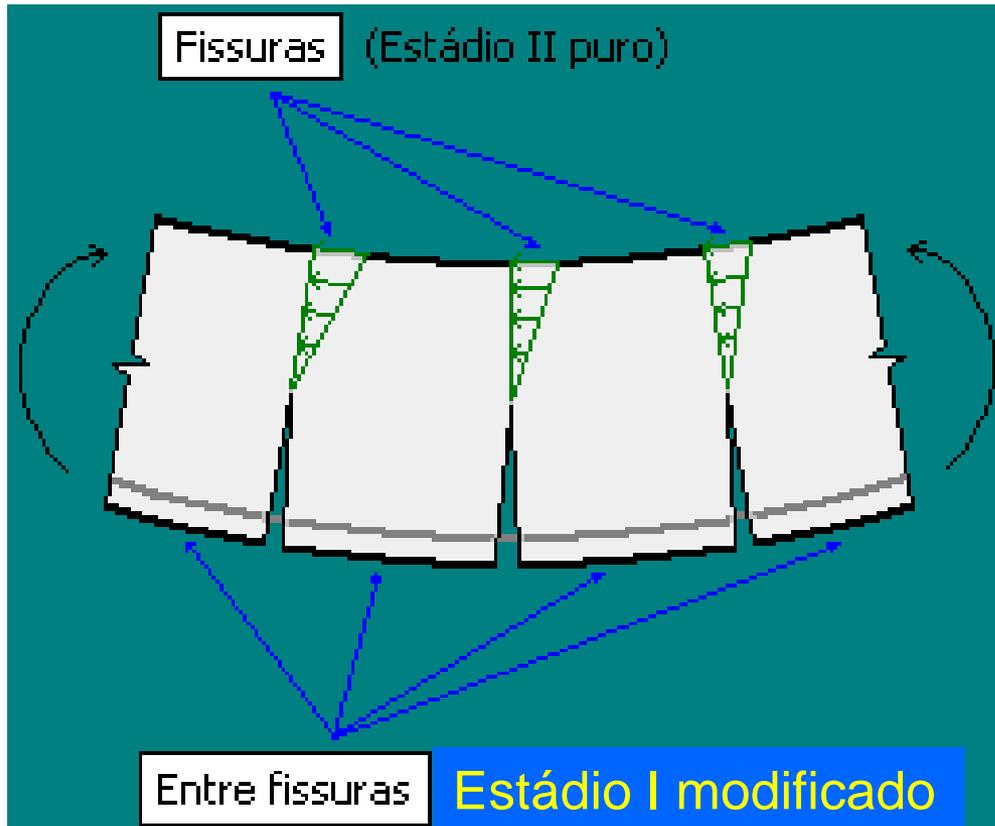
NUM

22:51

Estádio II com colaboração (da zona tracionada de concreto) entre fissuras ou enrijecimento a tração ($t=t_0$)



Estádio II com colaboração (da zona tracionada de concreto) entre fissuras ou enrijecimento a tração ($t=t_0$)



“Tension stiffening”

Enrijecimento a tração ou Colaboração entre fissuras

Nova NB1

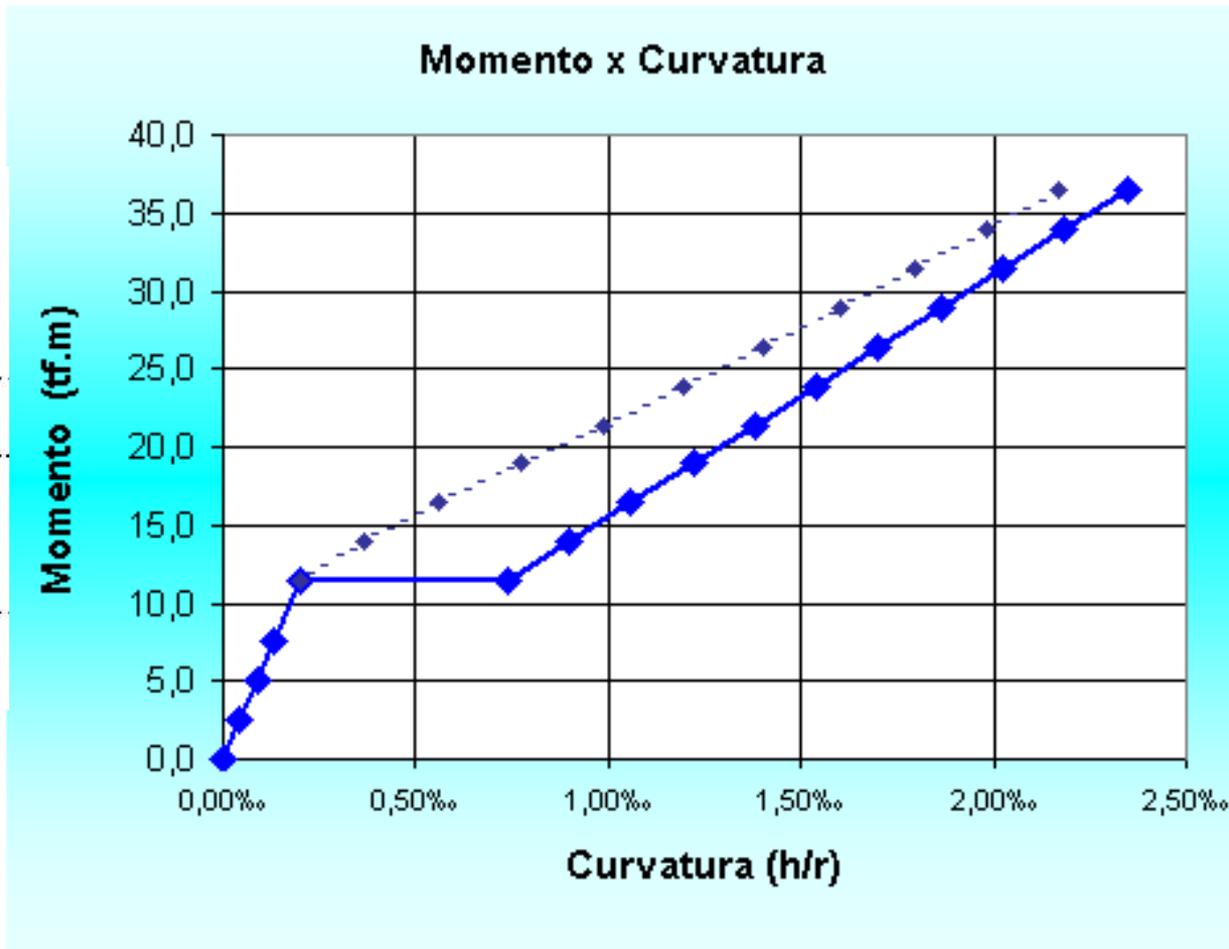
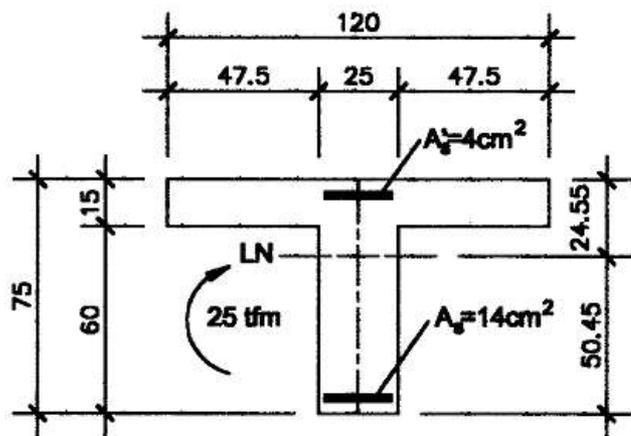
t=t₀

17.3.2.1.1 Flecha imediata em vigas de concreto armado

Para uma avaliação aproximada da flecha imediata em vigas, pode-se utilizar a expressão de rigidez equivalente dada a seguir:

$$(EI)_{eq} = E_{cs} \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c$$

Exemplo de M-1/r com enrijecimento a tração



Enrijecimento a tração ou Colaboração entre fissuras

BRANSON

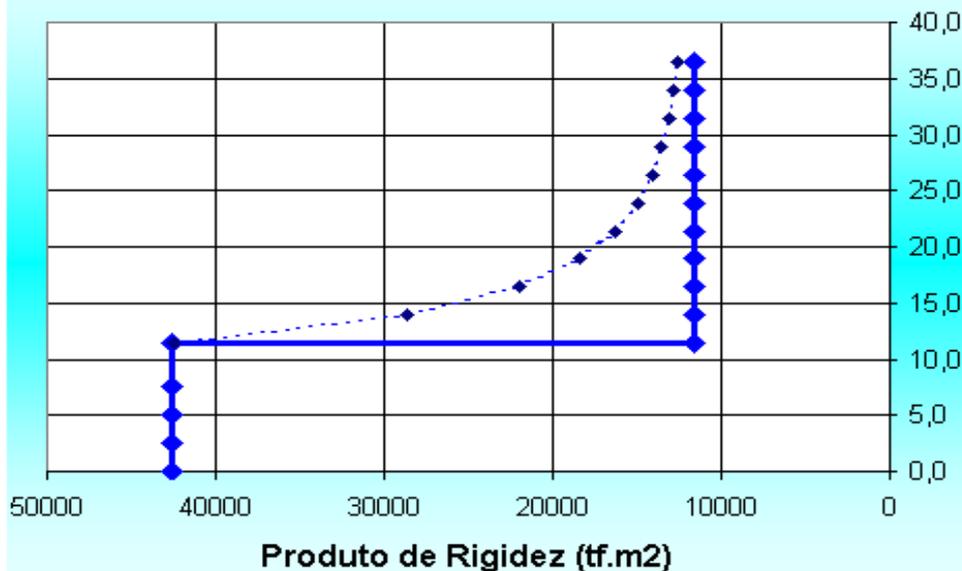
Nova NB1

$$(EI)_{eq} = E_{cs} \cdot \left[\left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \cdot I_c + \left(1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right) \cdot I_{II} \right]$$

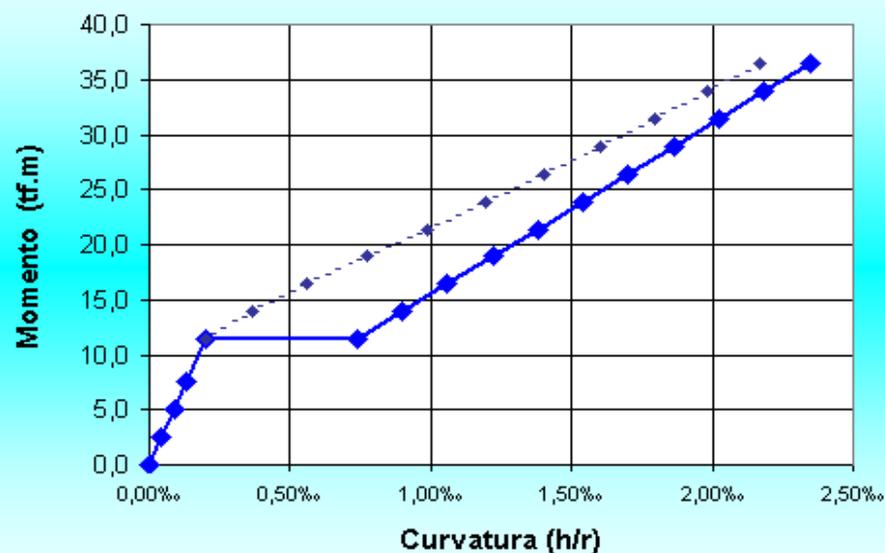
	$E_{cs} I_c$	$E_{cs} I_{II}$
$M_a = 1,0M_y$	1,00	0
$M_a = 1,5M_y$	0,30	0,70
$M_a = 2,0M_y$	0,13	0,88
$M_a = 3,0M_y$	0,04	0,96

Exemplo de M-1/r e Rigidez-M com enrijecimento a tração

Momento x EI eq



Momento x Curvatura



Exemplo de Aplicação da Aproximação de Branson

$$M_a = 18 \text{ tf.m} = 1,58M_r$$

$$(EI)_{eq} = 0,254 \cdot E_{cs} \cdot I_c + 0,746 \cdot E_{cs} \cdot I_{II}$$

$t = t_0$	$E_{cs} I_c = 42610 \text{ tf.m}^2$	$(EI)_{eq t=t_0} = 19507 \text{ tf.m}^2$
	$E_{cs} I_{II} = 11641 \text{ tf.m}^2$	

$$\text{flecha}(t_\infty) = a_{t_\infty} = \beta \cdot a_{t_0} = \beta \cdot \text{flecha}(t_0)$$

Nova NB1 - Anexo A (informativo)

Efeito do tempo no concreto estrutural

A.2.2.1 Generalidades

A deformação por fluência do concreto (ε_{cc}) compõe-se de duas partes, uma rápida e outra lenta. A deformação rápida (ε_{cca}) é irreversível e ocorre durante as primeiras 24 h após a aplicação da carga que a originou. A deformação lenta é por sua vez composta por duas outras parcelas: a deformação lenta irreversível (ε_{ccf}) e a deformação lenta reversível (ε_{ccd}).

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cca} + \varepsilon_{ccf} + \varepsilon_{ccd}$$

$$\varepsilon_{c,tot} = \varepsilon_c + \varepsilon_{cc} = \varepsilon_c (1 + \varphi)$$

$$\varphi = \varphi_a + \varphi_f + \varphi_d$$

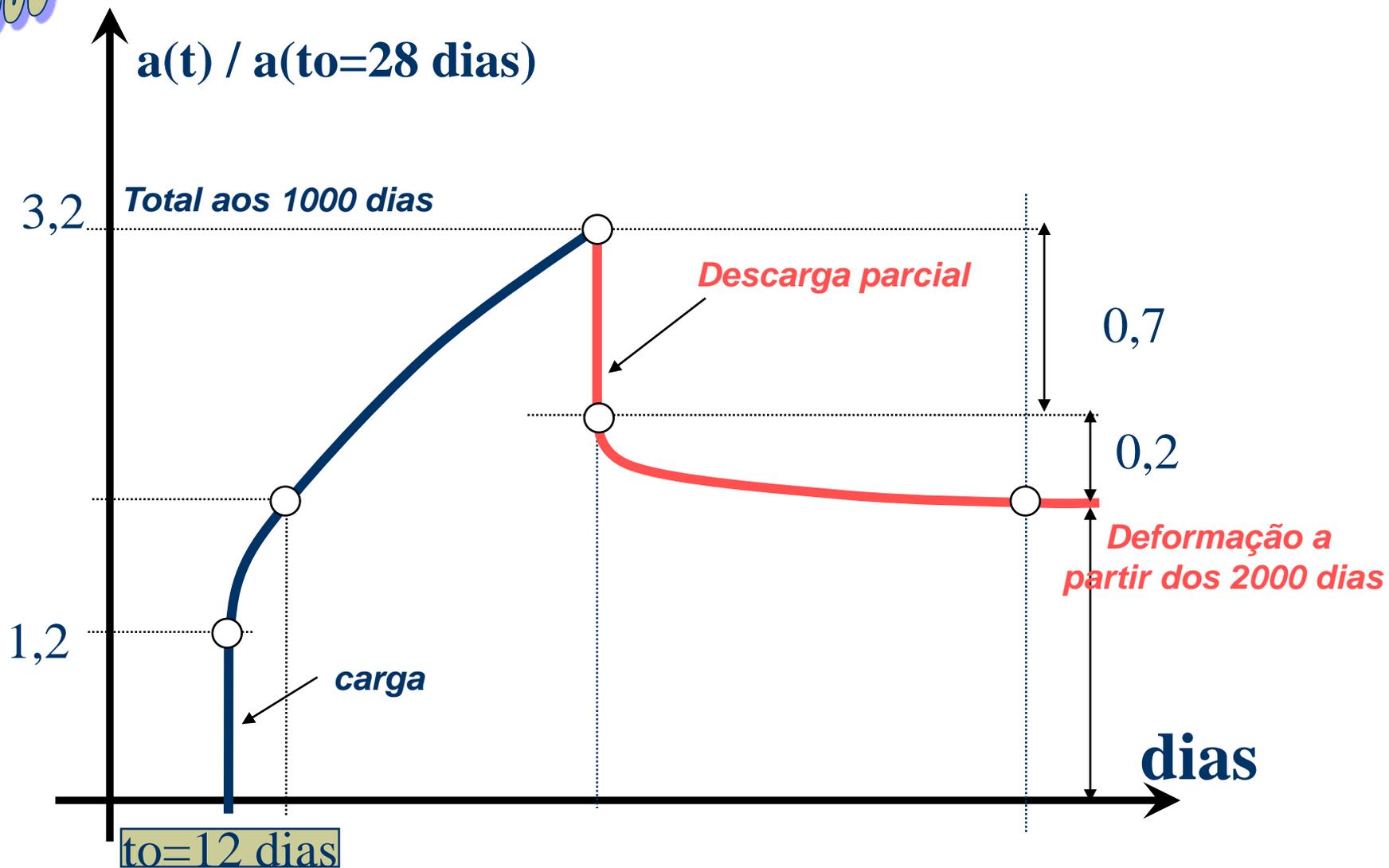
onde:

φ_a é o coeficiente de deformação rápida;

φ_f é o coeficiente de deformação lenta irreversível;

