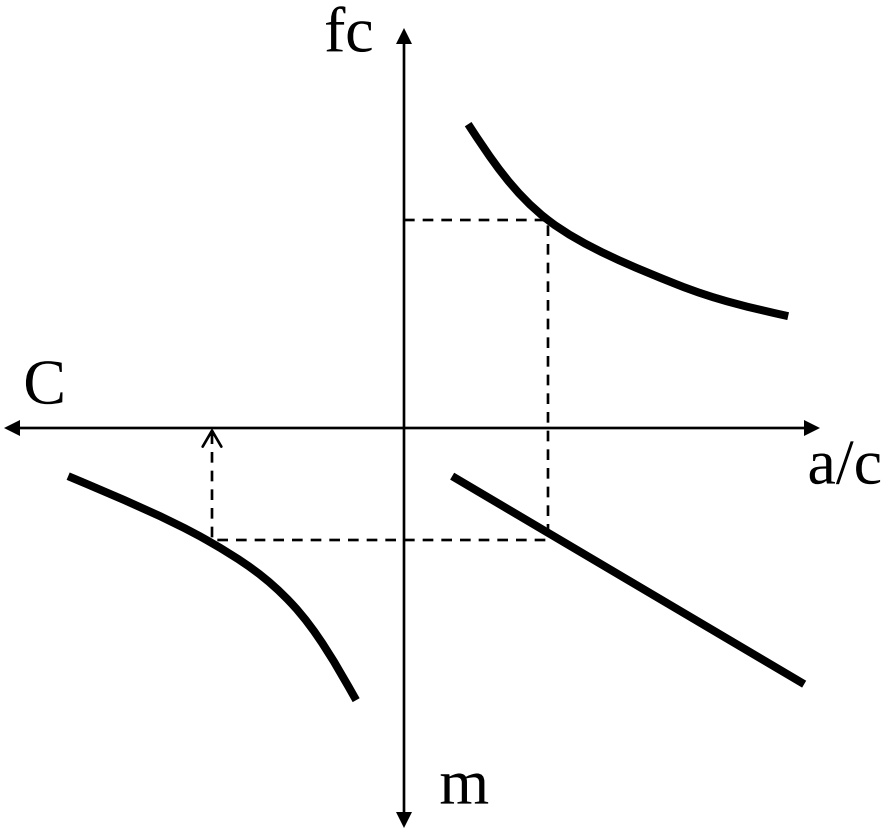
Dosagem do concreto projetado

Antônio D. de Figueiredo

Introdução

- Concretos plásticos possuem leis bem estabelecidas
- Teor de argamassa determinado por avaliação visual



Aspectos importantes

- Lei de Abrams é válida?
- Como controlar trabalhabilidade.
- A granulometria influência na resistência ou só na reflexão?

Programa experimental

- O equipamento, o mangoteiro e os materiais básicos foram fixados.
- Três séries de quatro placas foram moldadas em seqüência.
- Cada uma das quatro placas de cada série usou um teor de argamassa (70%, 60%, 50% e 40%) com a mesma relação cimento/agregado de 1:5.

Programa experimental

- Ajuste do equipamento:
  - Na primeira série o fluxo e a pressão de ar e água foram mantidos constantes.
  - Na segunda foi variada a pressão de água e fixada a de ar.
  - Na terceira procurou-se manter o mesmo consumo de água.

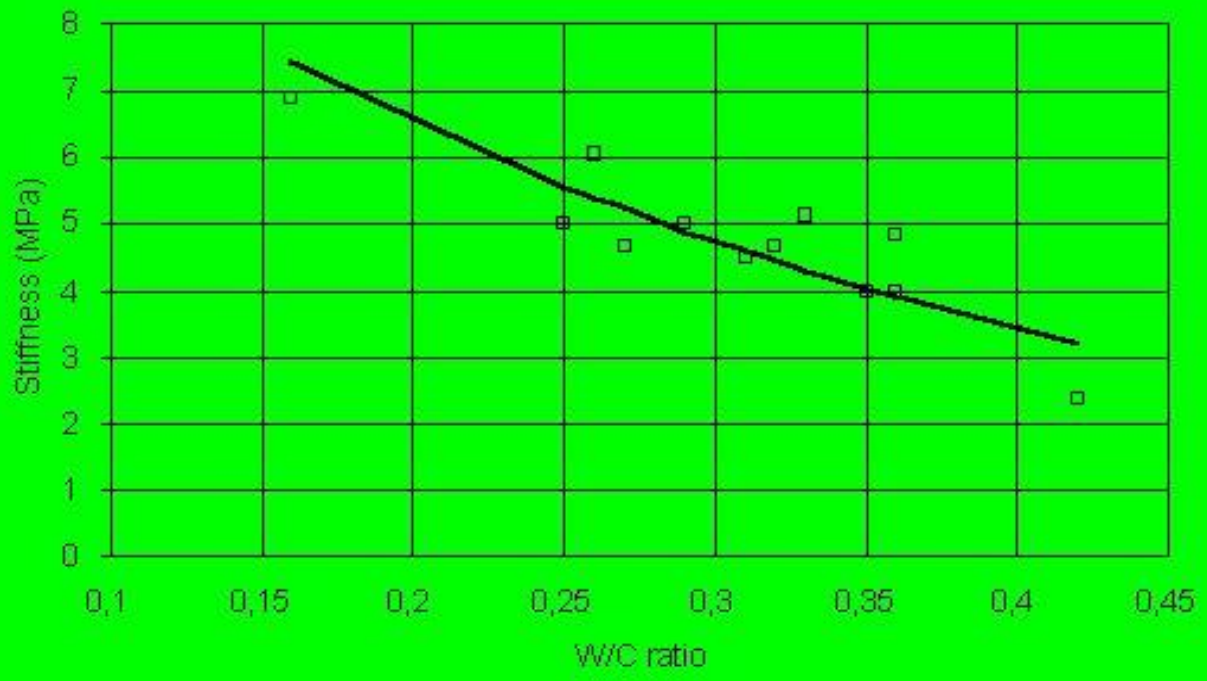
Determinações

- Consistência (Proctor).
- Resistência à compressão.
- Absorção de água por imersão e fervura.
- Reconstituição de traço.

Resultados e discussão

Consistência

- Boa correlação com relação a/c em conformidade com Powers



$\chi = 12{,}48/25{,}38^{x}$

$r^2 = 0{,}713$

Consistência

- Boa medida de trabalhabilidade.
- Deve ser mantida constante no procedimento de dosagem.
- No concreto projetado via seca a pasta tem papel lubrificante.
- Critério de escolha: espessura da camada a ser projetado no teto (p.ex.)

