



EDI-33

Materiais e Processos Construtivos

Concreto

Frank Cabral de Freitas Amaral – 1º Ten.-Eng.º
Instrutor

Abril / 2006



Programação

EDI-33 Materiais e Processos Construtivos

SEMANA	DATA	TÓPICOS	
1	06/mar	APRESENTAÇÃO DO CURSO	
	09/mar	TIPOS DE MATERIAIS E PROPRIEDADES	
2	13/mar	AGREGADOS	
	16/mar		
3	20/mar	AGLOMERANTES	
	23/mar		
4	27/mar	CONCRETO	
	30/mar		
5	3/abr		
	6/abr		
6	10/abr		
	13/abr		
7	17/abr		PROVA 1º BIMESTRE
	20/abr		AÇOS
24/abr			
27/abr			
	29/abr a 6/mai	SEMANINHA	



Concreto

- Concreto fresco
- Aditivos
- Concreto endurecido
 - Estrutura
 - Resistência
 - Estabilidade dimensional
- Durabilidade
- **Dosagem**



1 Objetivos

- Trabalhabilidade
Concreto fresco
- Propriedades físicas e químicas
Concreto endurecido
- Durabilidade
- Economia
- Aparência



	Boa Trabalhabilidade	Boa Resistência
Finura da areia	Fina	Grossa
Ag. Graúdo / Areia	A diminuir	A aumentar
Água	A aumentar	A diminuir
Granulometria	Contínua	Levemente descontínua
Dimensão máxima dos grãos	Pequena	Grande