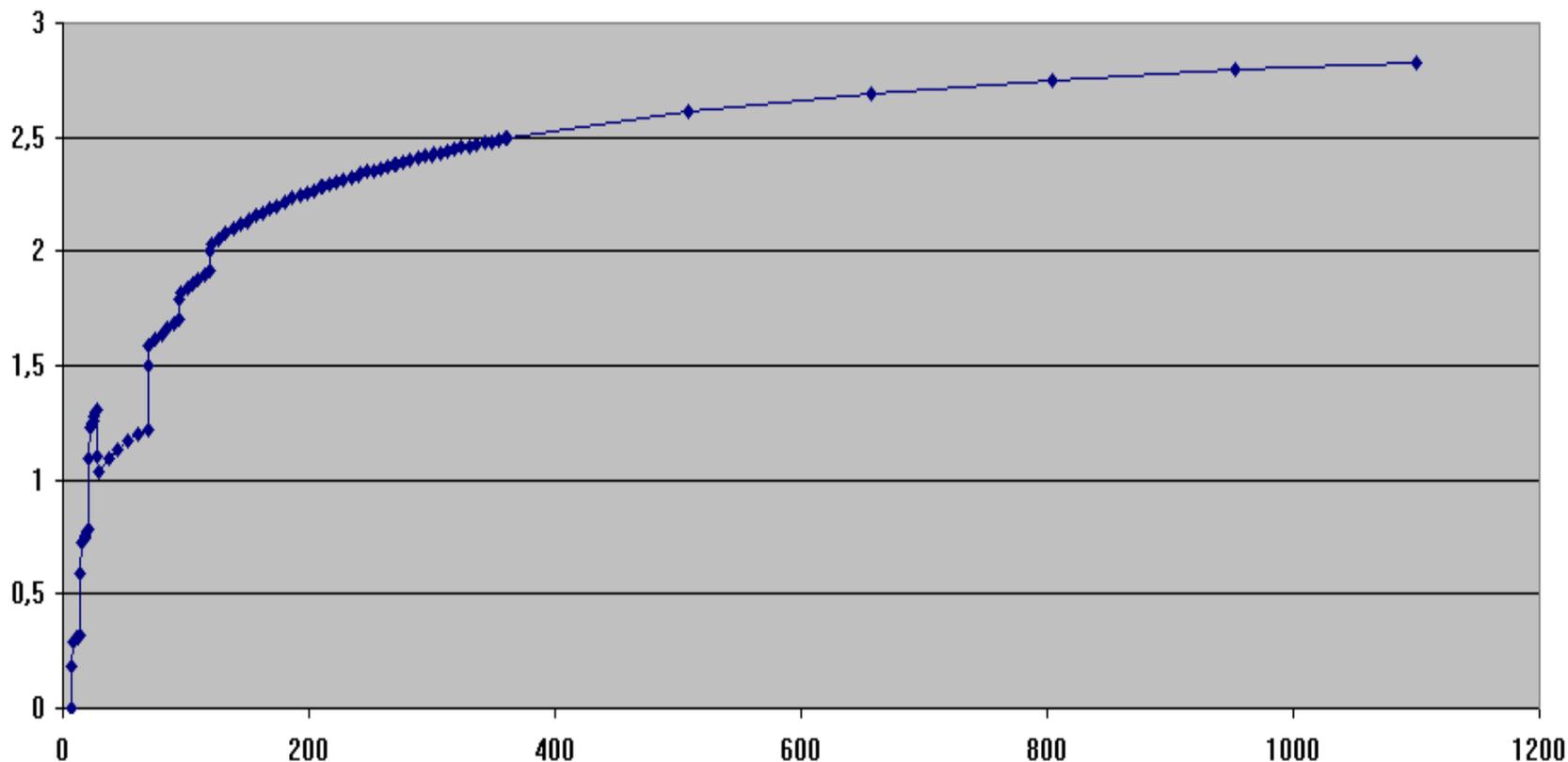
φ_d é o coeficiente de deformação lenta reversível.

Efeito da fluência do concreto na deformabilidade



Variação do efeito da Fluência com carregamentos ao longo do tempo

	t0	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	
Idade do Carregamento (dias)	7	14	21	28	69	95	120									Soma
Carregamento [delta p / p tot]	0,15	0,25	0,3	-0,2	0,3	0,1	0,1									1



Efeito da fluência do concreto na deformabilidade

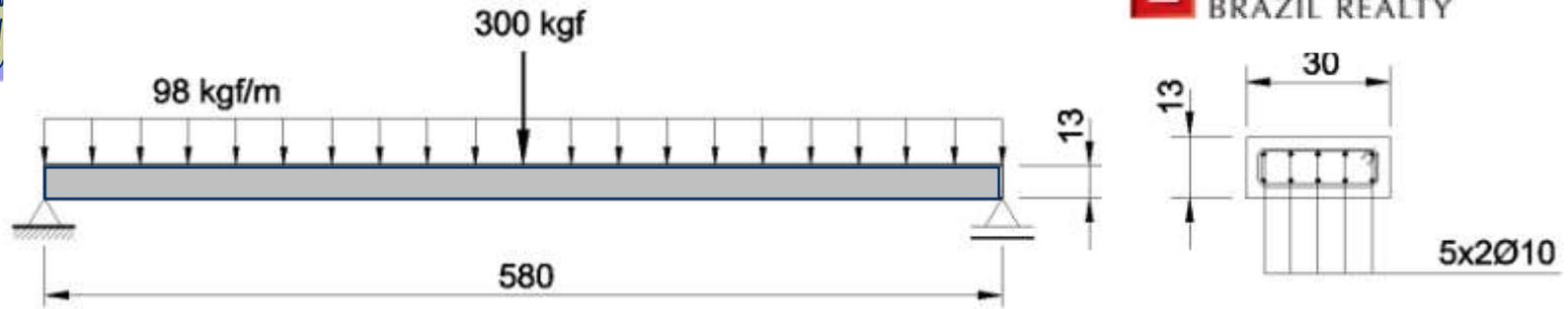
Fatores que influenciam na deformabilidade

- Tipo de cimento: de endurecimento- Lento, Normal e Rápido
- Tempo de manutenção da carga
- Nível de fissuração da peça
- Temperatura ambiente
- Umidade do ar que envolve a peça
- Espessura da peça
- Amadurecimento do concreto na data do carregamento

4 dentre 7 fatores, dependem das condições de cura !

IE
set 2009

Ensaio *TECYTA*



Cálculo de Flecha Imediata no Estádio I

$$f_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{i, \text{Estádio I}} = \frac{P\ell^3}{48 EI} + \frac{5pl^4}{384 EI} = \frac{300 \cdot (5,8)^3}{48 \cdot (153790)} + \frac{5 \cdot (98) \cdot (5,8)^4}{384 \cdot (153790)}$$

$$E_{cs} = 28 \text{ GPa} = 28 \cdot 10^8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$EI_I = 28 \cdot 10^8 \left(\frac{0,30 \cdot 0,13^3}{12} \right) = 153790 \text{ kgfm}^2$$

$$\alpha_{i, \text{Estádio I}} = 0,0173 \text{ m} = 1,73 \text{ cm}$$



IE
set 2009

Ensaaios *TECYTA*



Ensaio *TECYTA*



Figura 52: Vigas sob carga 1



Figura 53: Vigas sob carga 2

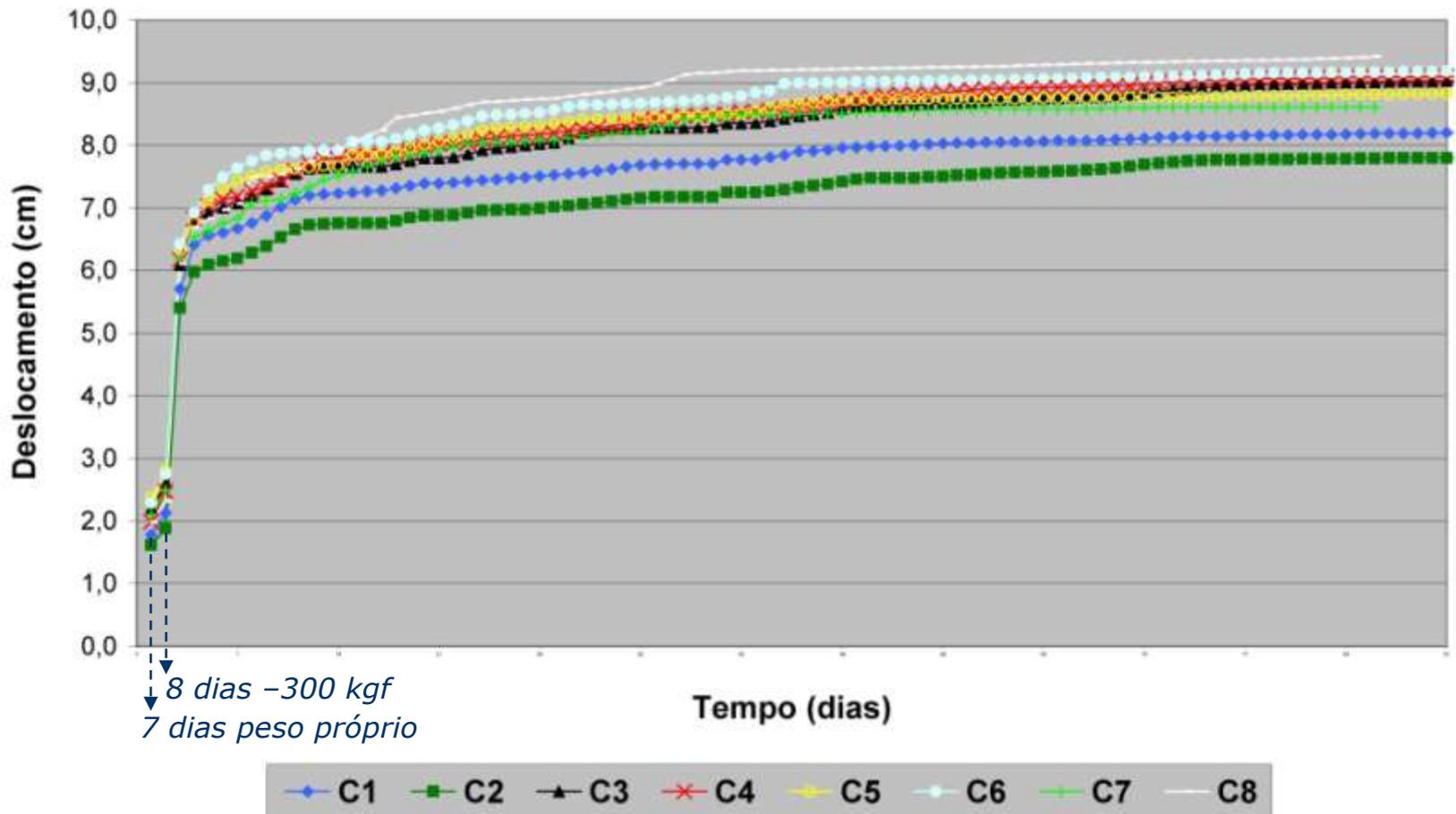


Figura 54: Vista geral 1



Figura 55: Vista geral 2

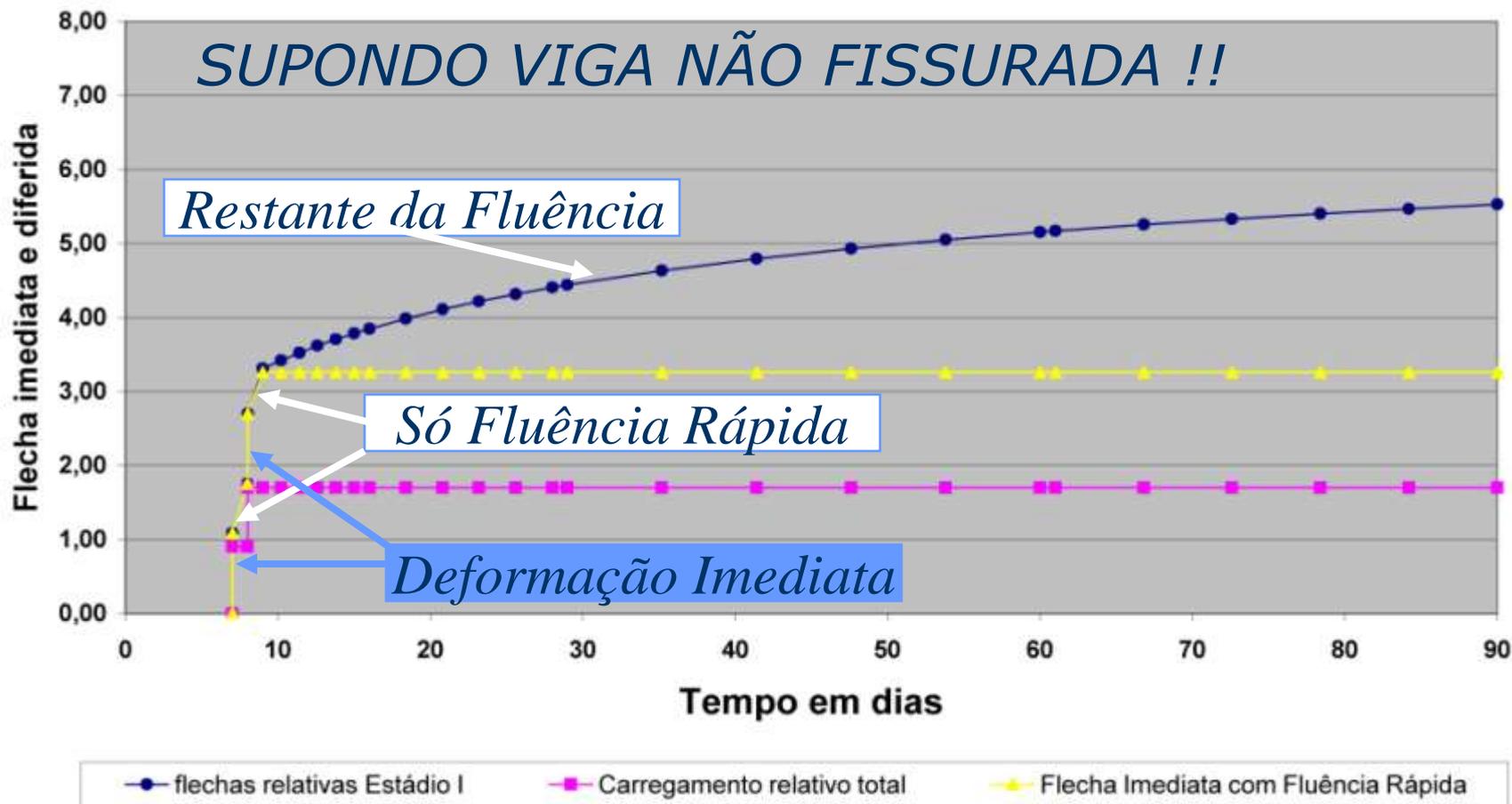
Ensaaios *TECYTA*



Ensaio *TECYTA*

Flechas teóricas

ESTÁDIO I



Exemplo de Aplicação

ESTÁDIO I

$$E_{cs,t_0} = 26.07 \text{ GPa}$$

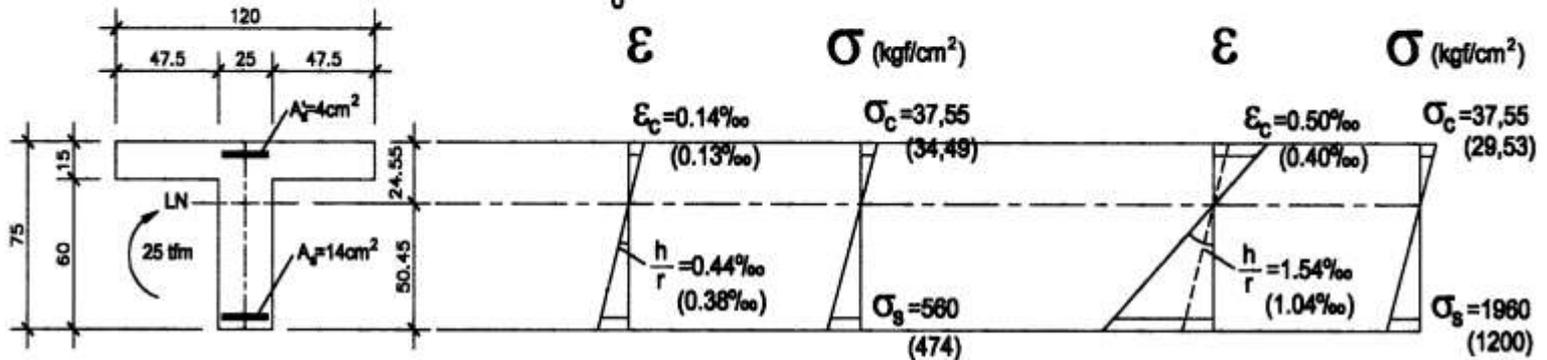
VALORES PARA SEÇÃO BRUTA
(ENTRE PARENTÊSES PARA
SEÇÃO HOMOGENEIZADA)