Consistência

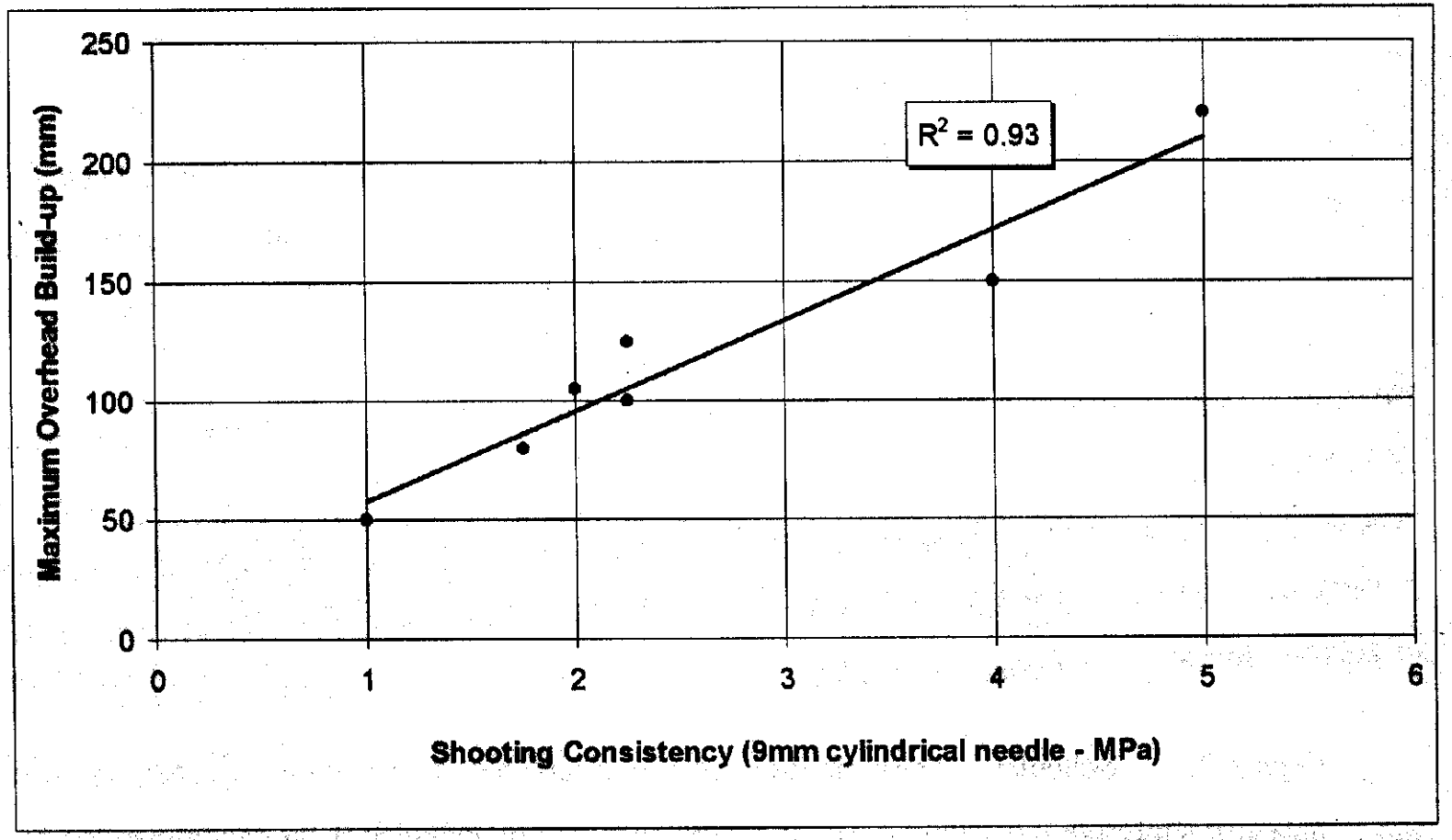
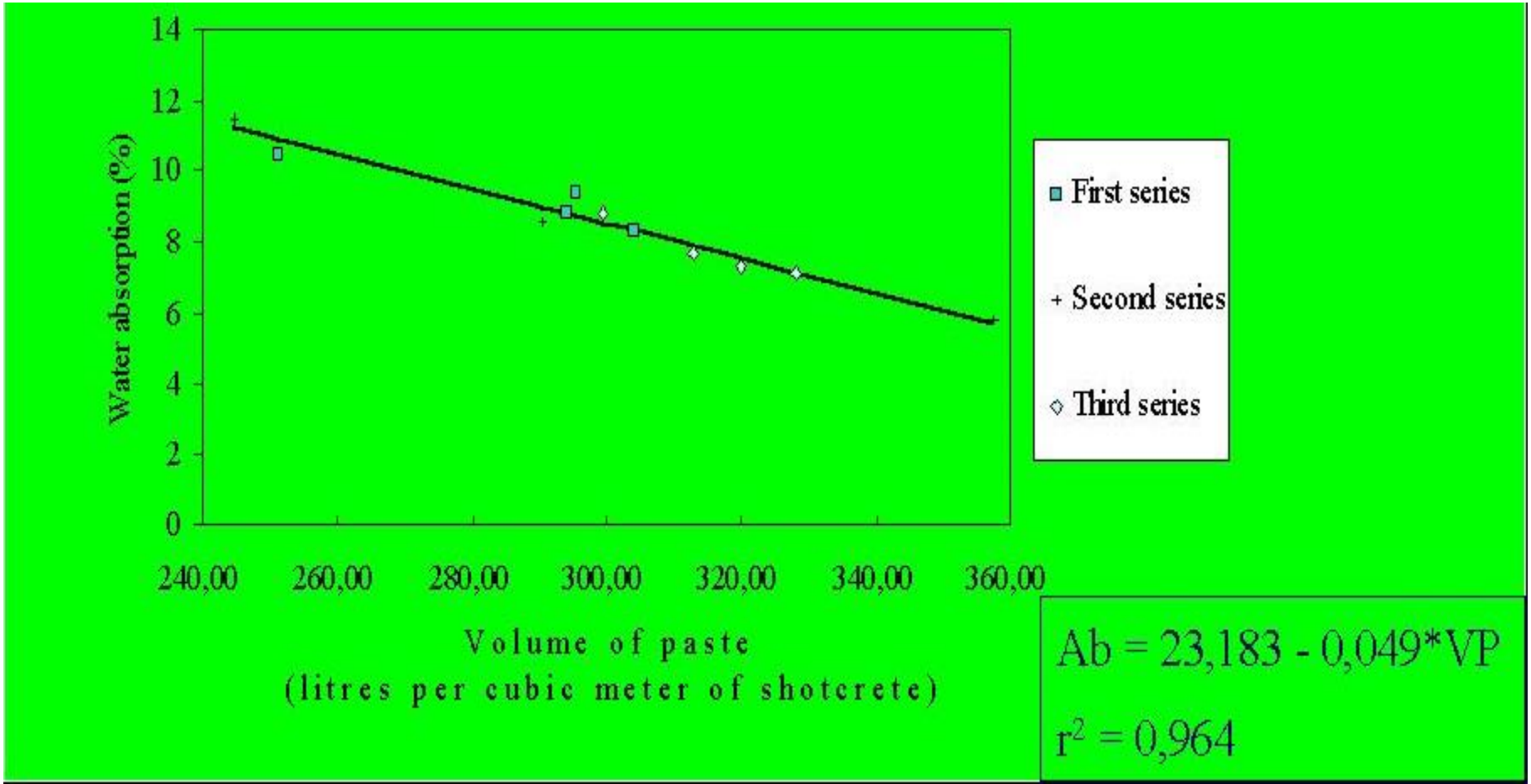


Figure 3.5 - Correlation between the maximum achievable overhead build-up and the shooting consistency measured using the penetrometer.

Absorção de água

- Boa correlação com o volume de pasta incorporado



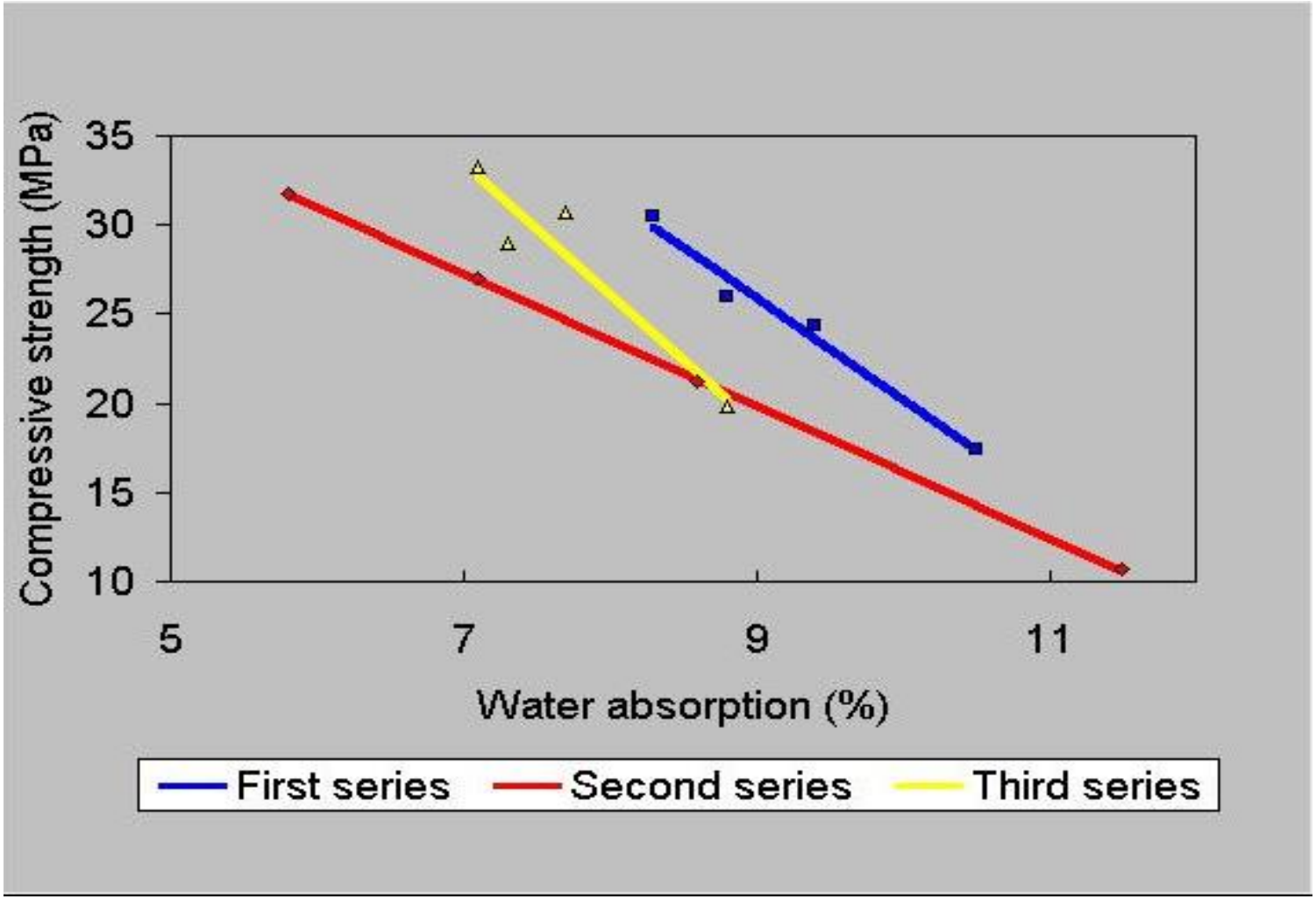
Absorção de água

- Reduz-se a porosidade com o aumento do volume de pasta incorporado no concreto projetado.
- Preenchimento de vazios do agregado.
- Volume de vazios dos agregados é constante pois granulometria é uniformizada.