2 Caracterização dos Materiais

- Cimento
- Agregados miúdos
- Agregados graúdos
- Aditivo



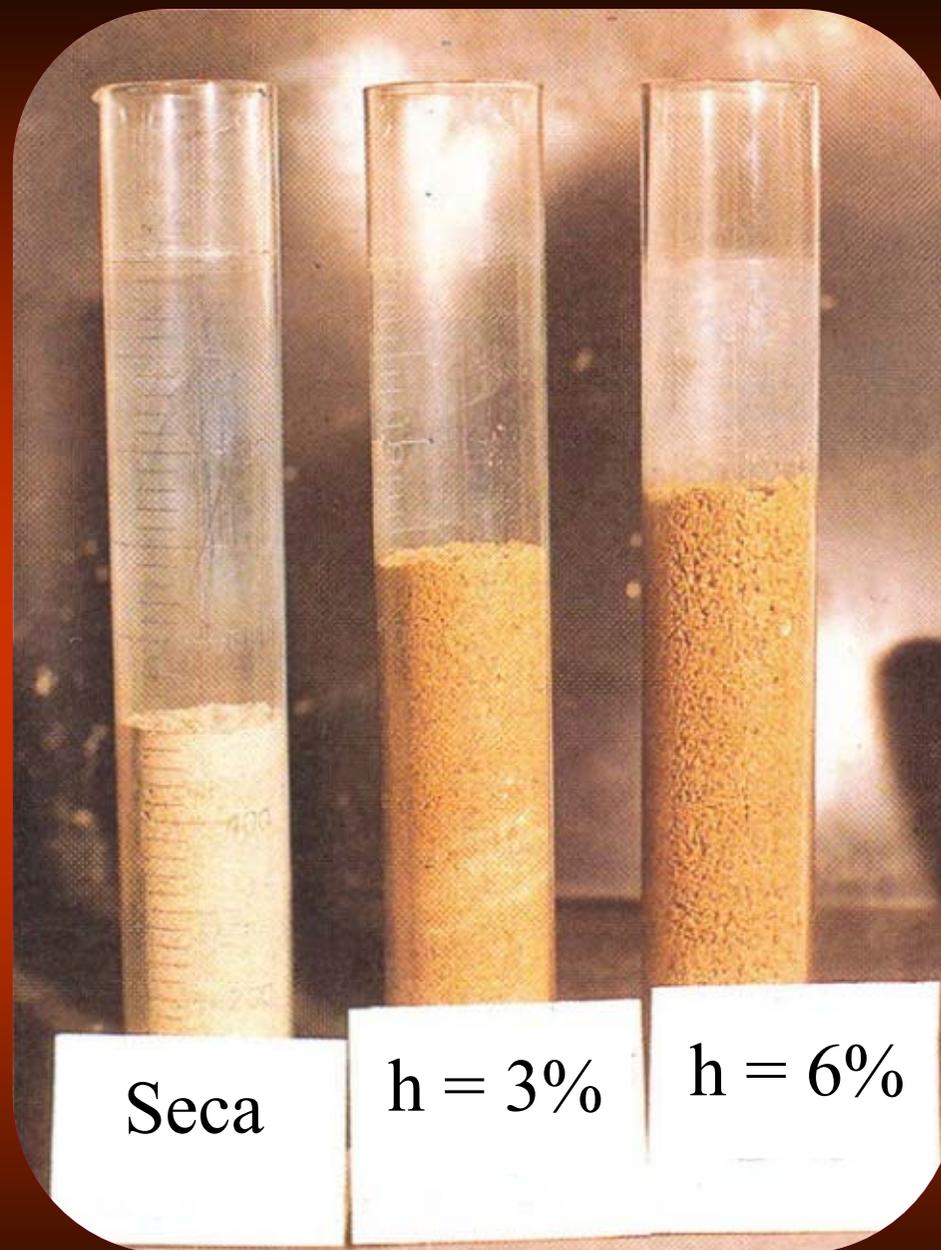
2.1 Cimento

- Finura – NBR 5732
 - Velocidade da reação de hidratação
 - Melhora resistência (inicial)
 - Diminui exsudação e segregação
 - Aumenta trabalhabilidade
 - Aumenta impermeabilidade
 - Aumenta liberação de calor
- Perda ao fogo e resíduo insolúvel – NBR 5743
 - Avaliação do envelhecimento do cimento
 - Presença de substâncias indesejáveis
- Resistência à compressão – NBR 5739
 - Previsão de comportamento



2.2 Agregados Miúdos

- Granulometria – NBR 7217
 - Compacidade e resistência
- Módulo de finura – NBR 7217
 - Área superficial do agregado
- Massa unitária – NBR 7251
 - Transformação de traços (massa – volume)
- Massa específica – NBR 9776
 - Volume dos grãos
- Inchamento – NBR 6467
 - Aumento de volume por absorção de água