$$t = t_0$$

$$E_{cs,t_\infty} = 7.45 \text{ GPa}$$

$$\varphi = 2.5$$

$$t = t_\infty$$



ESTÁDIO II

$$E_{cs,t_0} = 26.07 \text{ GPa}$$

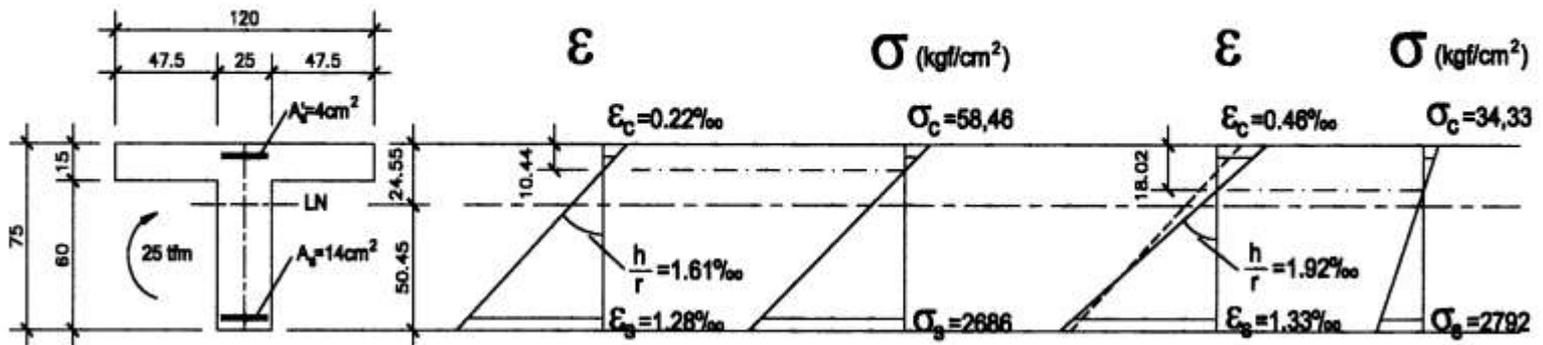
VALORES PARA SEÇÃO BRUTA

$$t = t_0$$

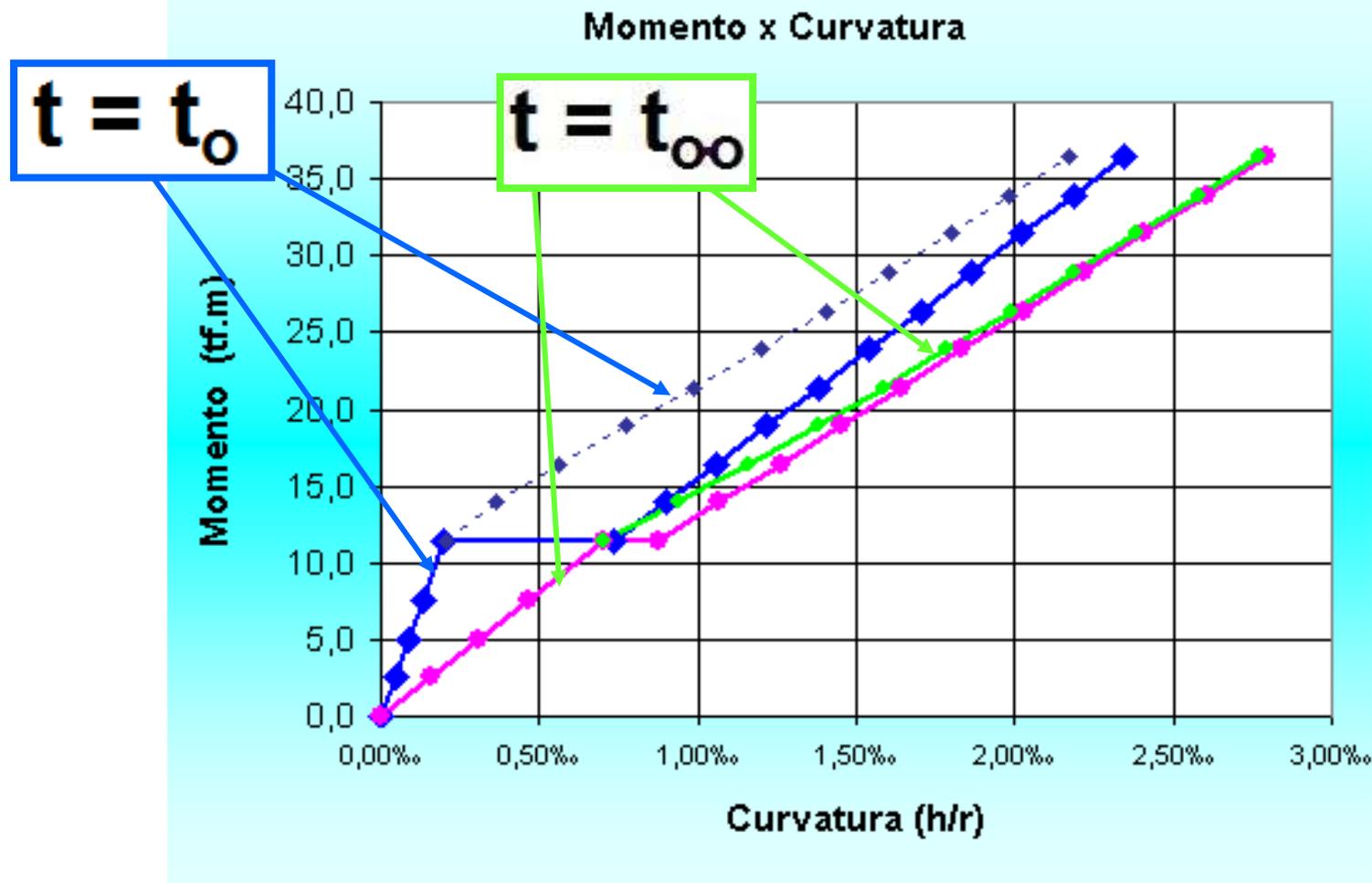
$$E_{cs,t_\infty} = 7.45 \text{ GPa}$$

$$\varphi = 2.5$$

$$t = t_\infty$$

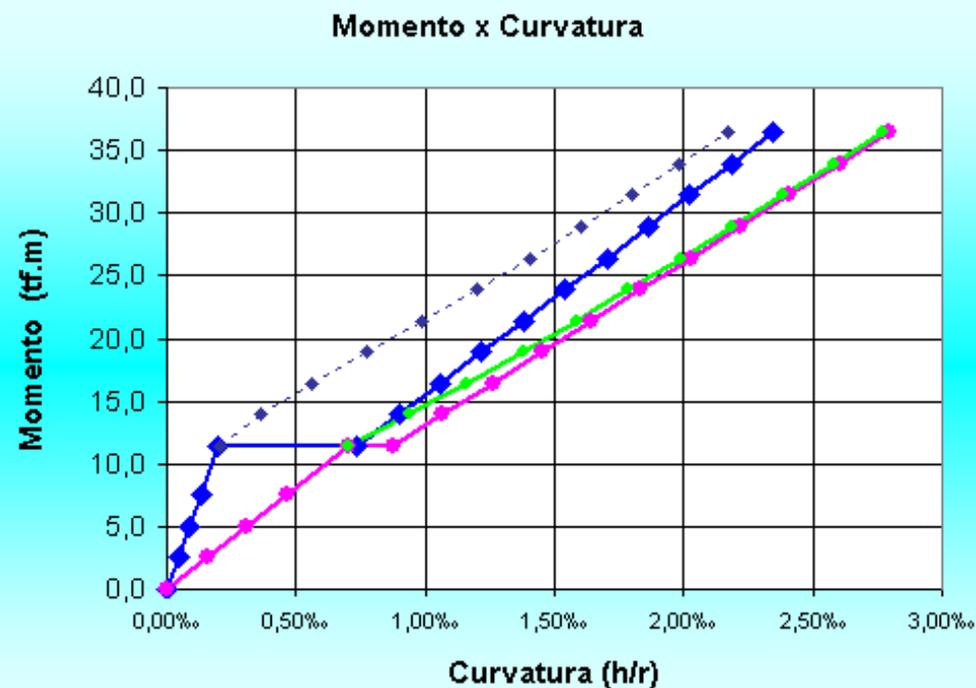
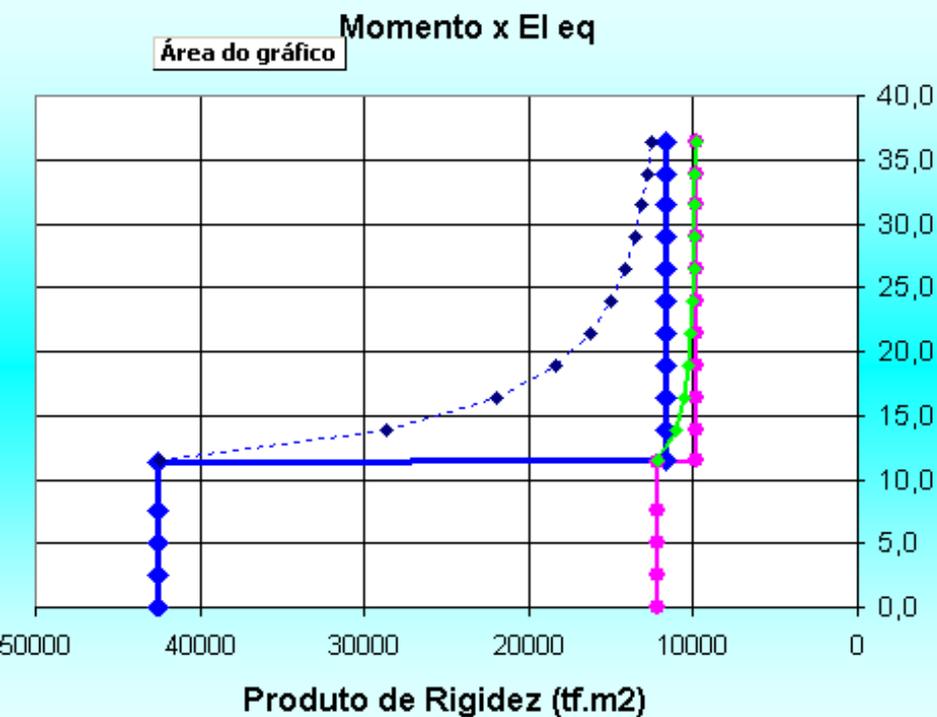


M-1/r com t_0 e t infinito – Estádios I , II puro e II c/ enrij.

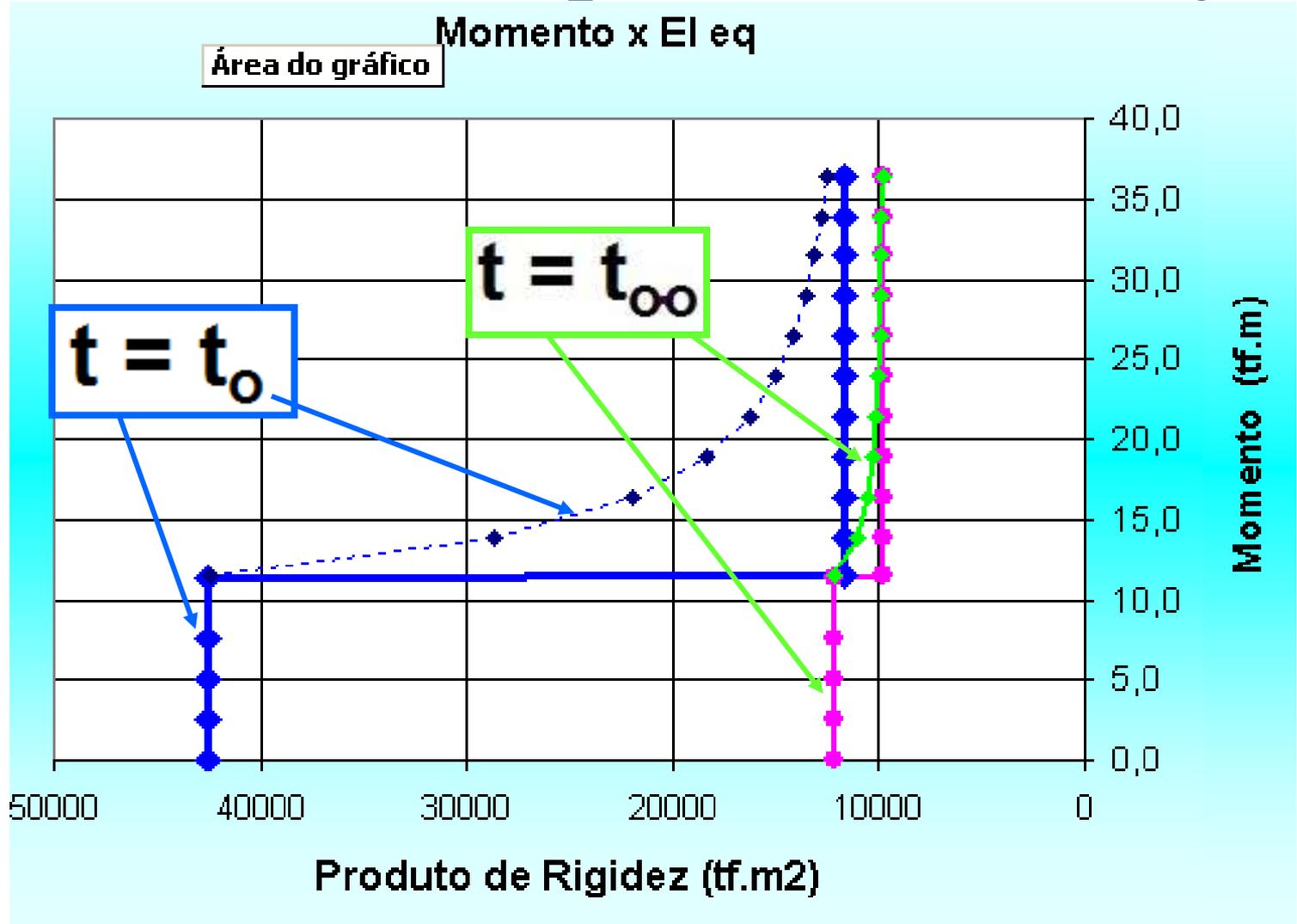


M-1/r e EI-M com t_0 e t infinito

Estádios I , II puro e II c/ enrij.



EI-M com t_0 e t infinito – Estádios I , II puro e II c/ enrij.



Exemplo de aplicação to t, infinito

SÓ ESTÁDIO II PURO, REAL , sem Branson

$$\beta = \frac{\left(\frac{h}{r}\right)_{t_{\infty}}}{\left(\frac{h}{r}\right)_{t_0}} = \frac{1,92}{1,61} \quad \beta = 1,19$$

$$\text{flecha}(t_{\infty}) = a_{t_{\infty}} = \beta \cdot a_{t_0} = \beta \cdot \text{flecha}(t_0)$$

Exemplo de aplicação to t, infinito

EXEMPLO 1A:

Com Branson

$$M_a = 18 \text{ tf.m} = 1,58M_r$$

$$(EI)_{eq} = 0,254.E_{cs}.I_c + 0,746.E_{cs}.I_{II}$$

$t = t_0$	$E_{cs}I_c = 42610 \text{ tf.m}^2$	$(EI)_{eqt=t_0} = 19507 \text{ tf.m}^2$	$\beta = \frac{(EI)_{eqt=t_0}}{(EI)_{eqt=t_\infty}} = 1,88$
	$E_{cs}I_{II} = 11641 \text{ tf.m}^2$		
$t = t_\infty$	$E_{cs}I_c = 12173 \text{ tf.m}^2$	$(EI)_{eqt=t_\infty} = 10384 \text{ tf.m}^2$	
	$E_{cs}I_{II} = 9775 \text{ tf.m}^2$		

$$\text{flecha}(t_\infty) = a_{t_\infty} = \beta.a_{t_0} = \beta.\text{flecha}(t_0)$$