Reflexão e teor de argamassa incorporado

Test panel	Mixture proportions of the shotcrete (1:a:b:x)	Mortar content in the shotcrete (%)
A70	1:2,44:1,00:0,42	83
A60	1:2,16:1,10:0,36	81
A50	1:1,72:0,83:0,25	82
A40	1:2,02:0,47:0,16	85
B70	1:2,47:0,68:0,23	87
B60	1:2,11:1,06:0,32	81
B50	1:1,65:1,14:0,33	78
B40	1:1,30:1,32:0,35	73
C70	1:2,24:1,06:0,36	75
C60	1:2,23:0,97:0,31	77
C50	1:2,25:0,75:0,29	81
C40	1:2,38:0,62:0,26	85
Average and standard deviation		81±4

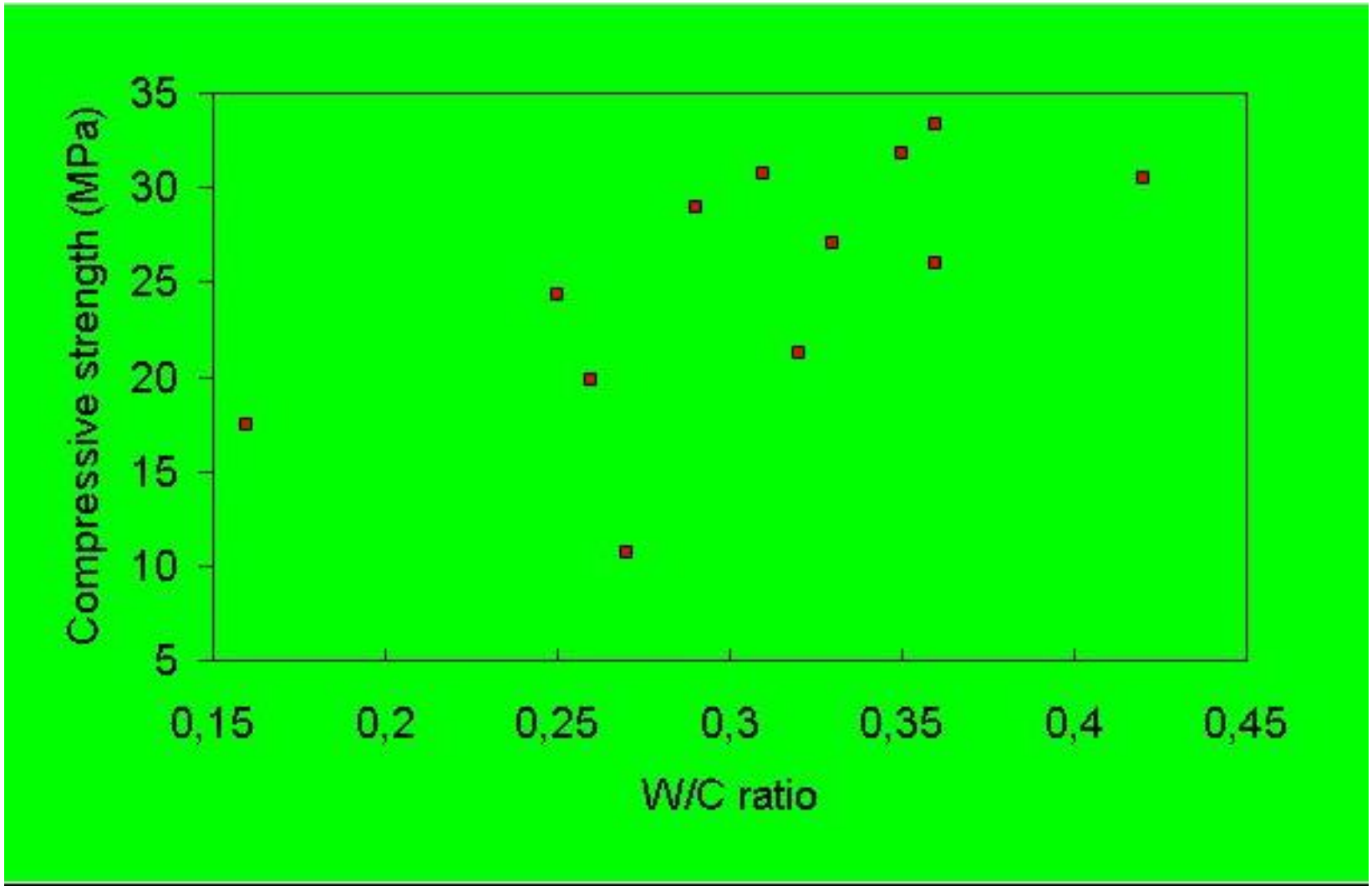
Porosidade e fc



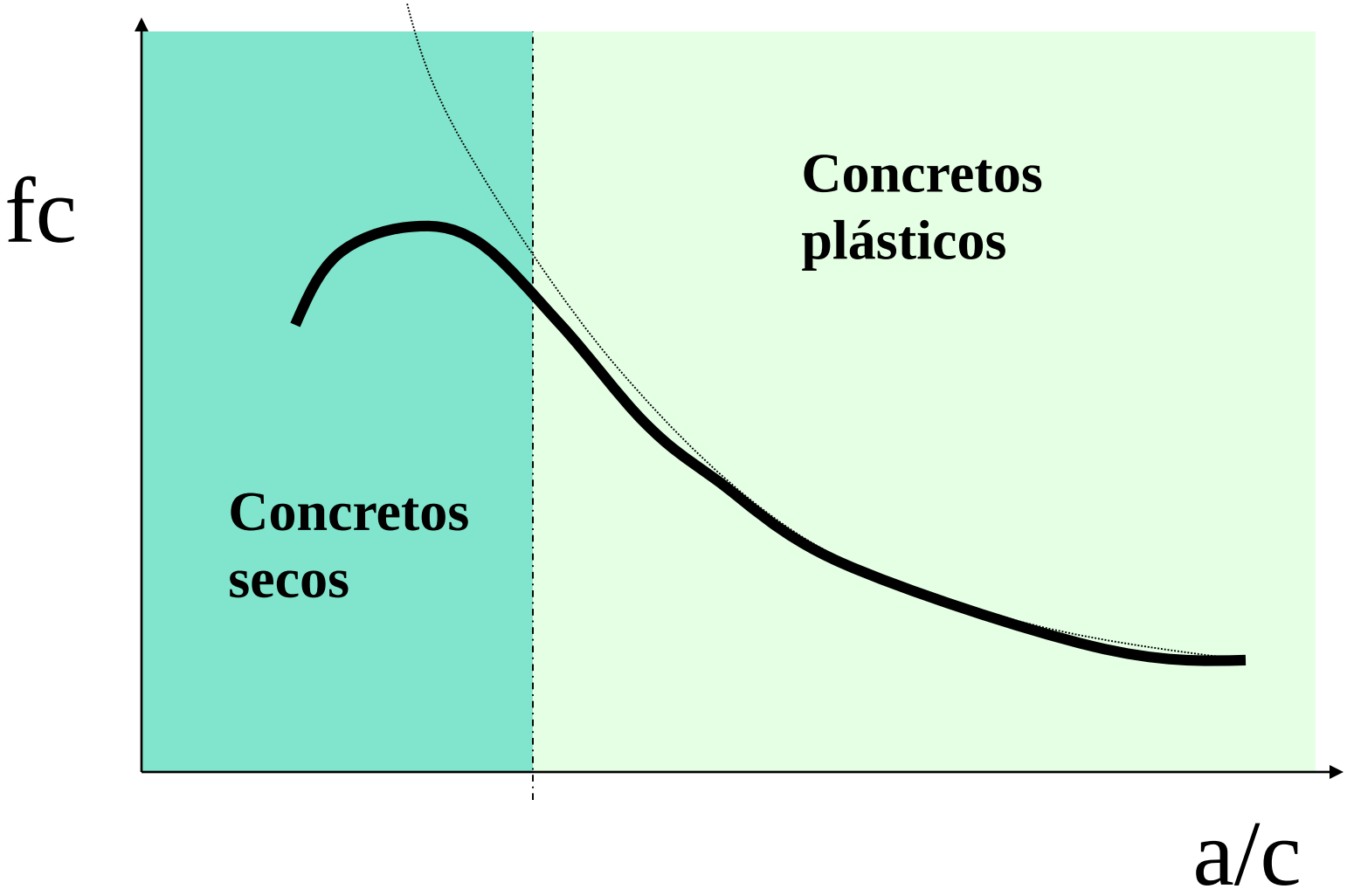
- **Diferenças provocadas pelo ajuste do equipamento**

A lei de Abrams vale?