Inchamento da areia

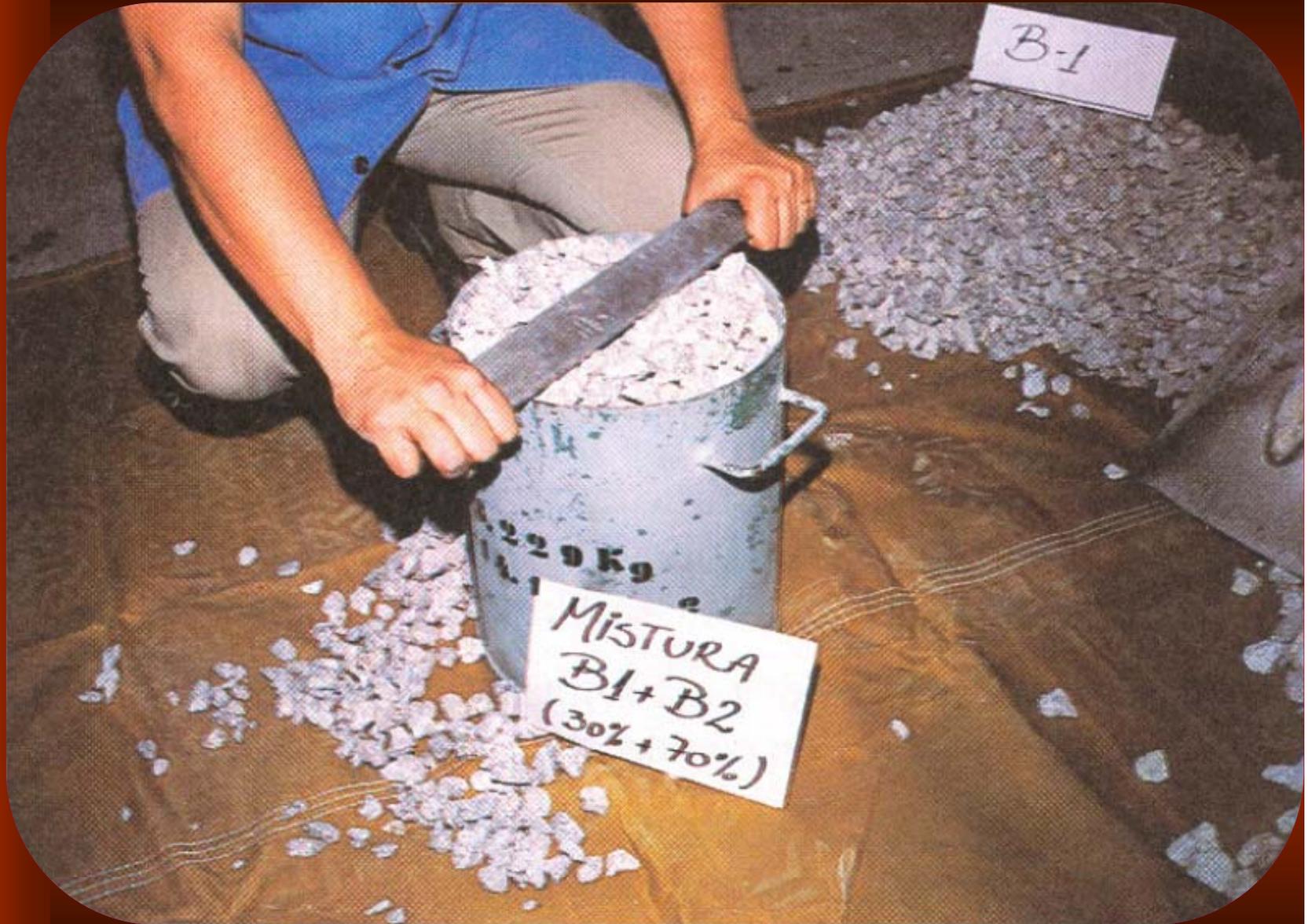


2.3 Agregados Graúdos

- Granulometria – NBR 7217
- Massa unitária – NBR 7251
- Dimensão máxima característica – NBR 7217
 - Trabalhabilidade: Formas, armaduras, transporte...
- Massa específica – NBR 9937
 - Volume dos grãos
- Apreciação petrográfica
 - Natureza mineral
- Mistura dos agregados



Mistura de agregados graúdos



Mistura de agregados graúdos



2.4 Aditivo

- Massa específica
 - Dosagem
- Aspecto
 - Índice de qualidade
- Desempenho
 - Característica
 - Aplicabilidade



3 Dosagem Experimental

- Informações básicas
- Resistência de dosagem
- Relação água/cimento
- Traço inicial
- Teor ideal de argamassa
- Consumos
- Correção de umidade
- Traço em volume



3.1 Informações básicas

- Resistência característica à compressão (f_{ck})
- Espaçamento da armadura (crítico e predominante)
- Dimensão máxima do agregado
 - $\leq 1/3$ da espessura da laje
 - $\leq 1/4$ da distância entre as formas
 - $\leq 0,8$ do espaçamento entre barras horizontais
 - $\leq 1,2$ do espaçamento entre barras verticais
 - $\leq 1/4$ do diâmetro da tubulação de bombeamento
- Relação água/cimento (durabilidade)
 - $\leq 0,65$ – peças protegidas e sem umidade
 - $\leq 0,55$ – peças expostas em atmosfera urbana ou rural
 - $\leq 0,45$ – peças expostas em atmosfera industrial ou marinha