Exemplo de aplicação to t, infinito

EXEMPLO 1B:

$$M_a = 25 \text{ tf.m} = 2,17M_r$$

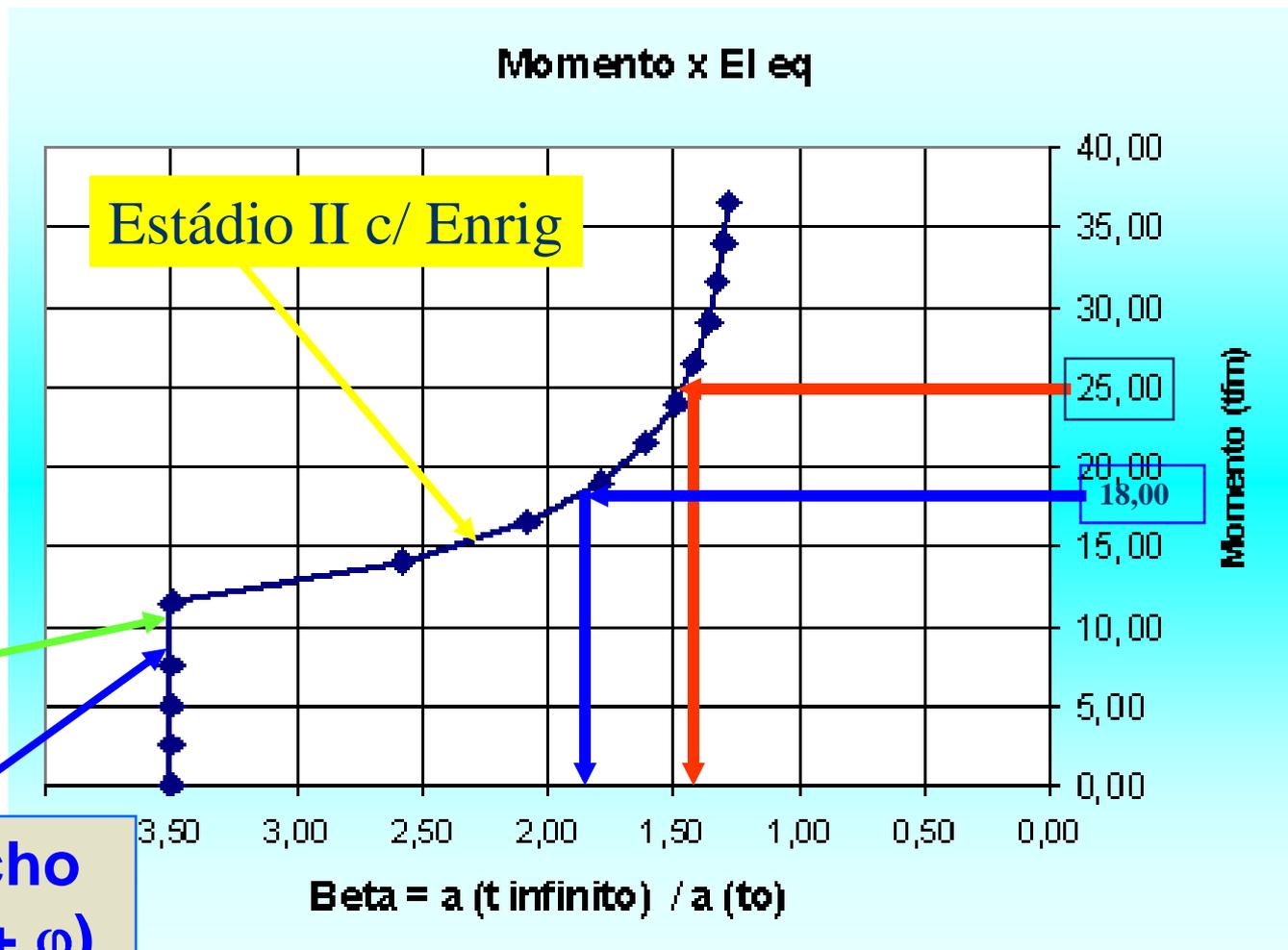
Com Branson

$$(EI)_{eq} = 0,095 \cdot E_{cs} \cdot I_c + 0,905 \cdot E_{cs} \cdot I_{II}$$

$t = t_0$	$E_{cs} I_c = 42610 \text{ tf.m}^2$	$(EI)_{eq t=t_0} = 14583 \text{ tf.m}^2$	$\beta = \frac{(EI)_{eq t=t_0}}{(EI)_{eq t=t_\infty}} = 1,46$
	$E_{cs} I_{II} = 11641 \text{ tf.m}^2$		
$t = t_\infty$	$E_{cs} I_c = 12173 \text{ tf.m}^2$	$(EI)_{eq t=t_\infty} = 10003 \text{ tf.m}^2$	
	$E_{cs} I_{II} = 9775 \text{ tf.m}^2$		

$$\text{flecha}(t_\infty) = a_{t_\infty} = \beta \cdot a_{t_0} = \beta \cdot \text{flecha}(t_0)$$

Aumento de flechas entre t_0 e t_{infinito} , função do momento aplicado



Cálculo Aproximado das deformações diferidas no tempo

Válido só para Estádio II !!!

NOVA NB1 17.3.2.1.2 Cálculo da flecha diferida no tempo para vigas de concreto armado

A flecha adicional diferida, decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator α_f dado pela expressão:

onde:

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50\rho'}$$

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0)$$

$$\rho' = \frac{A_s}{b d}$$

$$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996^t) t^{0,32}$$

ξ é um coeficiente função do tempo, que pode ser obtido diretamente na tabela 17.1 ou ser calculado pelas expressões seguintes:

para $t \leq 70$ meses

NÃO É UM BOM MULTIPLICADOR !

$\xi(t) = 2$ para $t > 70$ meses

Exemplo de aplicação to > t, infinito

NB1/78

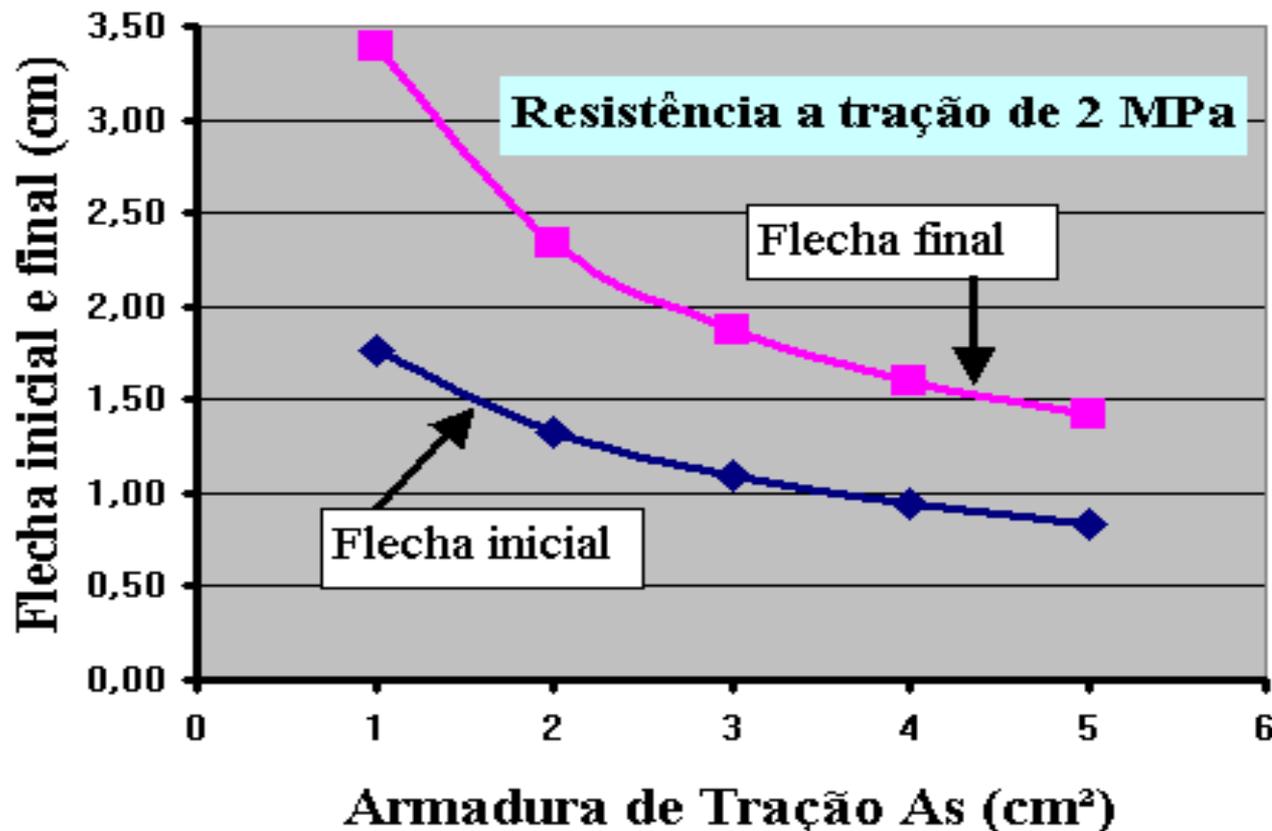
$$\varphi = 2,5 \quad \beta = \frac{3,5 \cdot \varepsilon_c + \varepsilon_s}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$$

$$\beta = \frac{3,5 \cdot 0,22 + 1,28}{0,22 + 1,28} \quad \beta = 1,367$$

$$\text{flecha}(t_\infty) = a_{t_\infty} = \beta \cdot a_{t_0} = \beta \cdot \text{flecha}(t_0)$$

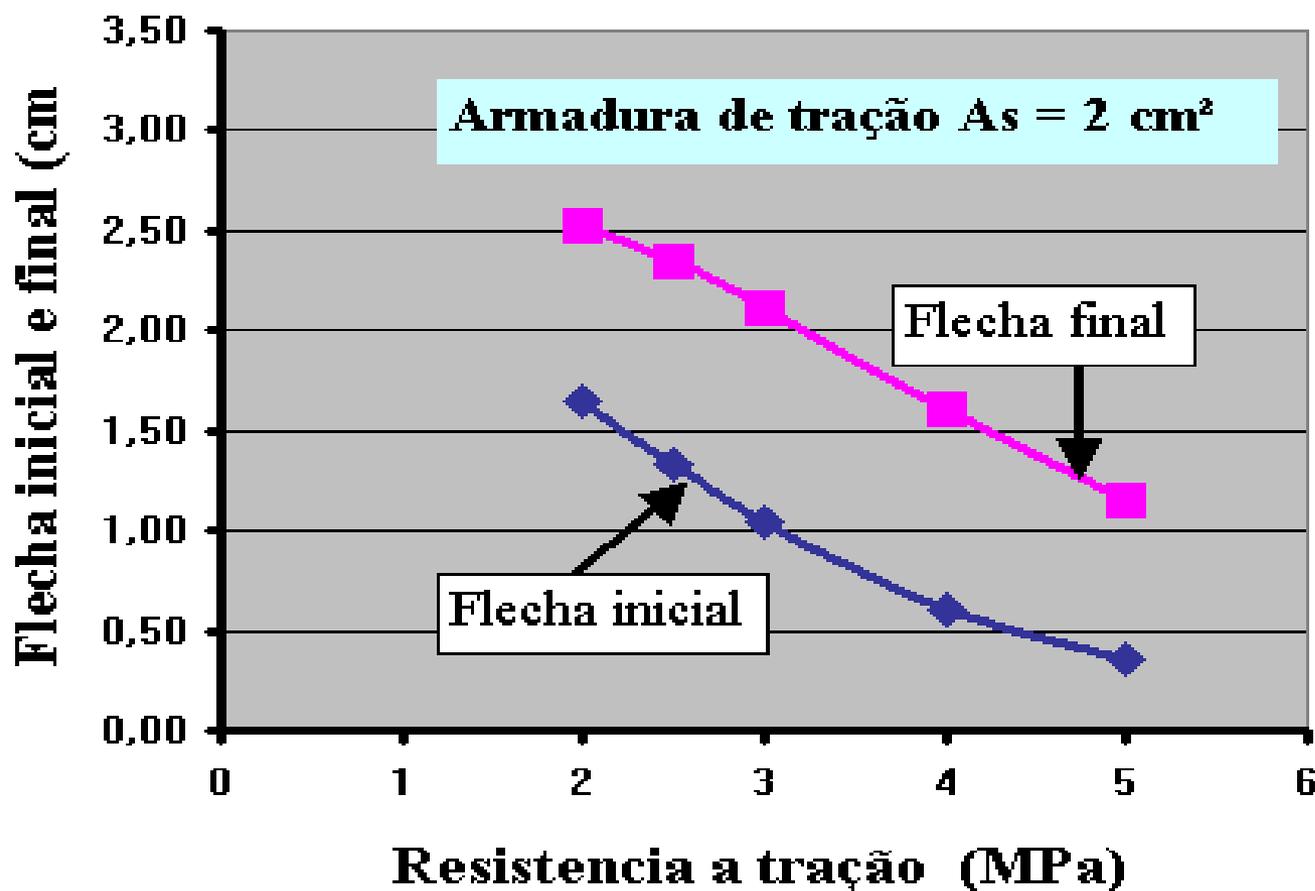
TAMBÉM NÃO É UM BOM MULTIPLICADOR !

Exemplo da variação da flecha ao aumentar a armadura de tração A_s Nas vigas fissuradas.



Já para peças **não fissuradas** o aumento de armadura não traz resultados significativos.

Exemplo da variação da flecha ao aumentar a resistência a tração



Deformações diferidas no tempo em peças protendidas

17.3.2.1.3 Flecha em vigas com **armaduras ativas**

Nos elementos estruturais com armaduras ativas é suficiente considerar $(EI)_{eq} = E_{cs}I_c$, desde que **não seja ultrapassado** o estado limite de **formação de fissuras**. Em caso contrário, a expressão completa de 17.3.2.1.1 pode ser aplicada, desde que I_{II} , M_r e M_a sejam calculados considerando o elemento estrutural de concreto submetido à combinação de ações escolhida, acrescida da protensão representada como ação externa equivalente (gerando força normal e momento fletor) (ver 11.3.3.5).

Para consideração da deformação diferida no tempo, basta multiplicar a parcela permanente da **flecha imediata acima referida por $(1 + \varphi)$** , onde φ é o coeficiente de fluência (ver 8.2.11).

Variabilidade do Modelo de avaliação da Fluência do CEB

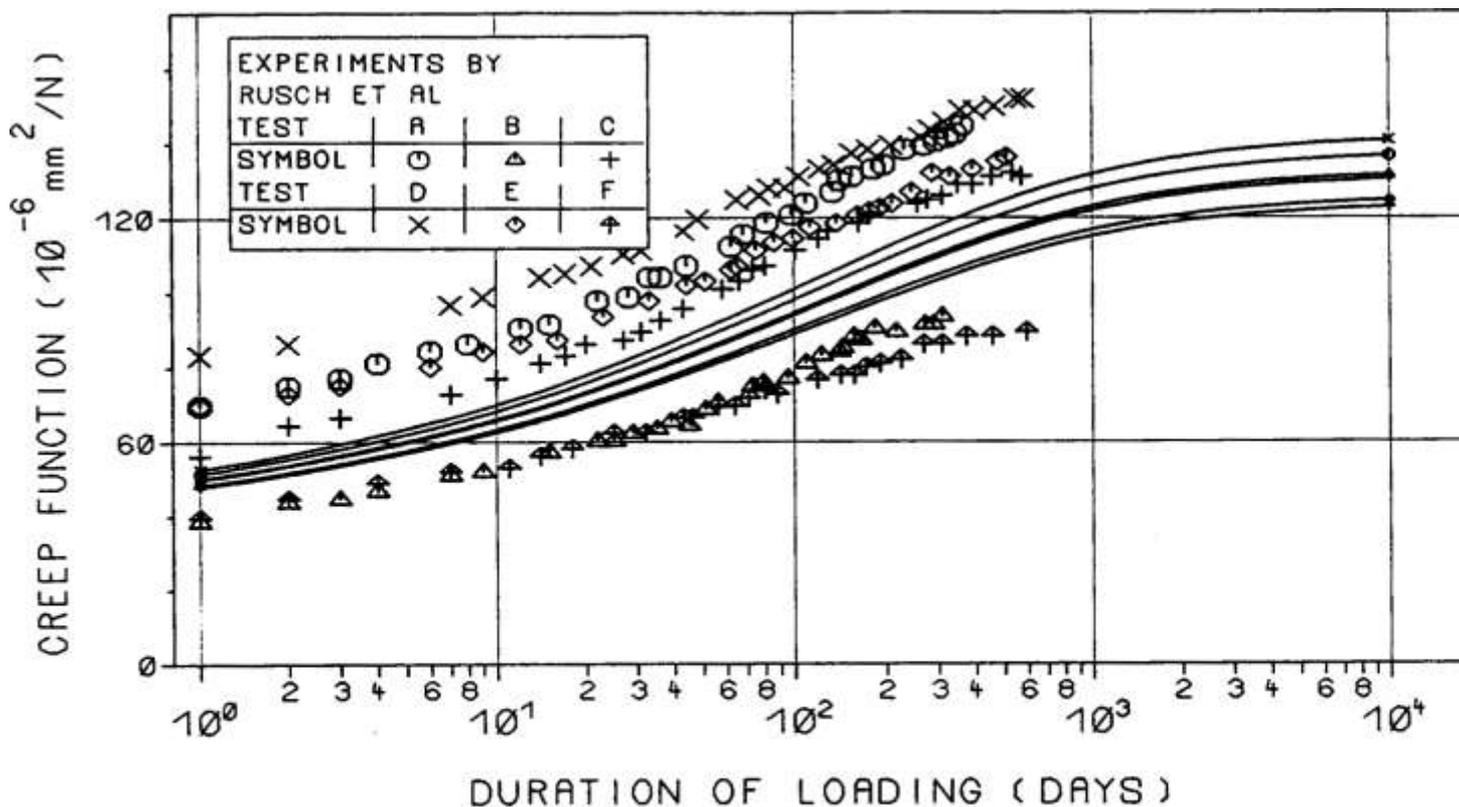


Fig. A21: Predicted (solid line) and measured [19] creep functions.
 Test data: $f_{cm} = 24.4/25.8/26.4/23.4/27.8/28.4$ N/mm²; c-type: SL;
 $2A_c/u = 100$ mm; RH = 65 %; $t_0 = 28/28/27/28/28/28$ days for test A/B/C/D/E/F, resp.