- Sem correlação



Concreto secos fc não correlaciona com a/c



Conclusões

- Consistência define trabalhabilidade.
- Compacidade e resistência são função do volume de pasta incorporado ao concreto.
- Fixar uma resistência mínima corresponde a fixar uma absorção de água máxima.

Conclusões

- Lei de Abrams não vale para o concreto projetado via seca: reologia seca.
- Reflexão uniformiza granulometria do agregado incorporado.
- Pode-se fixar teor de argamassa ou distribuição granulométrica da mistura de agregados.

Definição do consumo de cimento

Influência do consumo de cimento na consistência

- Três consumos de cimento para mistura seca (300kg/m^3, 400kg/m^3 e 500kg/m^3) foram usados em duas séries.
- Traços da mistura seca:
  - 1:3.84:2.16 placas 1 e 4
  - 1:2.88:1.62 placas 2 e 5
  - 1:1.92:1.08 placas 3 e 6.

Ajuste dos equipamentos

- Na primeira série a vazão de água e ar foram mantidas constantes.
- Na segunda série, o mangoteiro foi instruído para manter constante a consistência do concreto projetado ajustando a água.

Determinações

- Consistência (Proctor)
- Resistência à compressão.
- Reconstituição de traço.

Resultados

Primeira série

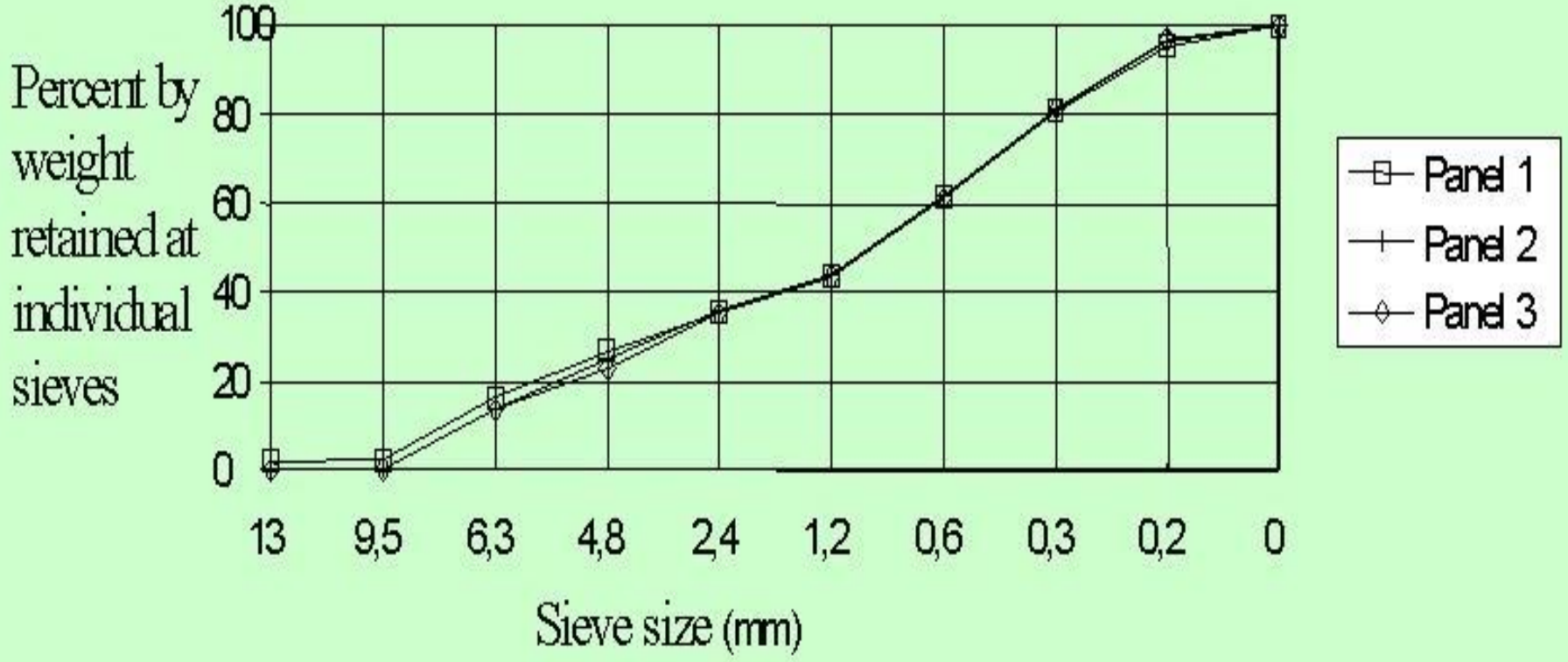
Placa	Traço in situ 1:m:x*	Consistência (MPa)	Resistência à compressão (MPa)**	H* (%)
1	1:4.8:0.41	3.22	29.1±3.3	7.01
2	1:3.1:0.32	4.51	35.0±1.2	7.86
3	1:2.4:0.25	5.03	32.6±4.1	7.45

Segunda série

Placa	Traço in situ 1:m:x*	Consistência MPa)	Resistência à compressão (MPa)**	H* (%)
4	1:3.38:0.32	4.26	25,4±2,1	7.29
5	1:2.93:0.31	4.81	34,5±4,3	7.89
6	1:2.20:0.31	4.13	43,9±2,2	9.89