3.1 Informações básicas

- Estimativa de perda da argamassa
 - Formas, armaduras
 - 2 a 4% em geral
- Uso de aditivos
 - Plastificante
 - Modificador de pega
 - Incorporador de ar
- Consistência (*slump test*)

Aplicação	Pouco armado	Muito armado
Laje	60 ± 10	70 ± 10
Viga, parede armada	60 ± 10	80 ± 10
Pilar	60 ± 10	80 ± 10
Fundação	60 ± 10	70 ± 10
Concreto bombeado	85 ± 15	85 ± 15



3.2 Resistência de dosagem

- $f_{cdj} = f_{ckj} + 1,65 S_d$
- Desvio-padrão
 - Amostragem ($n \geq 30$)
 - Tabela – Helene (1993) / Tarture (1990)

S_d (MPa)	Condições da obra
3,0	Produção em massa, com controle rigoroso da umidade dos agregados e equipe bem treinada
4,0	Produção a volume, com controle rigoroso da umidade dos agregados e equipe bem treinada
5,5	Produção a volume, com equipe em adaptação
7,0	Sem controle rigoroso de umidade dos agregados



3.3 Relação água/cimento

- Cimento Portland comum (CP-32)

Idade (dias)	Correlação
3	$a/c = 0,71 \text{ Log } (79,4 / f_{cd})$
7	$a/c = 0,85 \text{ Log } (86,8 / f_{cd})$
14	$a/c = 1,11 \text{ Log } (92,8 / f_{cd})$
28	$a/c = 1,20 \text{ Log } (95,4 / f_{cd})$
91	$a/c = 1,30 \text{ Log } (97,5 / f_{cd})$



3.3 Relação água/cimento

- Cimento Portland de alto-forno

Idade (dias)	Correlação
3	$a/c = 0,61 \text{ Log } (87,7 / f_{cd})$
7	$a/c = 0,78 \text{ Log } (95,0 / f_{cd})$
14	$a/c = 0,99 \text{ Log } (121,2 / f_{cd})$
28	$a/c = 1,09 \text{ Log } (123,6 / f_{cd})$
91	$a/c = 1,23 \text{ Log } (125,5 / f_{cd})$



3.3 Relação água/cimento

- Cimento Portland pozolânico

Idade (dias)	Correlação
3	$a/c = 0,59 \text{ Log } (107,4 / f_{cd})$
7	$a/c = 0,74 \text{ Log } (97,4 / f_{cd})$
14	$a/c = 0,95 \text{ Log } (99,7 / f_{cd})$
28	$a/c = 1,06 \text{ Log } (101,7 / f_{cd})$
91	$a/c = 1,22 \text{ Log } (103,4 / f_{cd})$



3.4 Traço inicial

- Fator água / massa seca (A%)

Dmáx	Manual	Vibração Moderada	Vibração Enérgica
9,5	11,0	10,0	9,0
19	10,0	9,0	8,0
25	9,5	8,5	7,5
38	9,0	8,0	7,5
50	8,5	7,5	6,5