Variabilidade do Modelo de avaliação da Fluência do CEB

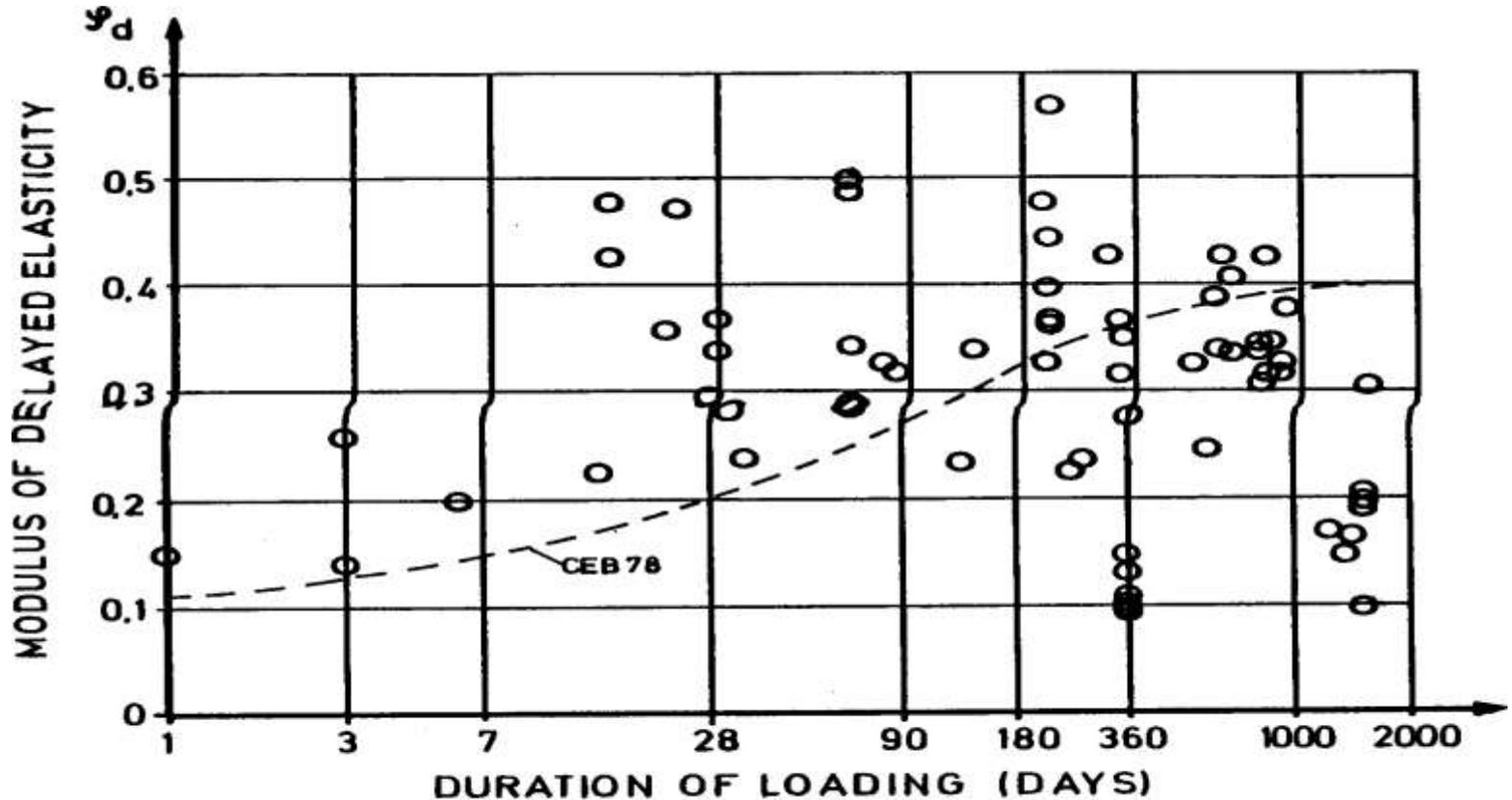


Fig. 30: Extrapolated final values of \mathcal{Y}_d

Variabilidade do Modelo de avaliação da Fluência do CEB

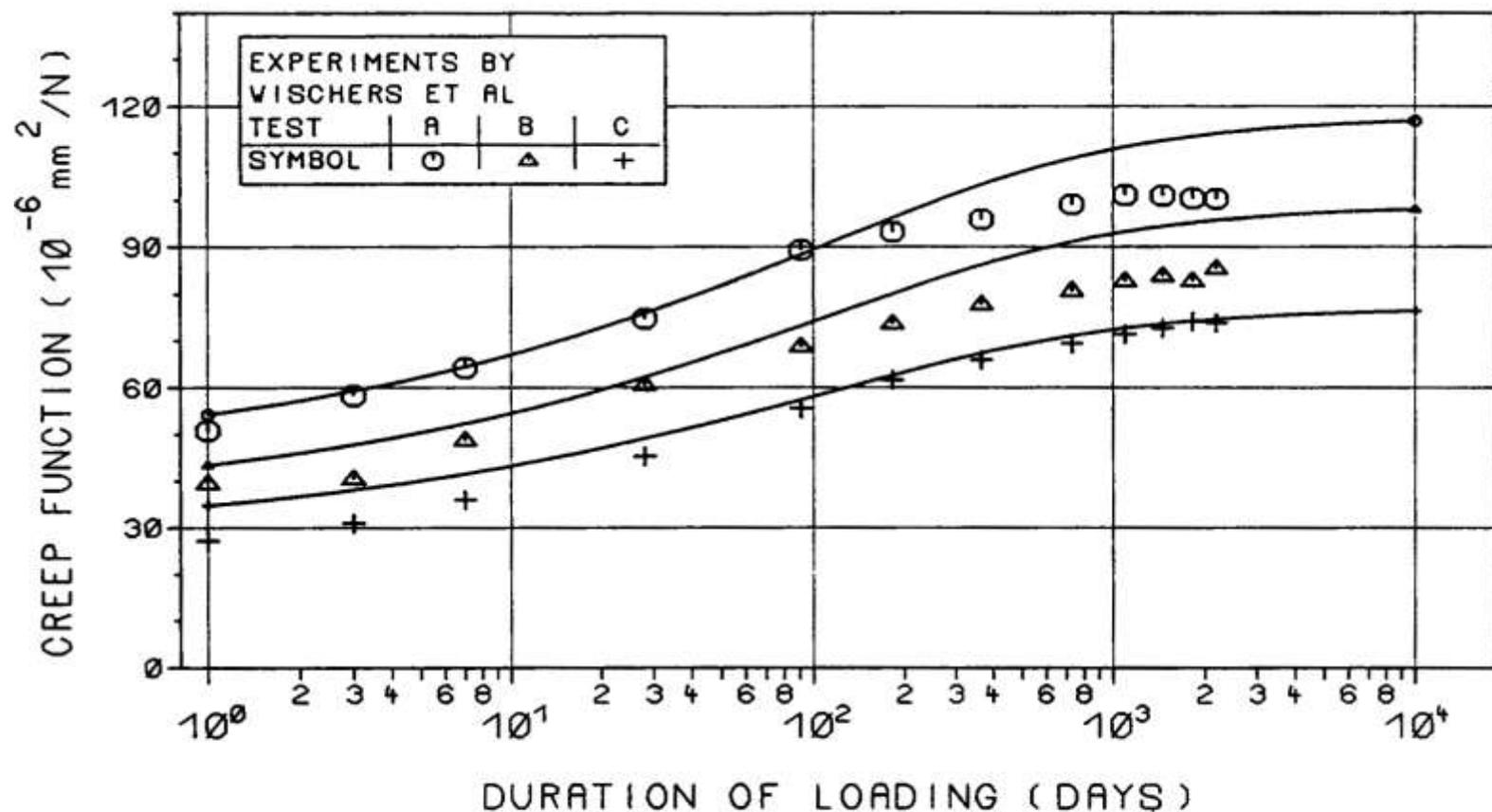
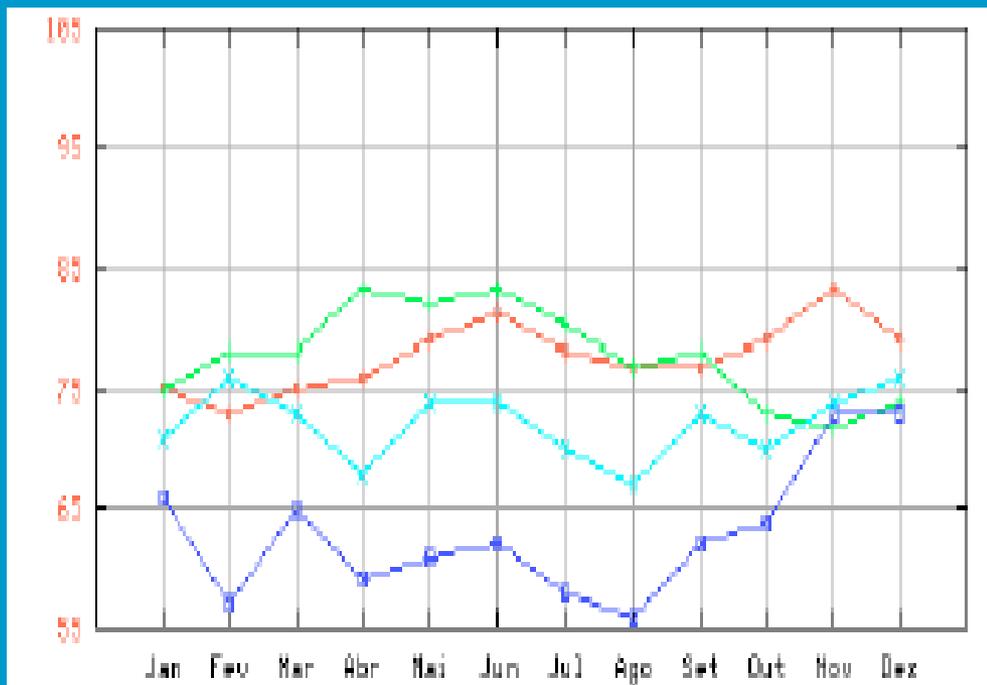


Fig. A37: Predicted (solid line) and measured [22] creep functions.
 Test data: $f_{cm} = 56.3 \text{ N/mm}^2$; c-type: RS; $2A_c/u = 75 \text{ mm}$;
 RH = 65 %; $t_0 = 0.9/3/28$ days for test A/B/C, resp.

Variabilidade das condições Atmosféricas que influem na Fluência

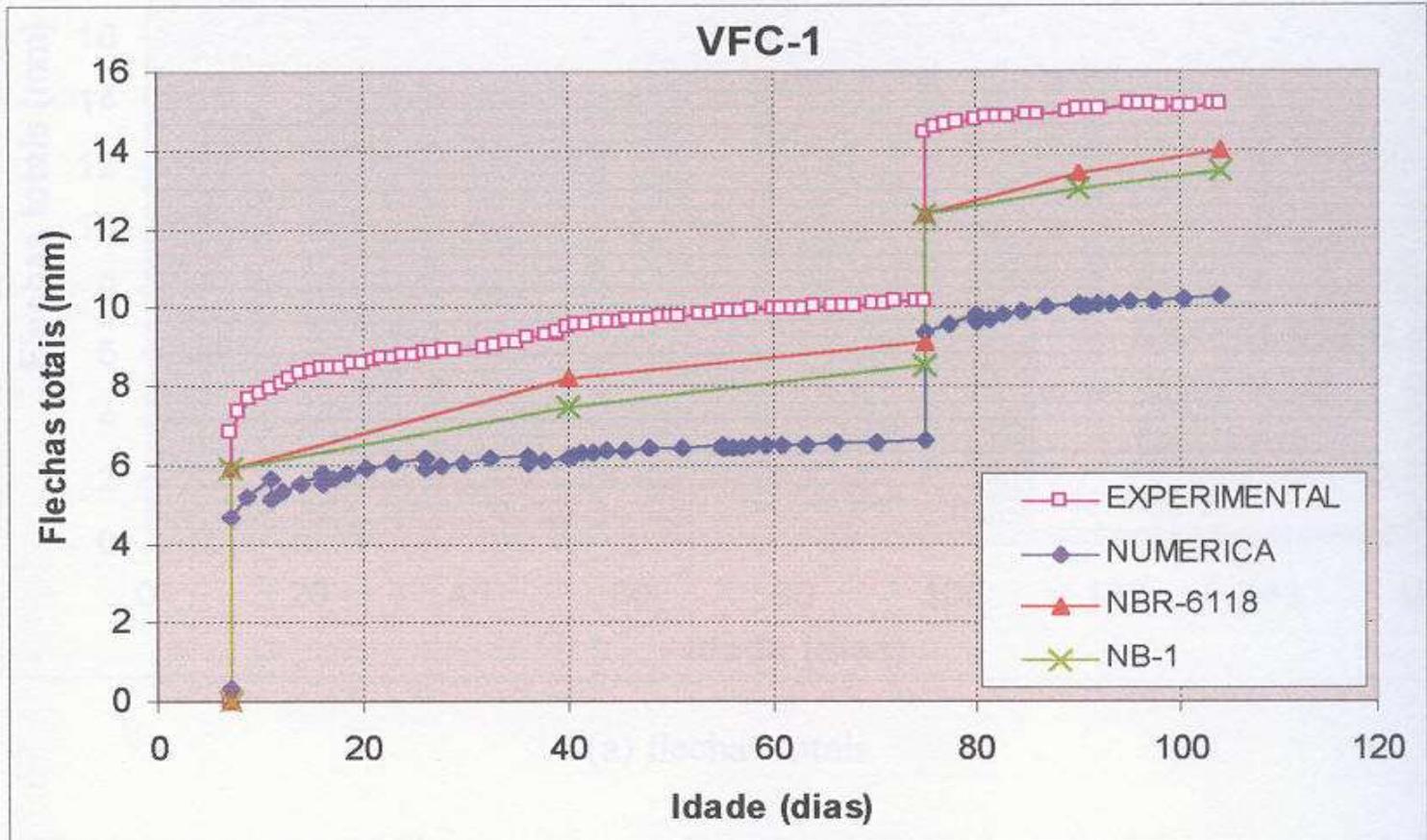


Umidade (%) em Rio de Janeiro no período 2001

Fonte: INMET

- Rio de Janeiro
- Porto Alegre
- Belo Horizonte
- São Paulo

Resultados de um ensaio da Eng. Andrea Reis



(a) flechas totais

Ensaio de Fluência em Furnas

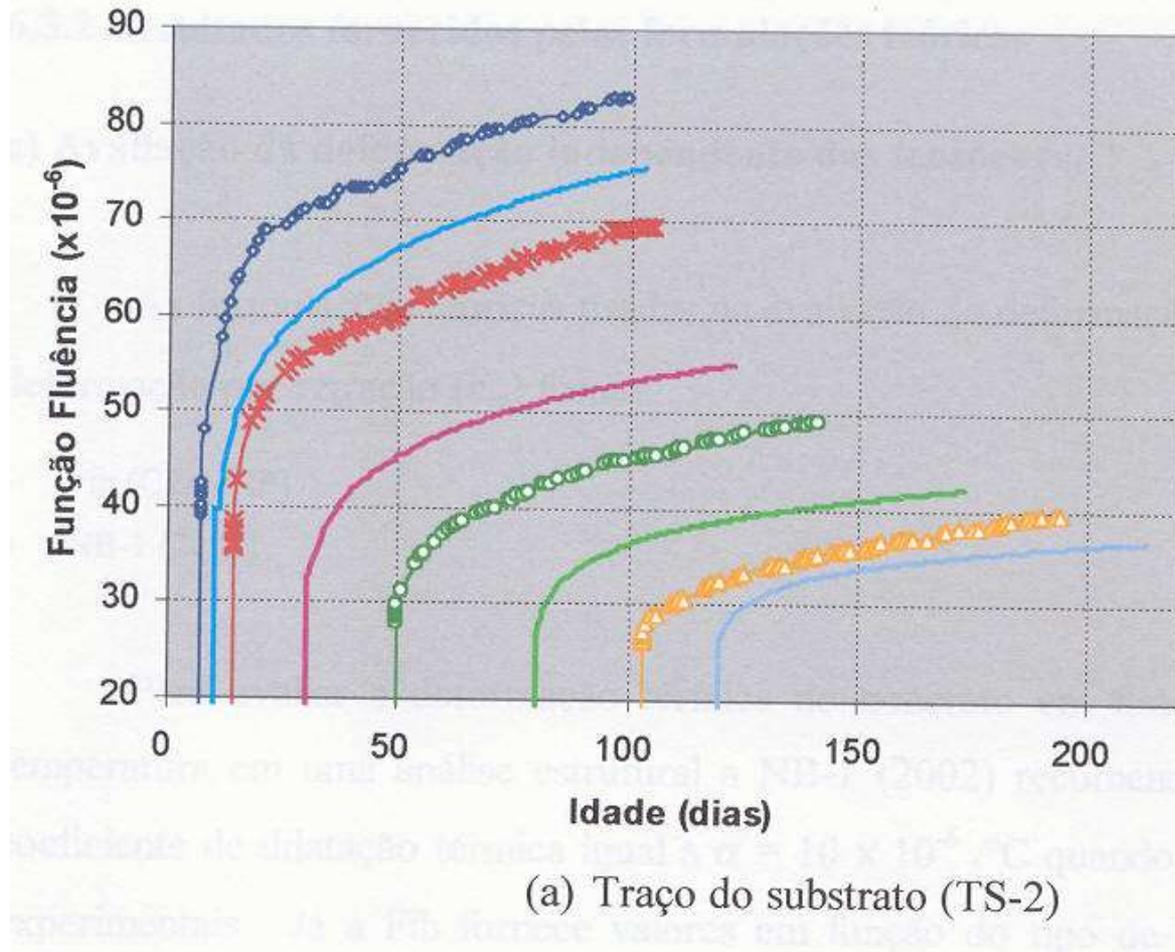


(a) Corpo-de-prova após a selagem



(b) Aplicação de carga – ensaio de fluência

Resultados de um Ensaio de Fluência em Furnas



Estudo da distribuição de cargas entre o pavimento de concreto e as escoras e reescoras

Revista do ACI – CONCRETE INTERNATIONAL de jul/2004



Landmark Series

In multistory construction, the shoring beneath a freshly placed concrete slab is typically supported by lower floors that may not have attained their full strength. To plan how to carry these imposed loads safely, the formwork designer needs to understand their magnitude and distribution. This paper by Grundy and Kabaila, published in the December 1963 *ACI JOURNAL*, was one of the first to present a method of analysis for these construction loads in multistory buildings. In the days before the advent of the personal computer, they used simplifying assumptions that would permit analytical determination of construction loads when upper floors are shored from lower floors. The paper served as a catalyst stimulating others to adapt the method and to make field measurements to verify the calculated loads, giving engineers and contractors a basis for confidence in building multistory structures with rapid formwork cycles. Today, although personal computers enable us to make analyses with increasing theoretical precision, the construction-related factors that can't be quantified lead many builders to rely on the simplified method where shores are spaced closely enough for their reactions to be treated as a distributed load.