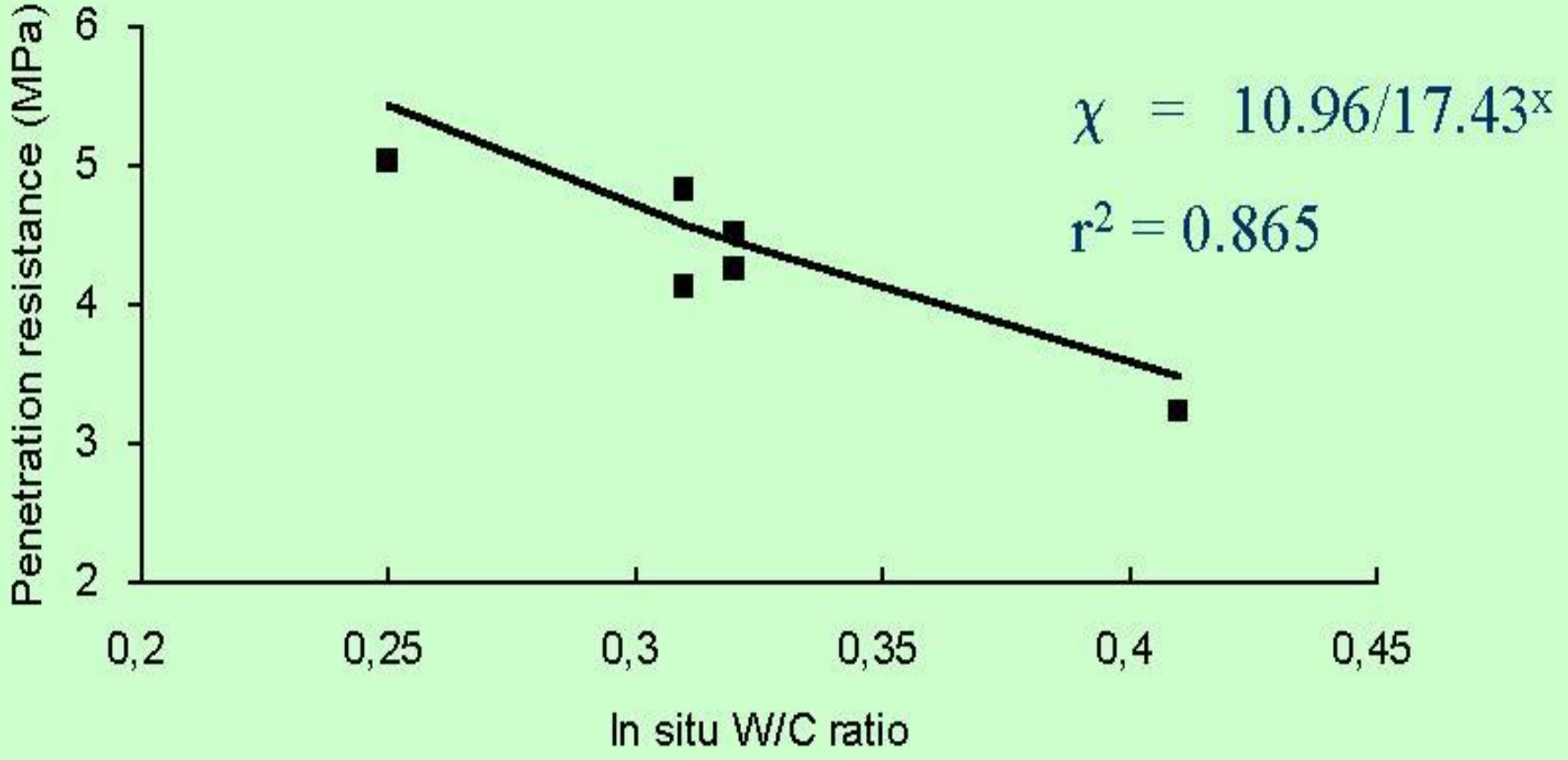
Distribuição granulométrica in-situ

Sem variação significativa



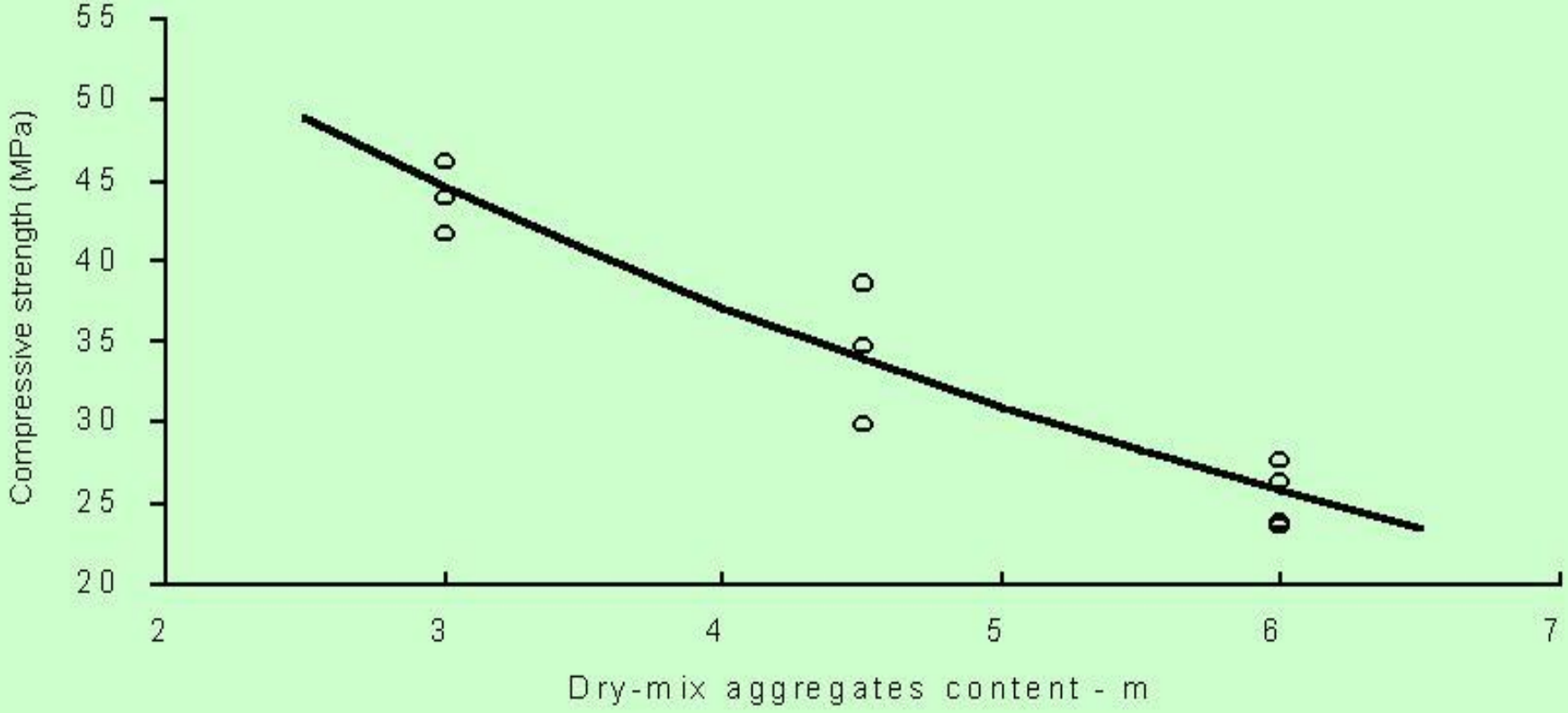
Análise dos resultados

- Boa correlação entre relação a/c e consistência (modelo de Powers)



Resistência à compressão

- $fc_{28} = 77{,}13/1{,}20^{m}$ com $r^2=0{,}901$ (Prudêncio, 93)



Dosagem

- Correlação é instrumento para definição do conteúdo de agregado ou consumo de cimento:

  Exemplo, se exige-se fc_{28} = 35MPa, “m” é 4.5 e o traço será 1: 2.85: 1.65 para uma proporção entre agregados pré-fixada.

Conclusão

- É possível dosar o cimento se a trabalhabilidade for mantida constante.

Procedimento de dosagem do concreto projetado via seca

Resistência à compressão

- Definição da resistência de dosagem
  - Escolha da classe de resistência (ACS) a maiores idades e
  - Escolha da curva de evolução da resistência inicial (ACS) – túneis
  - Definição de fck ou fcm

Outras exigências

- Exigências não levadas em conta na dosagem mas verificadas:
  - Absorção e volume de vazios permeáveis
  - Resistividade elétrica volumétrica
  - Módulo de elasticidade

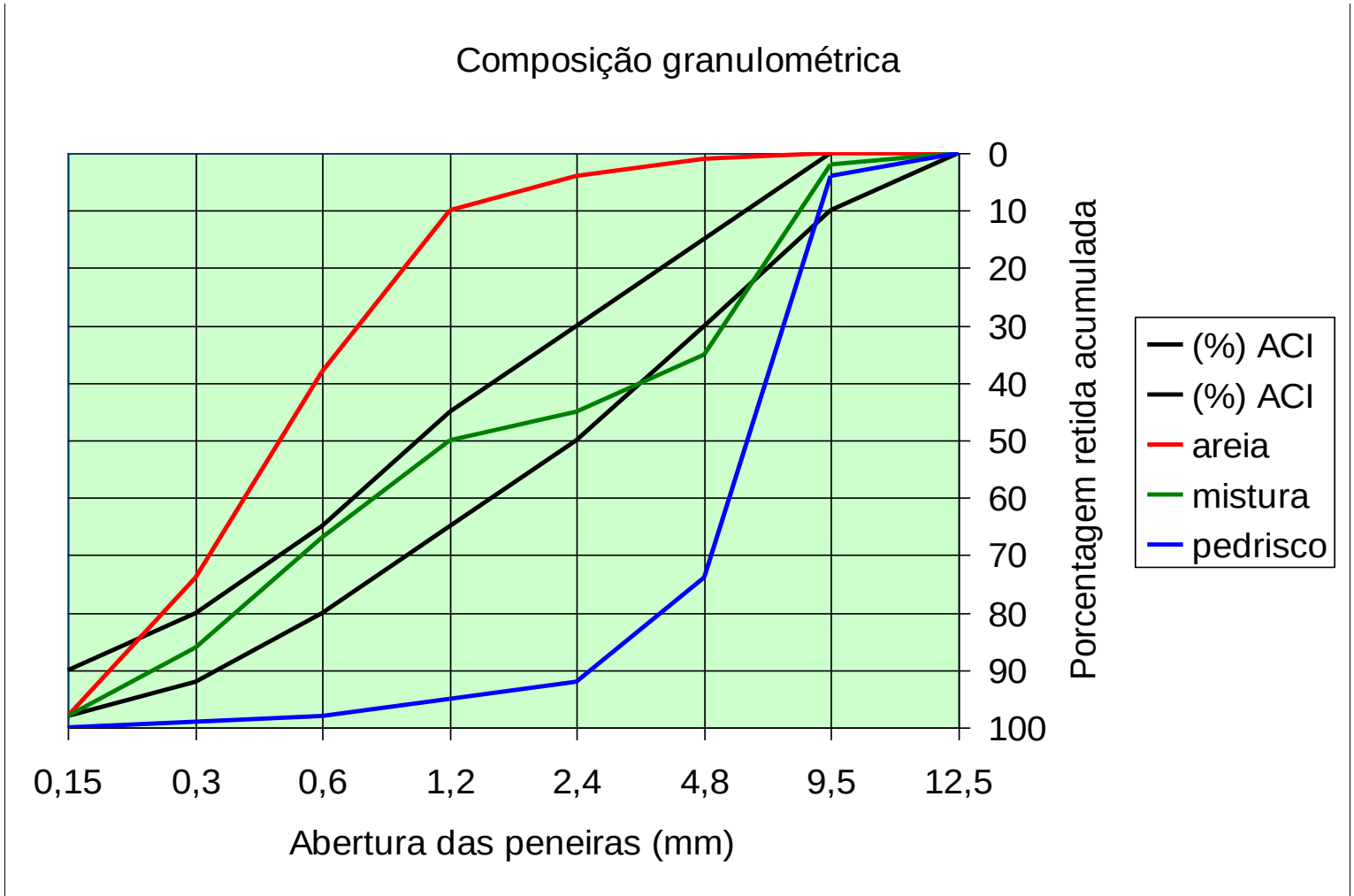
1º passo: Determinação da proporção entre agregados

- 1ª opção: curvas do ACI

Abertura (mm)	Porcentagens em massa retidas acumuladas		
	Grad. No. 1	Grad. No. 2	Grad. No. 3
19			0
12,5		0	5-20
9,5	0	0-10	10-30
4,8	0-5	15-30	30-50
2,4	0-20	30-50	45-65
1,2	15-50	45-65	60-80
0,6	40-75	65-80	70-90
0,3	70-90	80-92	83-95
0,15	90-98	90-98	90-98

1º passo: Determinação da proporção entre agregados

- 1ª opção: curvas do ACI



1º passo: Determinação da proporção entre agregados

- 2ª opção: teor de argamassa

Test panel	Mixture proportions of the shotcrete (1:a:b:x)	Mortar content in the shotcrete (%)
A70	1:2,44:1,00:0,42	83
A60	1:2,16:1,10:0,36	81
A50	1:1,72:0,83:0,25	82
A40	1:2,02:0,47:0,16	85
B70	1:2,47:0,68:0,23	87
B60	1:2,11:1,06:0,32	81
B50	1:1,65:1,14:0,33	78
B40	1:1,30:1,32:0,35	73
C70	1:2,24:1,06:0,36	75
C60	1:2,23:0,97:0,31	77
C50	1:2,25:0,75:0,29	81
C40	1:2,38:0,62:0,26	85
Average and standard deviation		81±4

1º passo: Determinação da proporção entre agregados

- Dado um traço “médio” 1:4,5 desdobra-se m:
  - Segundo α = cte. = 65% $\Rightarrow$ 1:2,48:2,02
  - Equivale a Areia = 55% e Brita = 45%

2º passo: Desdobramento do traço piloto

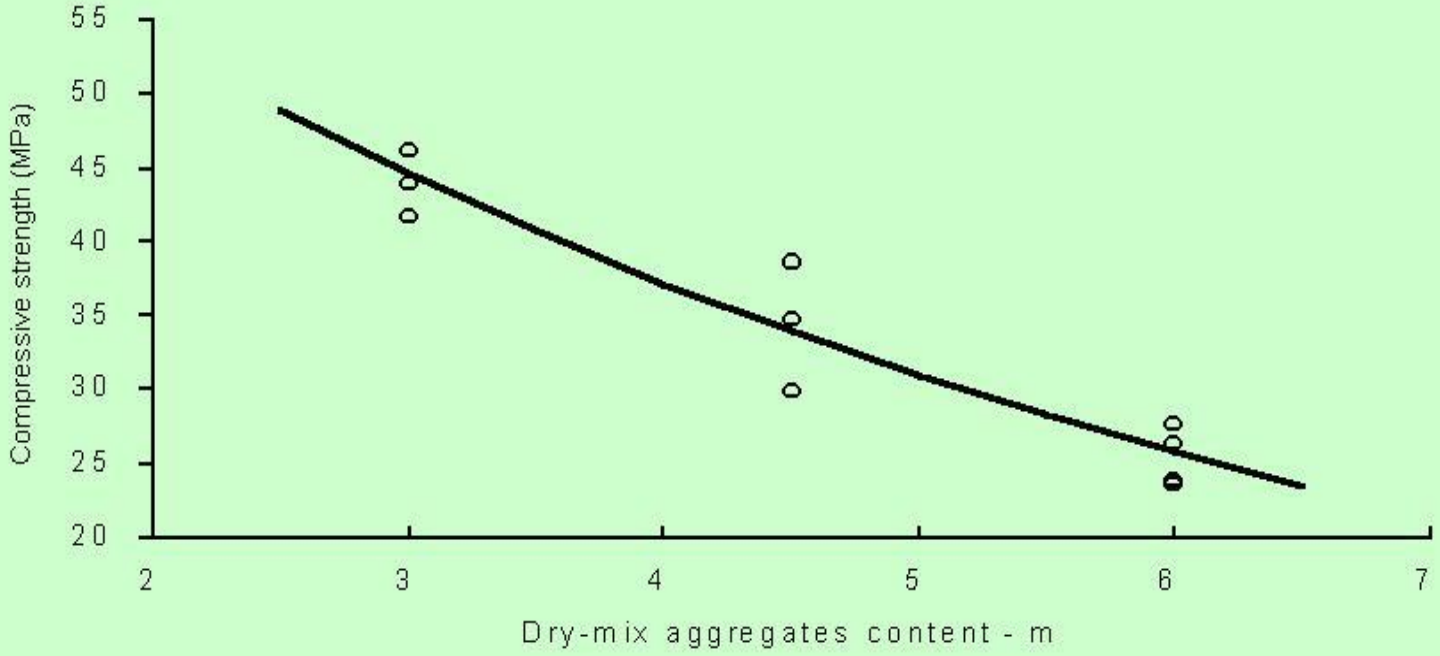
- Dado um traço "médio" m_1 = 1:4,5 desdobra-se m_2 e m_3:

Traço	α = cte = 63%	Areia = 55% Brita = 45%
Traço 2 (m=3)	**1:1,52:1,48**	**1:1,65:1,35** **α = 66%**
Traço 3 (m=6)	**1:3,41:2,59**	**1:3,30:2,70** **α = 61%**

3º passo: Moldagem de três placas

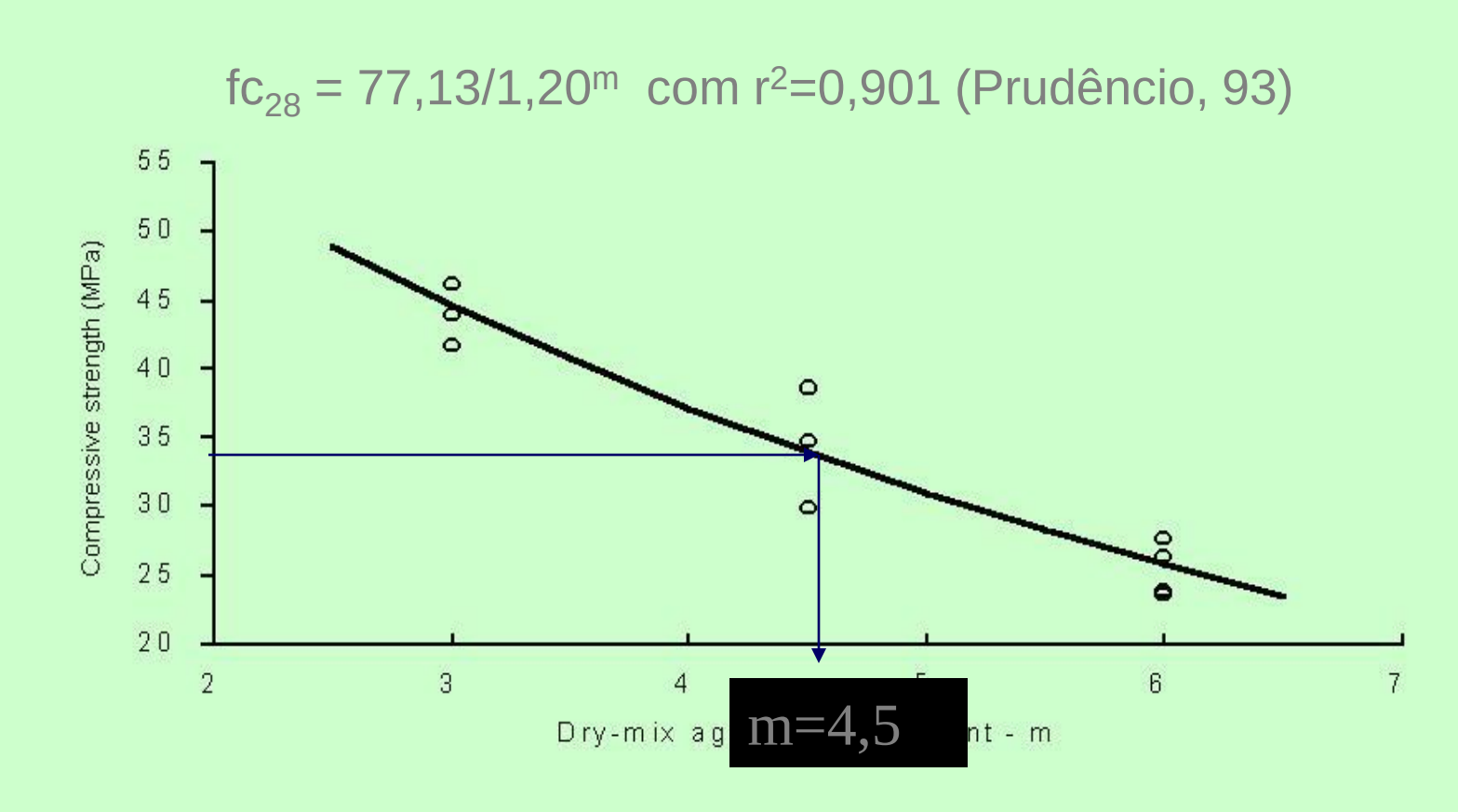
- Moldagem das placas com m_1,m_2 e m_3 e consistência constante