Eugene H. Boeke, Jr.
ACI Honorary Member

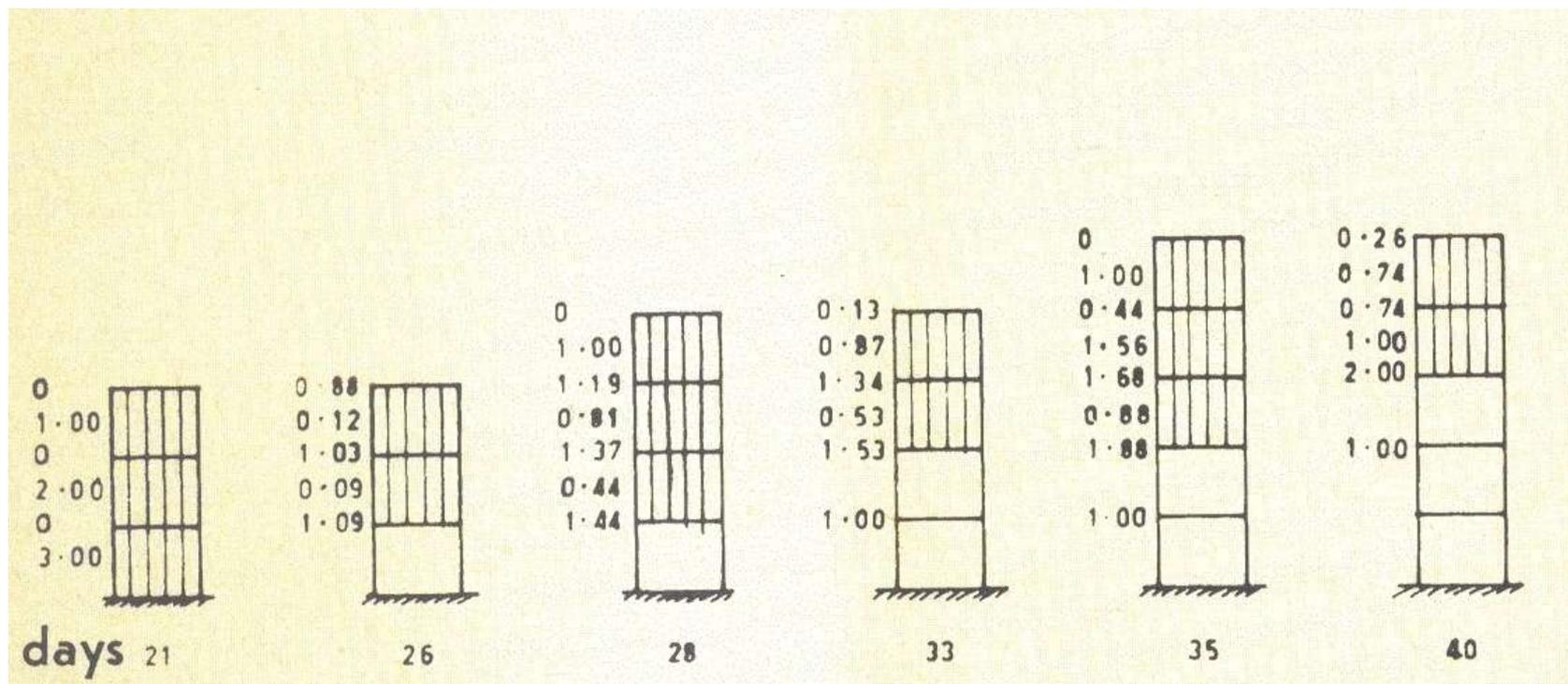
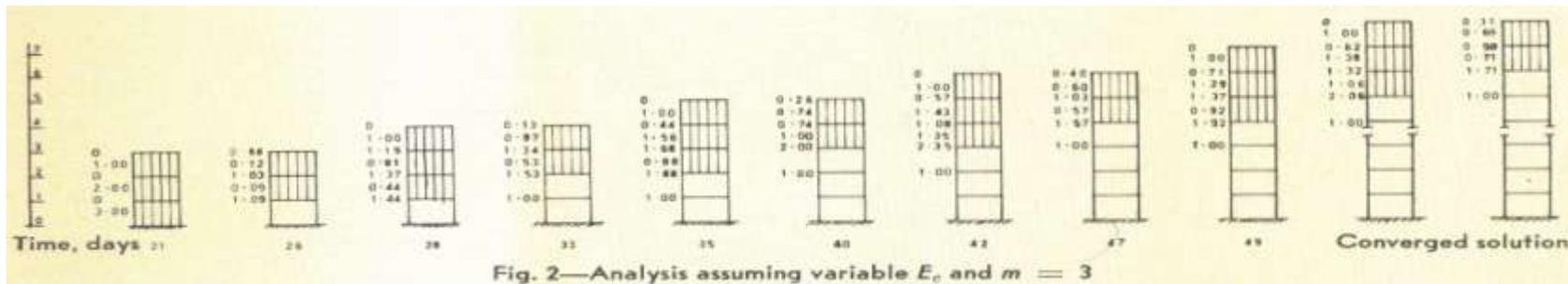
Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings

By PAUL GRUNDY and A. KABAILA

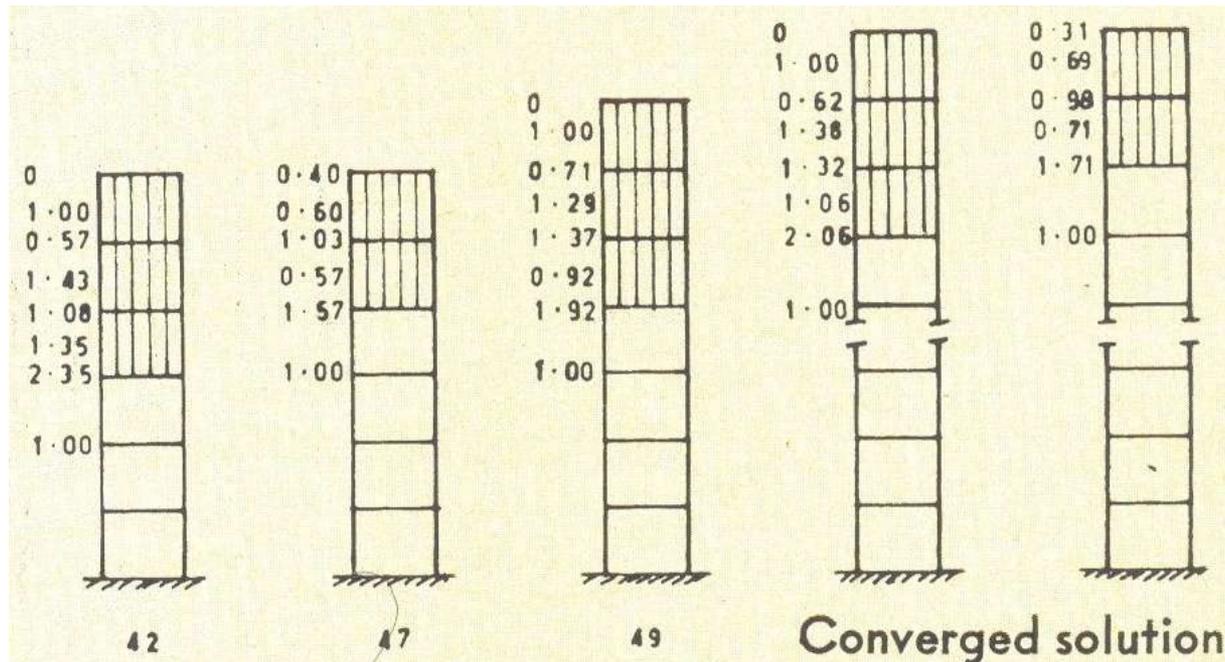
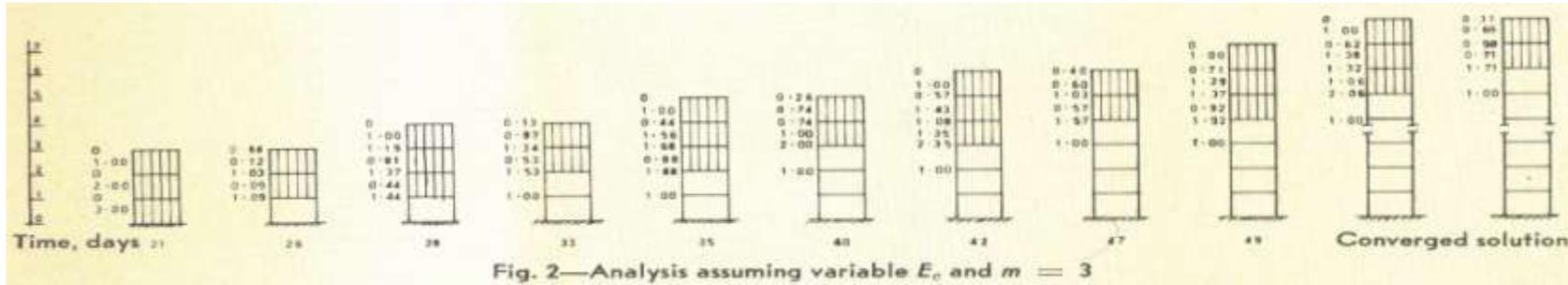
Construction loads in a concrete structure where upper floors are shored from lower floors may exceed design service loads by an appreciable amount. A method for determining these erection loads is presented for flat slab or flat plate construction. The effect of shoring different numbers of floors and the effect of construction loads on design are also discussed.

Key words: construction load; deflection; design; flat plate; formwork; multistory building; shoring.

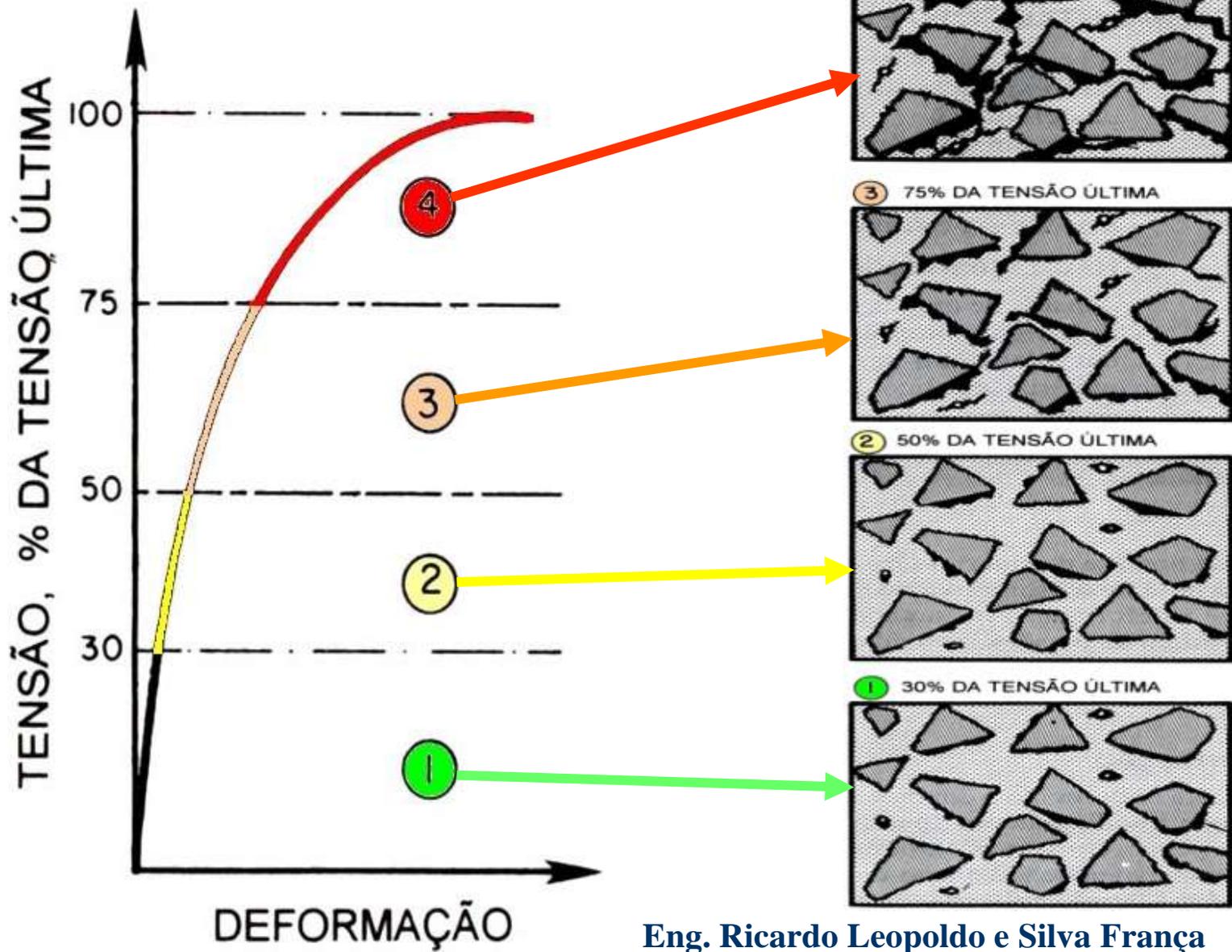
Estudo da distribuição de cargas entre o pavimento de concreto e as escoras e reescoras



Estudo da distribuição de cargas entre o pavimento de concreto e as escoras e reescoras

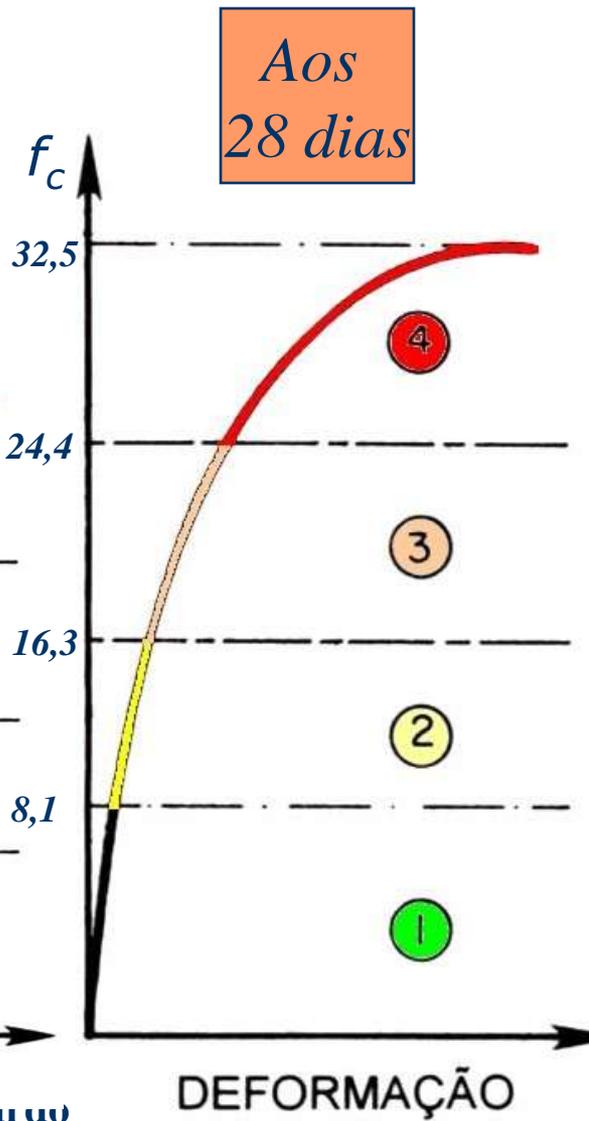
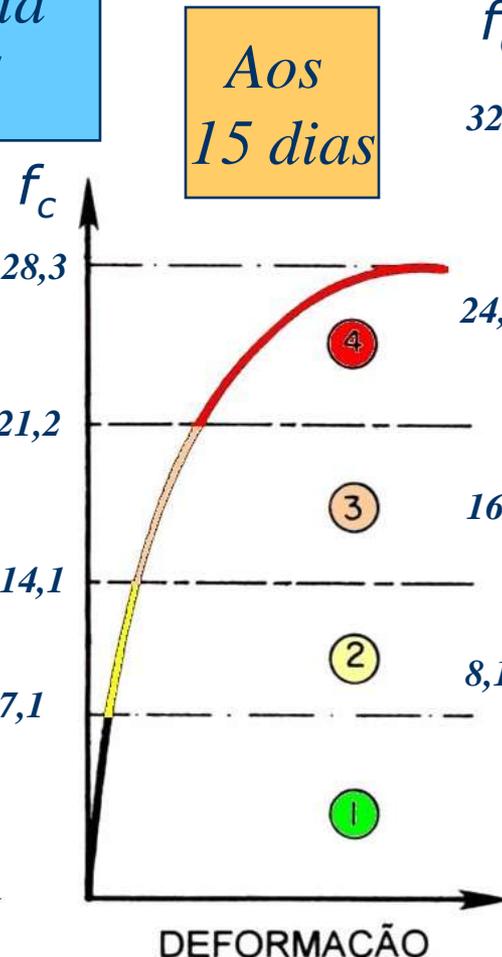
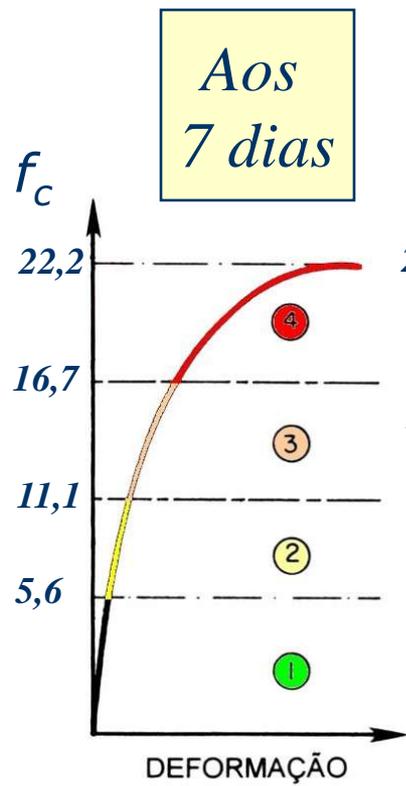
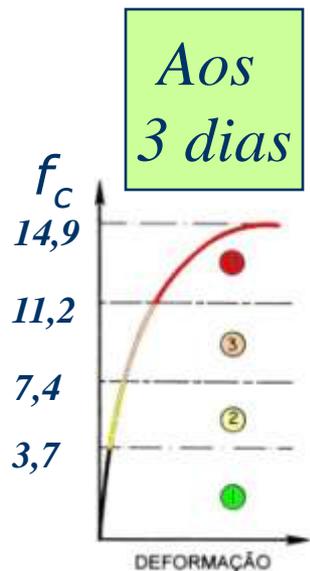


CONCRETO - Fases do Dano por Microfissuração

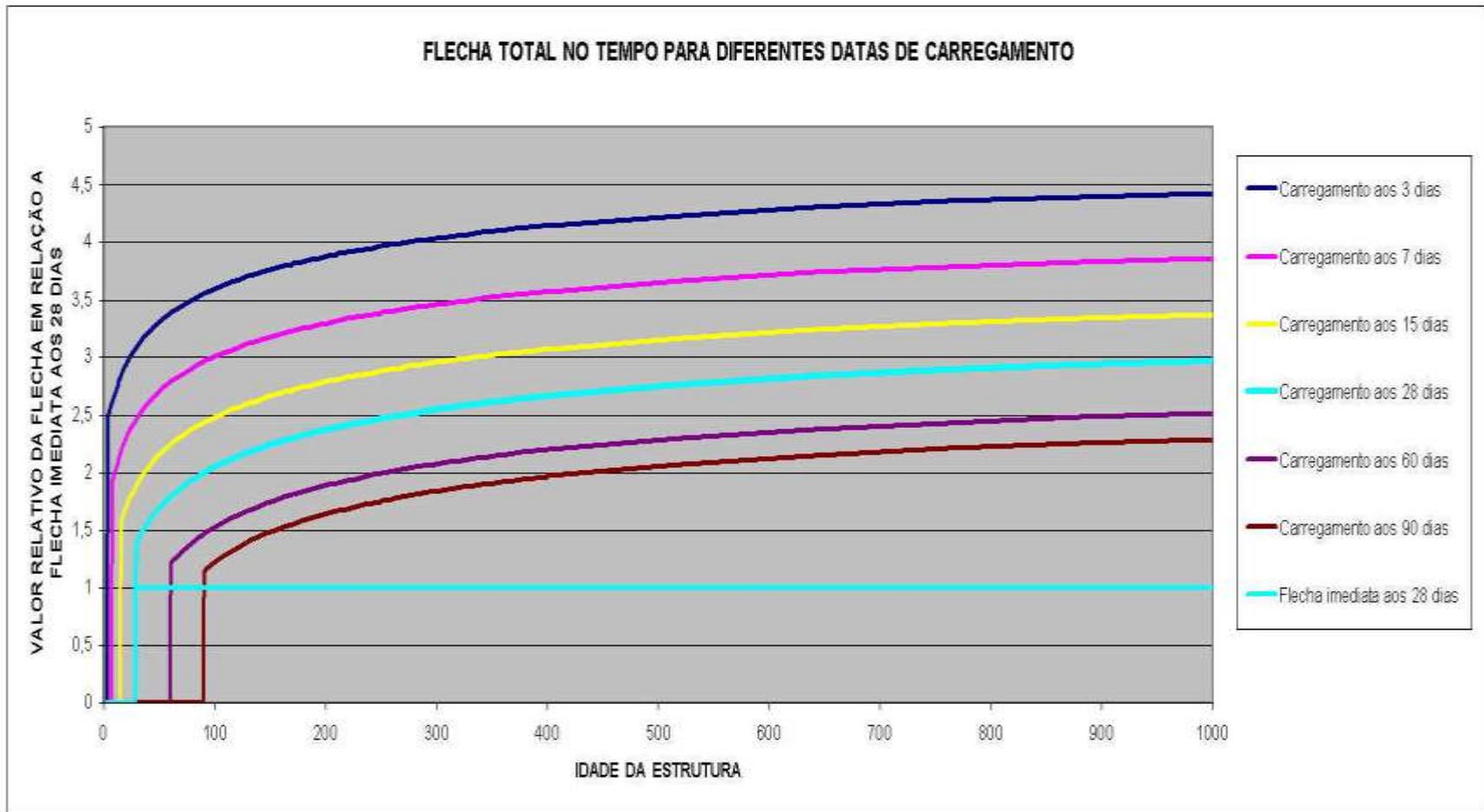


Estas Fases de Dano tem limites diferentes em cada idade

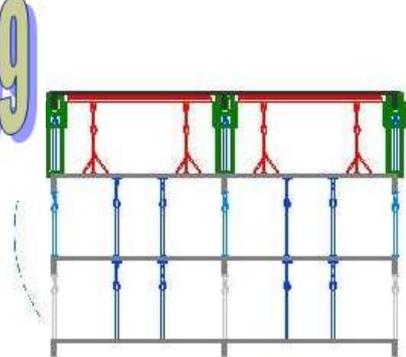
Crescimento da resistência de um concreto $f_{ck}=25$



Exemplo do efeito da fluência na flecha para diferentes idades de carregamento

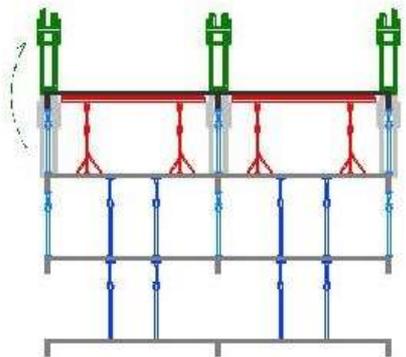


Ciclo de 4 dias, folga aos domingos



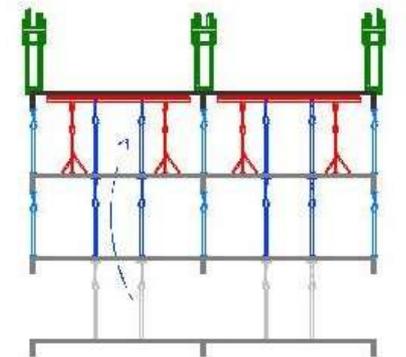
Dia 1a

Reescorar vigas



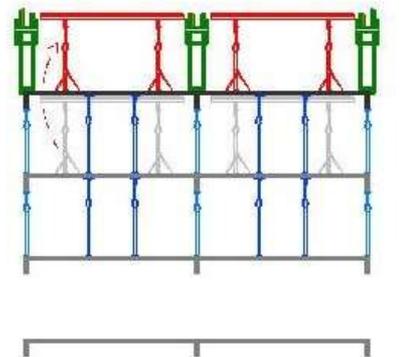
Dia 1b

Transferir garfos de vigas



Dia 1c

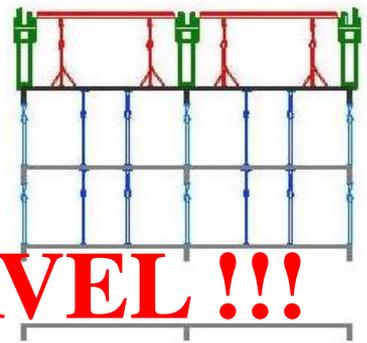
Reescorar laje superior



Dia 1d

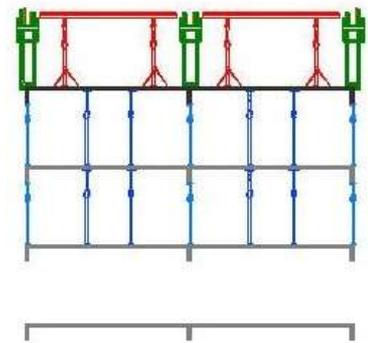
Transferir escoras de vigas

CICLO NÃO RECOMENDAVEL !!!



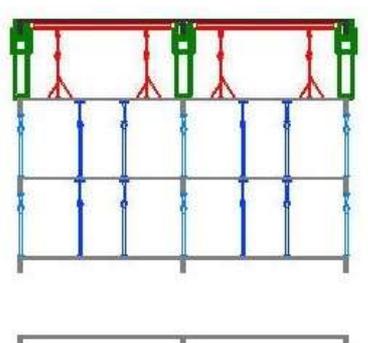
Dia 2

Montagem forma e início das armações



Dia 3

Termino da Armação



Dia 4

Concretagem de pilares, vigas e lajes

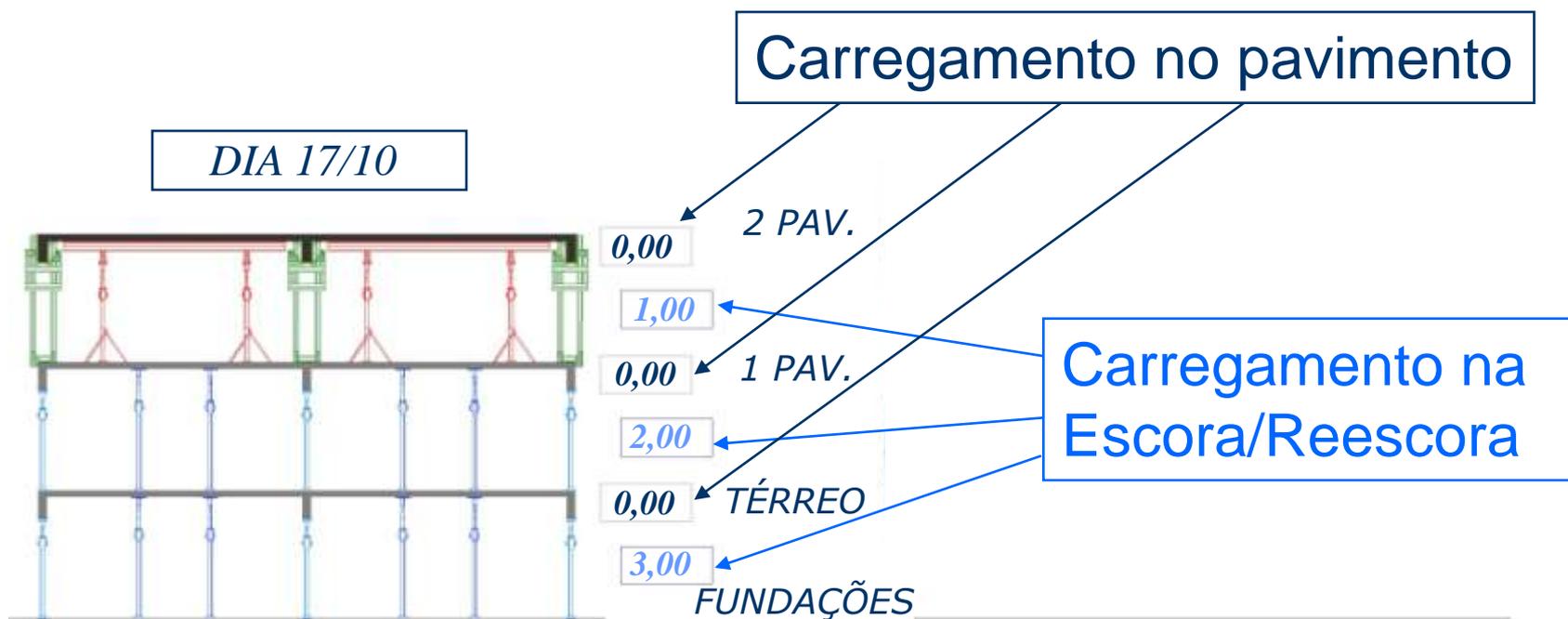
Ciclo de 4 dias, folga aos domingos

PAVIMENTO	Térreo	1 Pav	2 Pav	3 Pav	4 Pav	5 Pav
DATA DE CONCRETAGEM	7/out	12/out	17/out	21/out	26/out	31/out



Ciclo de 4 dias, folga aos domingos

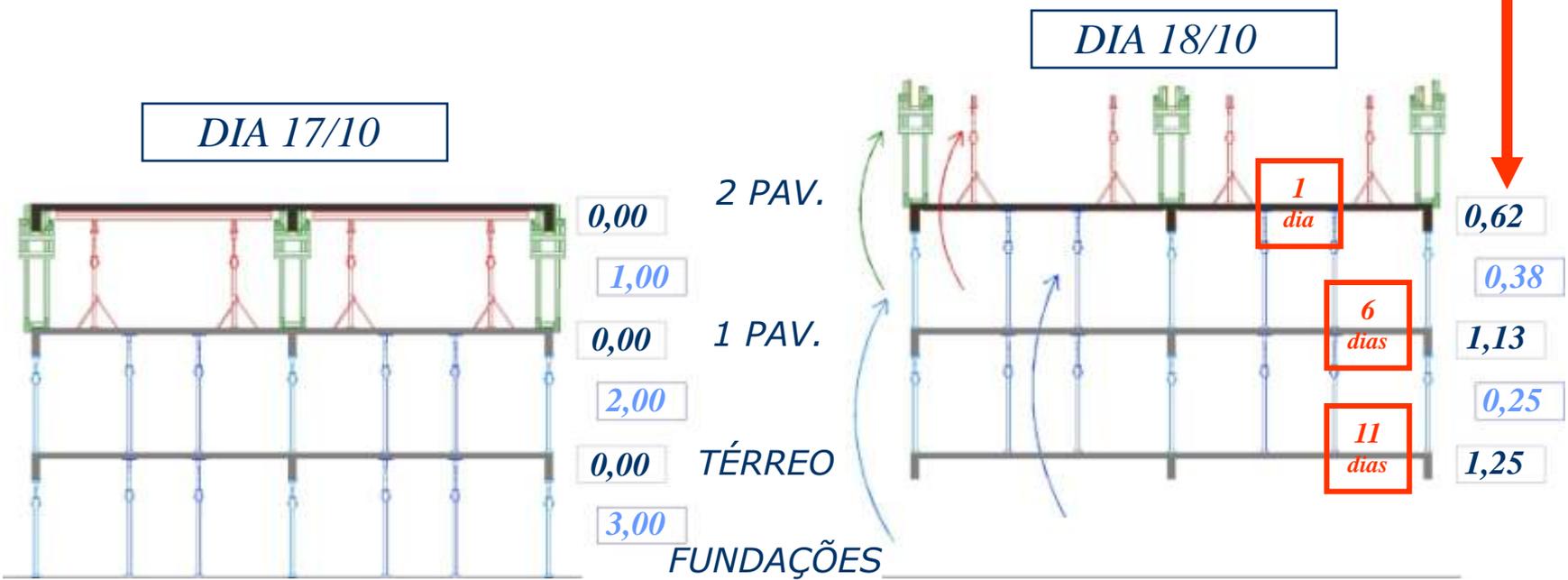
PAVIMENTO	Térreo	1 Pav	2 Pav	3 Pav	4 Pav	5 Pav
DATA DE CONCRETAGEM	7/out	12/out	17/out	21/out	26/out	31/out