$fc_{28} = 77{,}13/1{,}20^m$ com r^2=0,901 (Prudêncio, 93)



4º passo: Definir “m” básico

- fcm = (fck + 1,65sd)x(1 + Δad) = (20 +1,65x5)x1,20 = 34MPa



5º passo: Definir o teor de aditivo acelerador

- Curvas ACS
- Perda de fc a maiores idades

Dosagem do concreto projetado via úmida

Luiz Prudêncio Jr.

Dosagem do concreto projetado via úmida - premissas

- Diferente da via seca – comportamento plástico
- Também depende do equipamento de projeção
- É função da aplicação (primário ou secundário)
- Sempre deve ser bombeável

Considerações

- Estabelecimento de um consumo mínimo de finos.
- Proporcionamento dos agregados
- Definição da relação a/c
- Definição da consistência (slump)
- Fixação do teor de aditivo acelerador = f(revestimento/exigência de resistência inicial).
- Ajuste final do traço

SEQUÊNCIA

Definição da resistência de dosagem

↓

Definição do traço piloto

↓

Desdobramento do traço piloto

↓

Determinação da consistência

↓

Estimativa de a/c

↓

Ajuste de trabalhabilidade com aditivo

Requisitos de desempenho

- fck_7, fck_{28} e Abatimento
- $fcm_7 = fck_7 + 1{,}65.sd$ e
- $fcm_{28} = fck_{28} + 1{,}65.sd$
- Exemplo:
  - $fcm_{28} = 35 + 1{,}65.4{,}5 = 42{,}4MPa$
- Abatimento entre 80 e 160mm.

Seleção dos materiais

- Cimento
- Aditivo plastificante
- Aditivo acelerador
- Agregados

Proporcionamento dos agregados

- Mesmos critérios da via seca:
  - Curva granulométrica
  - Teor de argamassa

Definição do traço piloto

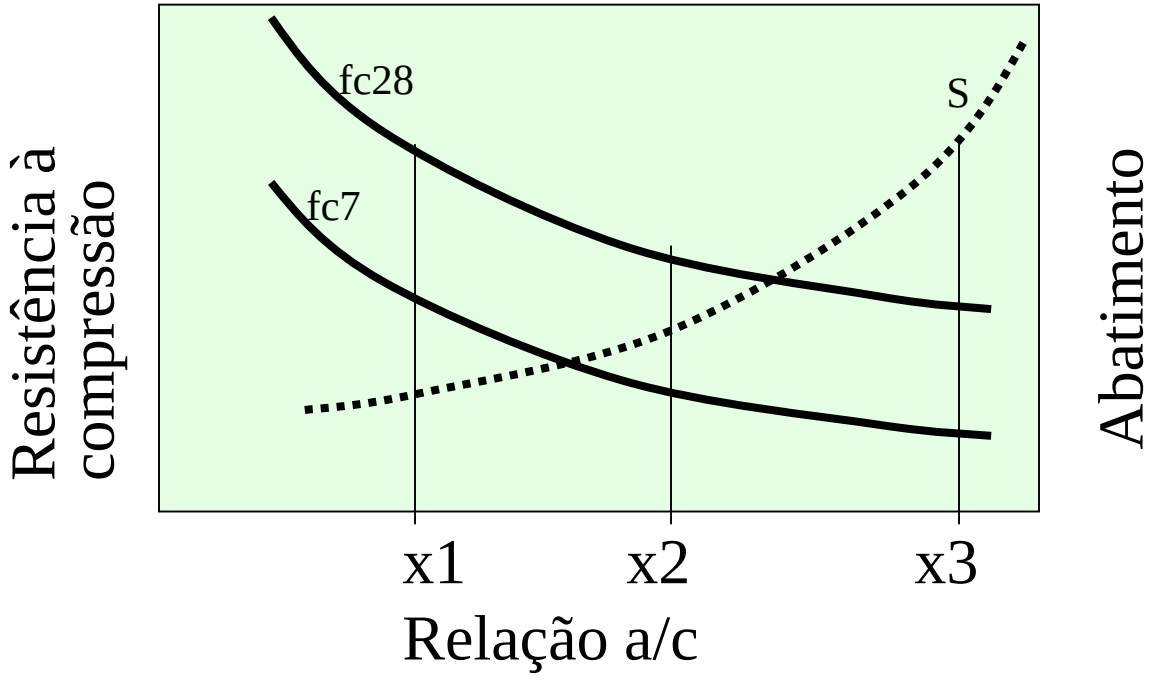
- Consumo mínimo:
- 1:4,2:0,5 ~ 400kg/m^3
- A% = areia no total
- B% = pedrisco no total
- Desdobra-se o traço:
- 1:a:p = 1:(Ax4,3/100):(Bx4,2/100)
  - Exemplo A = 60% e B = 40%
  - 1:2,52:1,68

Determinação das curvas de dosagem

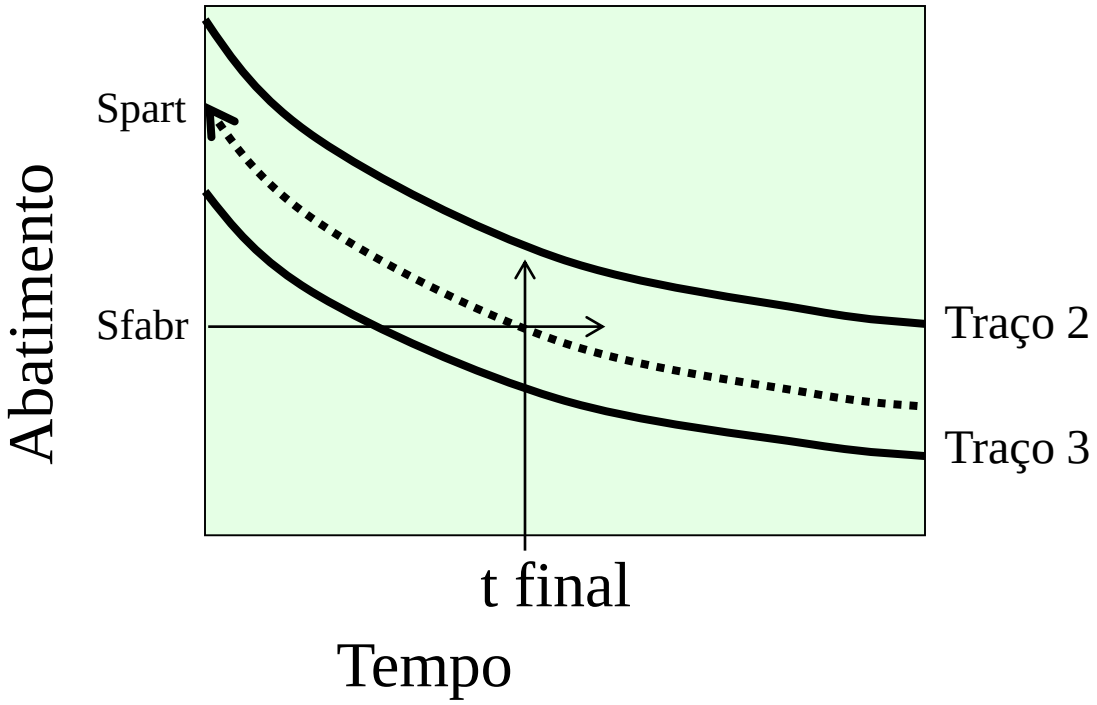
- $1:a:p:x_1 \rightarrow S_1 = 40mm$
- $1:a:p:x_2 \rightarrow S_2$ = consistência do fabricante
- $1:a:p:x_3 \rightarrow S_3 = S_2 + 60mm$

- Três traços ajustados somente com a água!