Ciclo de 4 dias, folga aos domingos

PAVIMENTO	Térreo	1 Pav	2 Pav	3 Pav	4 Pav	5 Pav
DATA DE CONCRETAGEM	7/out	12/out	17/out	21/out	26/out	31/out

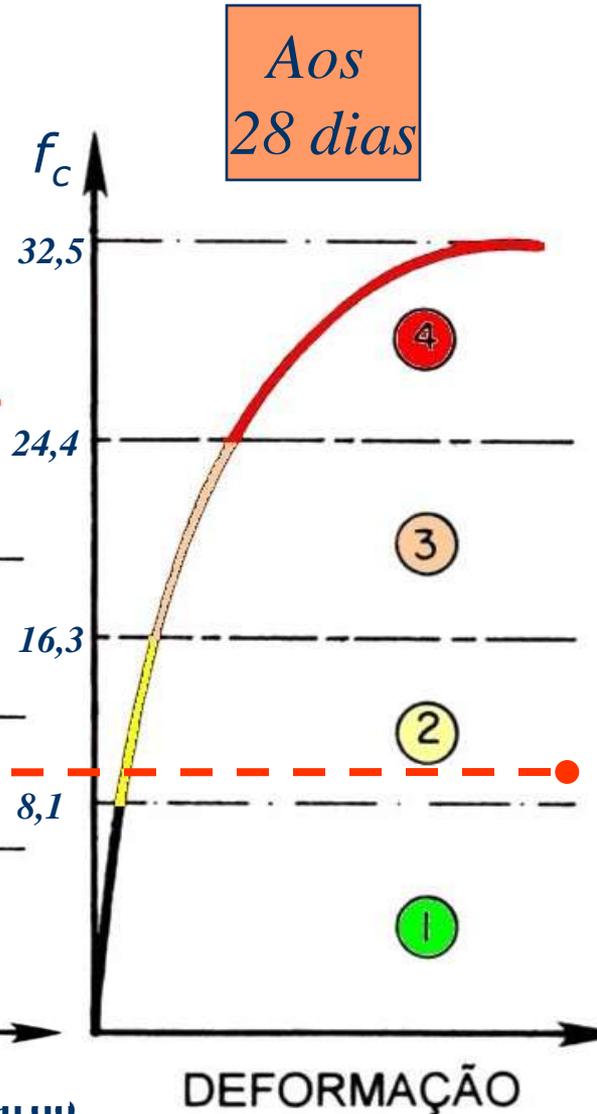
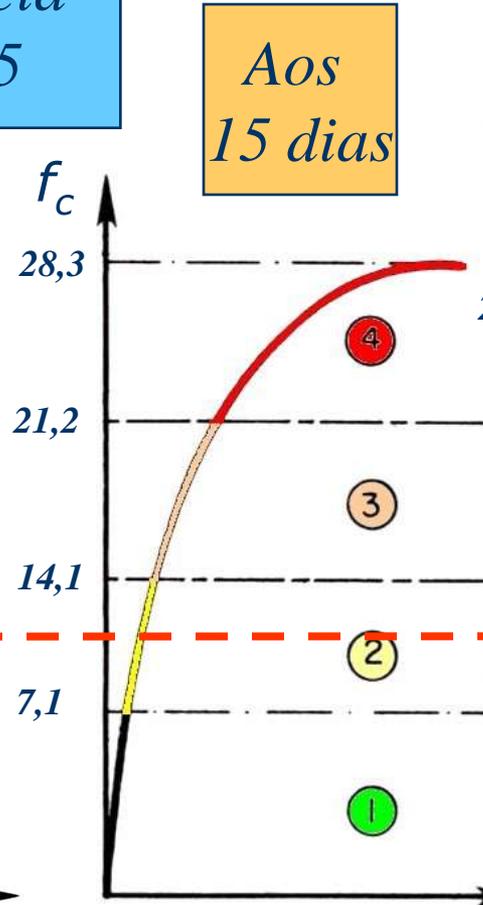
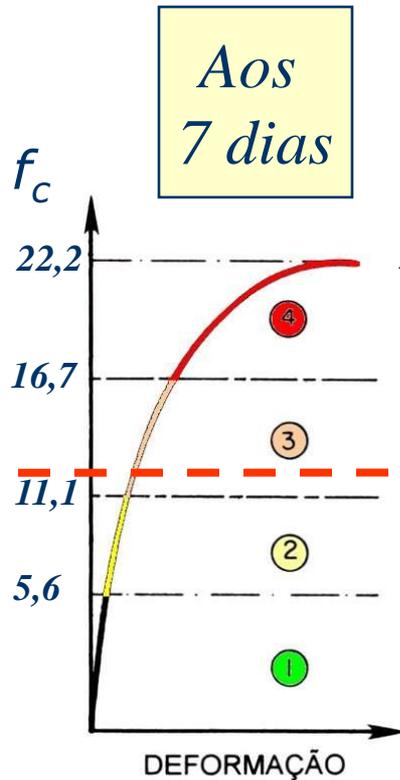
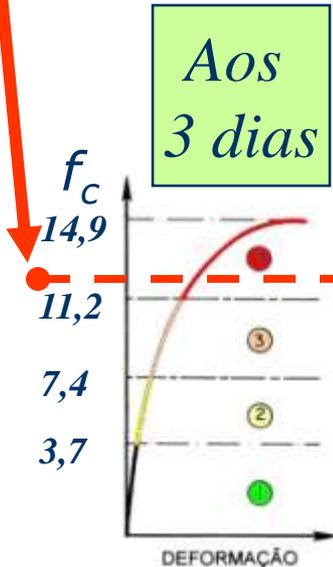
Carregamento no pavimento !!!!



Estas Fases de Dano tem limites diferentes em cada idade

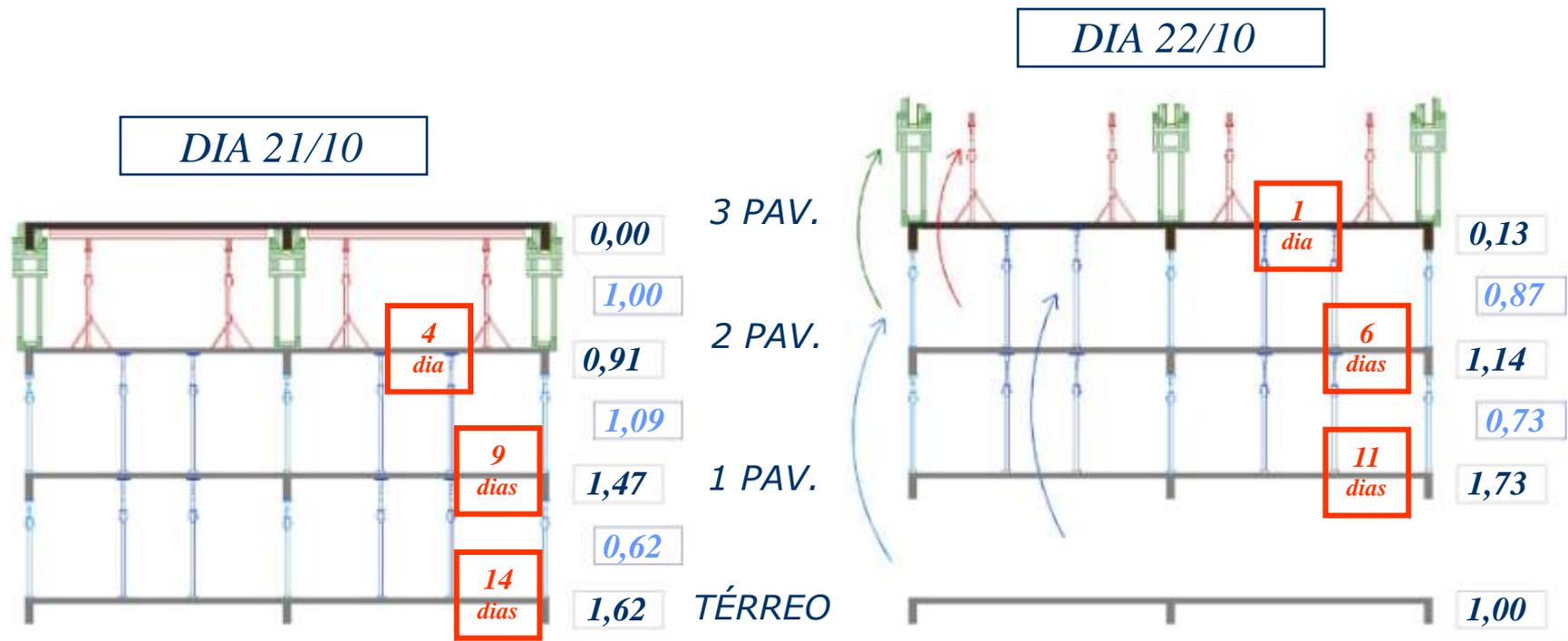
Crescimento da resistência de um concreto $f_{ck}=25$

Nível de tensão aplicado !



Ciclo de 4 dias, folga aos domingos

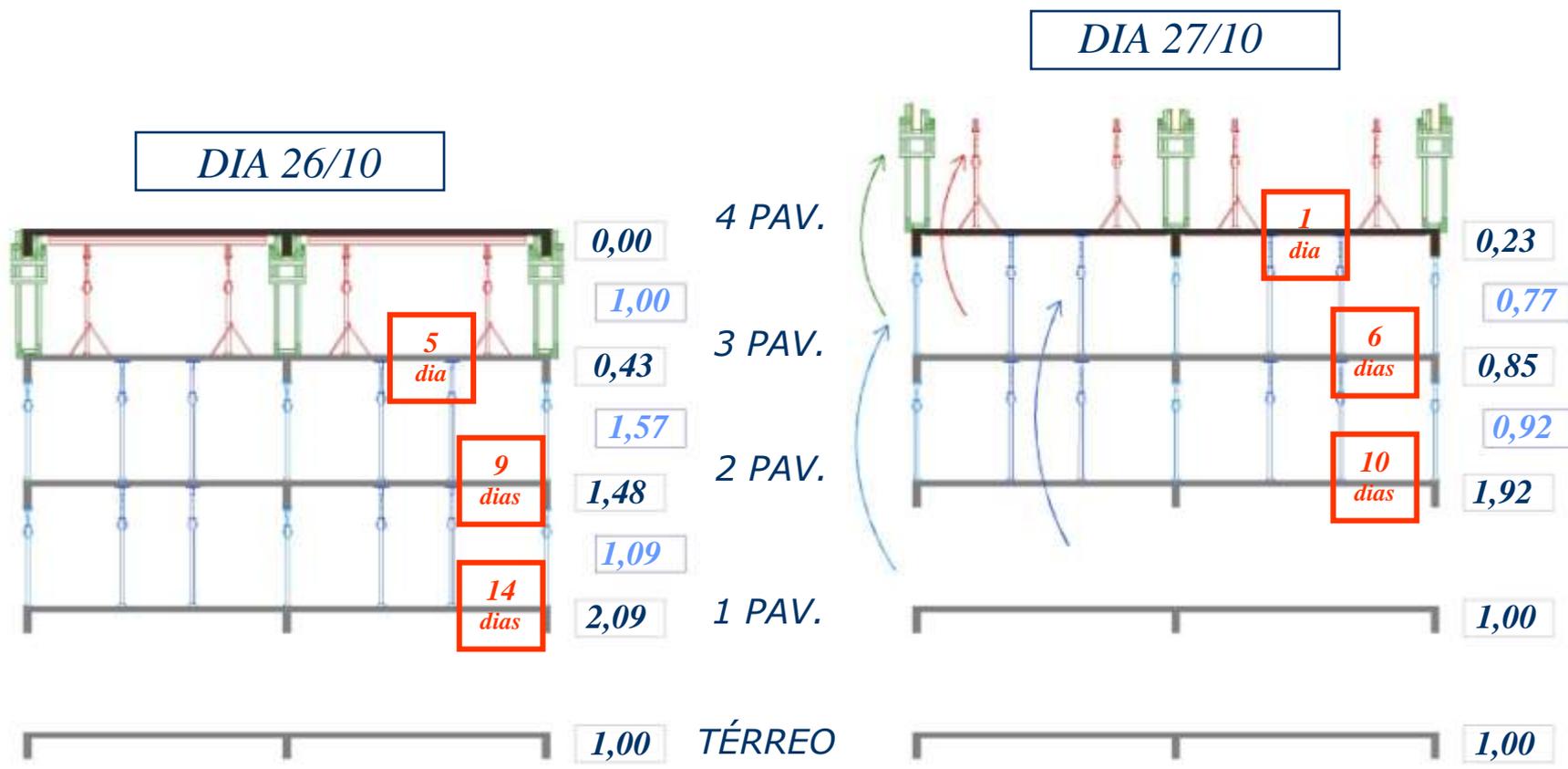
PAVIMENTO	Térreo	1 Pav	2 Pav	3 Pav	4 Pav	5 Pav
DATA DE CONCRETAGEM	7/out	12/out	17/out	21/out	26/out	31/out



FUNDAÇÕES

Ciclo de 4 dias, folga aos domingos

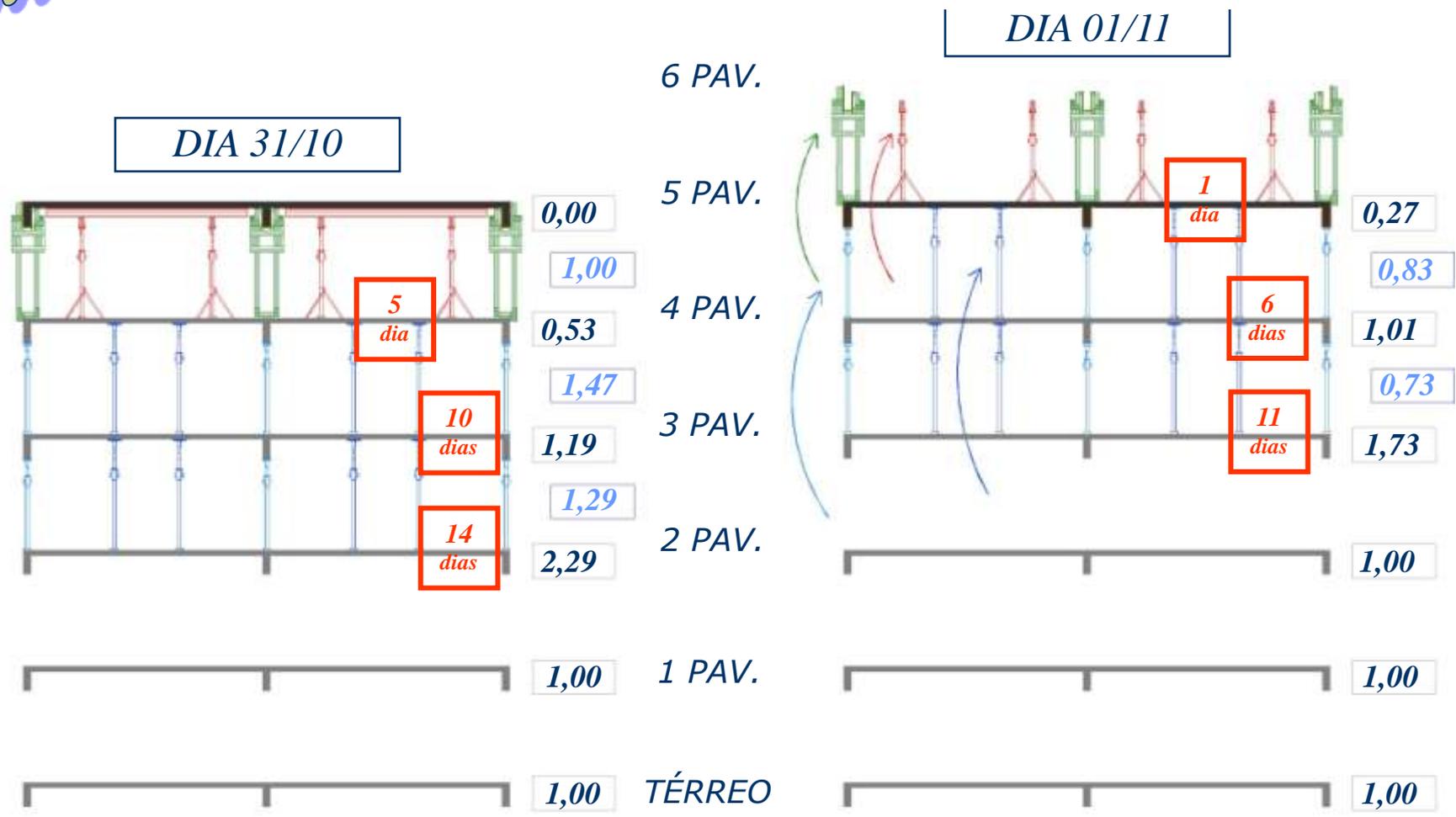
PAVIMENTO	Térreo	1 Pav	2 Pav	3 Pav	4 Pav	5 Pav
DATA DE CONCRETAGEM	7/out	12/out	17/out	21/out	26/out	31/out



FUNDAÇÕES

Ciclo de 4 dias, folga aos domingos

PAVIMENTO	Térreo	1 Pav	2 Pav	3 Pav	4 Pav	5 Pav
DATA DE CONCRETAGEM	7/out	12/out	17/out	21/out	26/out	31/out



FUNDAÇÕES

IE
set 2009

FIM