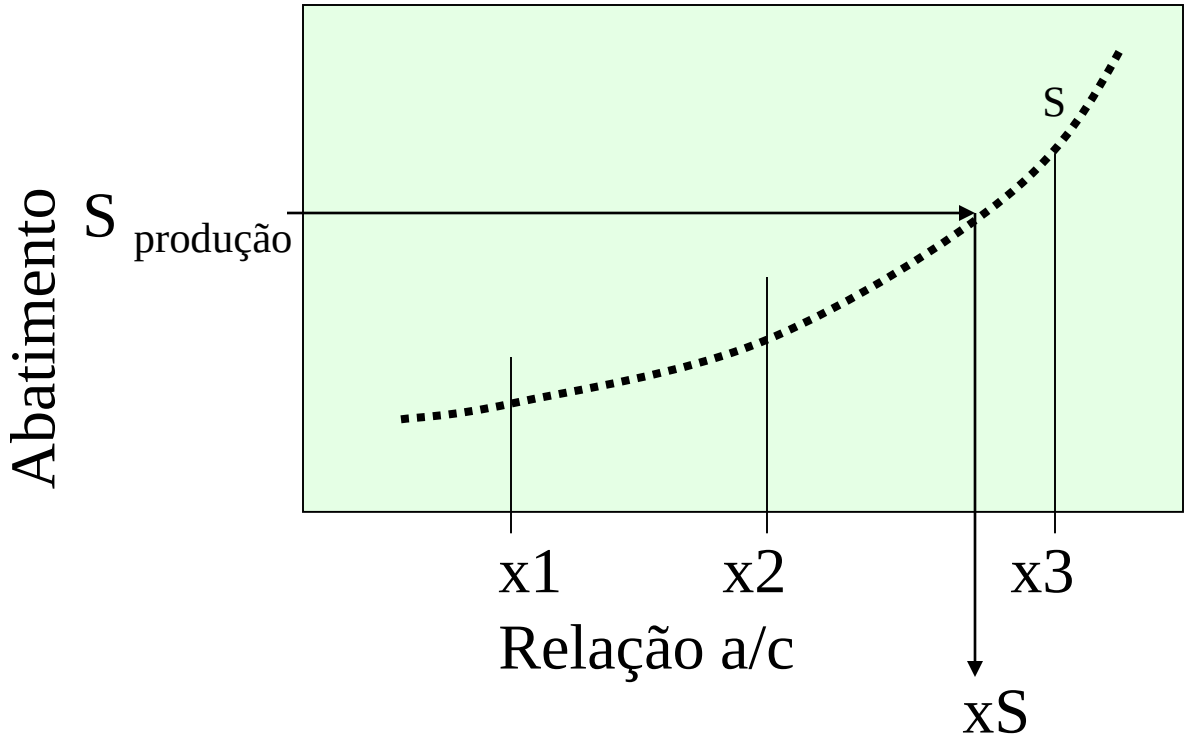
Determinação das curvas de dosagem



Determinação das curvas de dosagem



Ajuste do abatimento



Sprod = Spart +2cm

Há que se converter x (relação a/c) em h (teor de água total) para não prejudicar a resistência

Determinação do traço definitivo

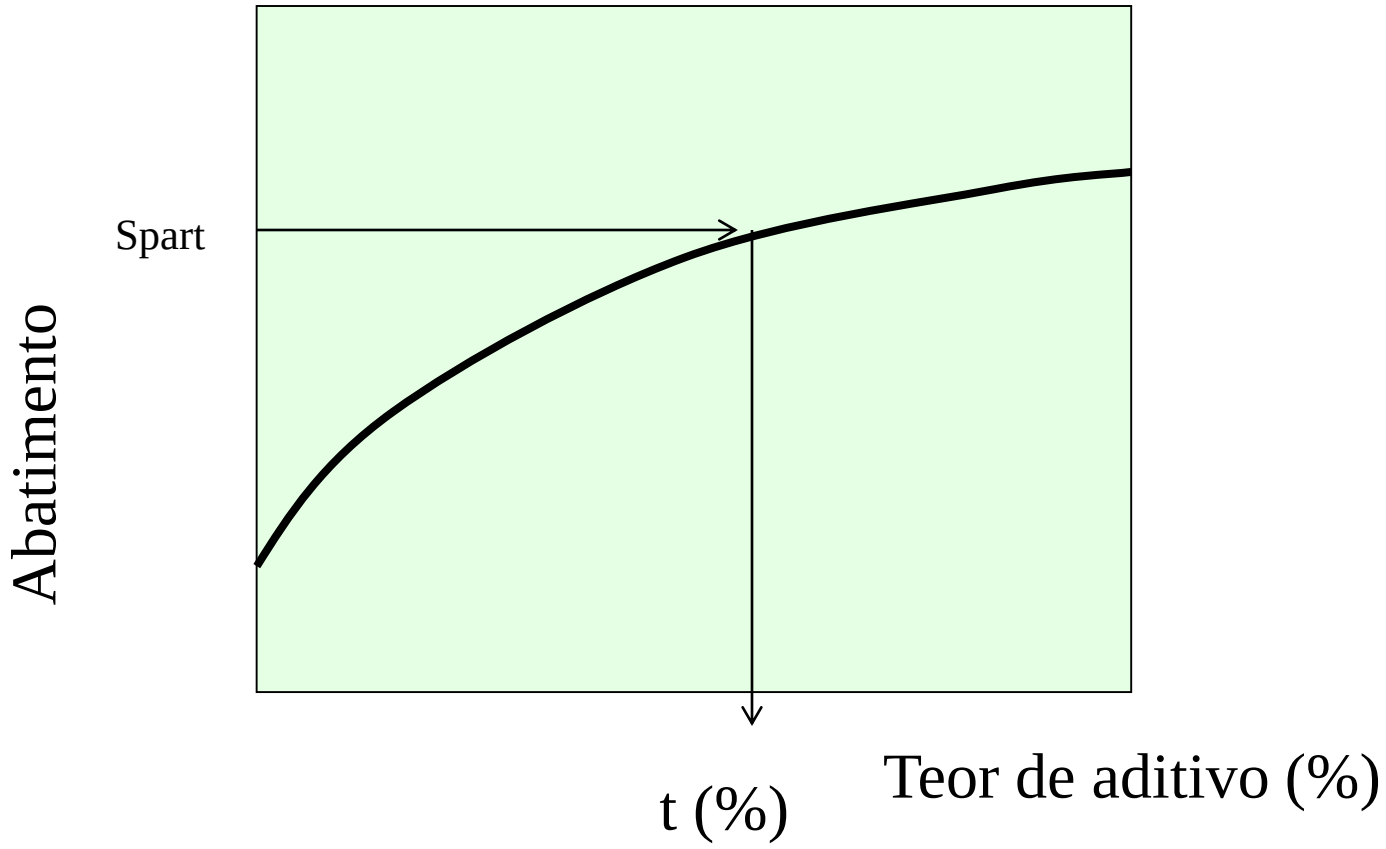
Condição de aplicabilidade (acelerador)
Valores de referência para o fator “q”

Tipo de aditivo	*Aplicação*	*Teor*	*q*
Aluminato (dens.=1,5)	Espe.<5cm (túnel)	2,7%	25%
	Espe.<15cm (túnel)	3,5%	25 a 35%
	Encostas e taludes	2,7%	25%
Silicato	Qualquer	>8%	>35%

Exemplo de resistência corrigida para o aditivo

- fcj = fcj’(1-q/100)
- 42,4 = fc_{28}’(1-35/100)
- fc_{28}’= 56,5MPa
- x fc_{28}’ = 0,35
- Verifica-se Saditivo
- Naturalmente Saditivo<Sprod +2cm
- Aditivo plastificante

Determinação do teor de aditivo



Determinação do teor de acelerador

- Revestimento secundário
  - Projeção prática com aumento progressivo do teor de aditivo e verificação do obtenção da espessura de aplicação.
- Revestimento primários
  - Idem a via seca (atendendo a J3 por exemplo)
- Moldam-se placas para extração de testemunho e verificação de fc

Ajuste final do traço

- Em função dos resultados obtidos da determinação precisa do teor de acelerador de pega.
- Normalmente o pessoal parte daqui!

Comentários finais

- A principal preocupação da aula é mostrar que estes procedimentos não são fáceis.
- Por isso, ninguém usa.
- Os custos serão maiores.