- 1:M

$A = a / (\text{ag miúdo} + \text{ag graúdo} + \text{cimento})$

$M = \text{ag miúdo} + \text{ag graúdo}$

$M = (a/c) / A - 1$



3.5 Teor ideal de argamassa

1 : am : ag : a/c

- Tabela
- Experimental



3.5 Teor ideal de argamassa

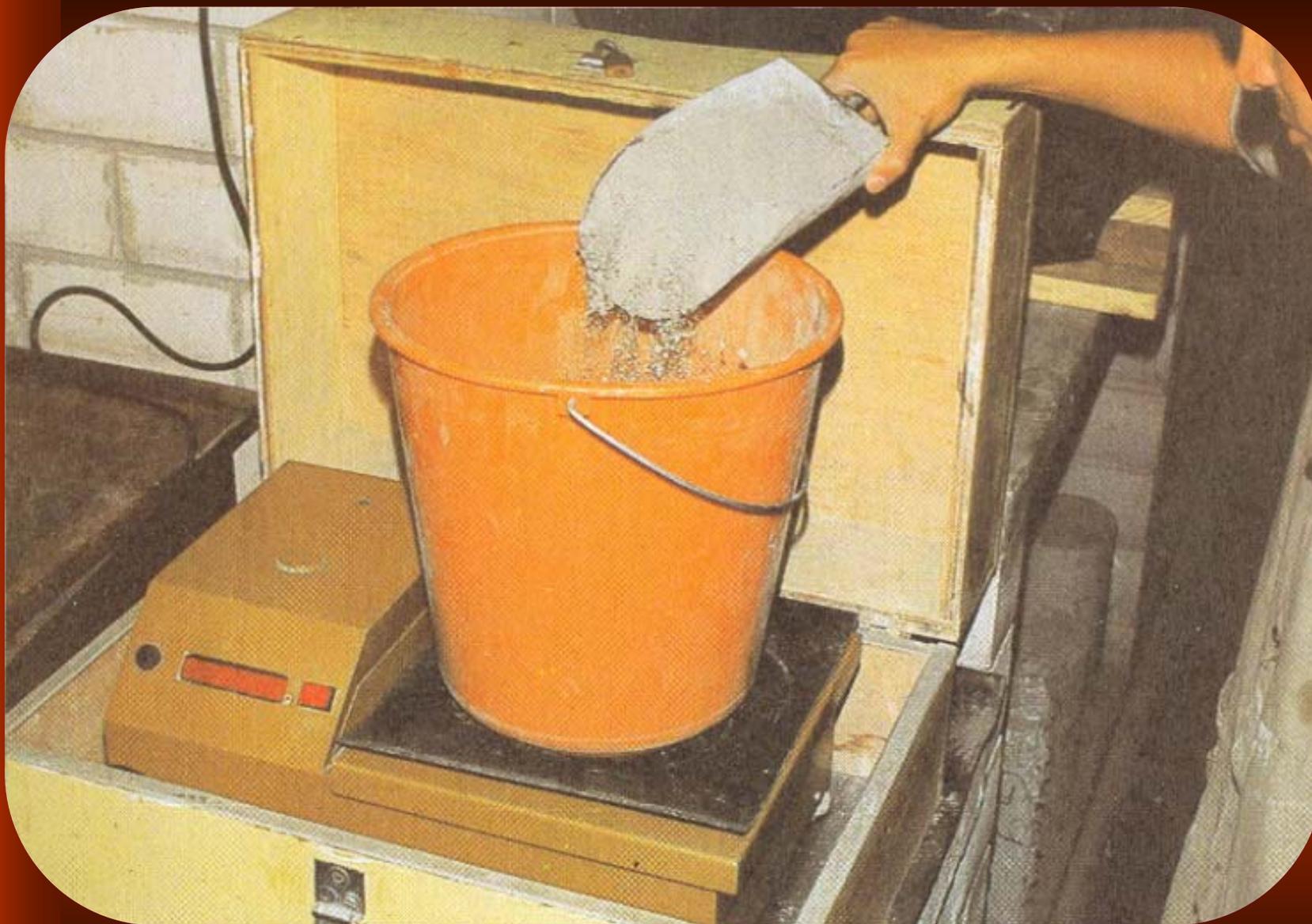
Dmáx	50	50	38	38	25	25	19	19	9,5	9,5
Vibração	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 a 50	26	36	-	-	-	-	-	-	-	-
19 a 38	-	-	28	33	-	-	-	-	-	-
9,5 a 25	17	17	-	-	25	30	-	-	-	-
4,8 a 19	17	17	28	33	25	30	35	45	-	-
1,2 a 9,5	-	-	-	-	-	-	15	15	45	55
areia + cimento	40	30	44	34	50	40	50	40	55	45



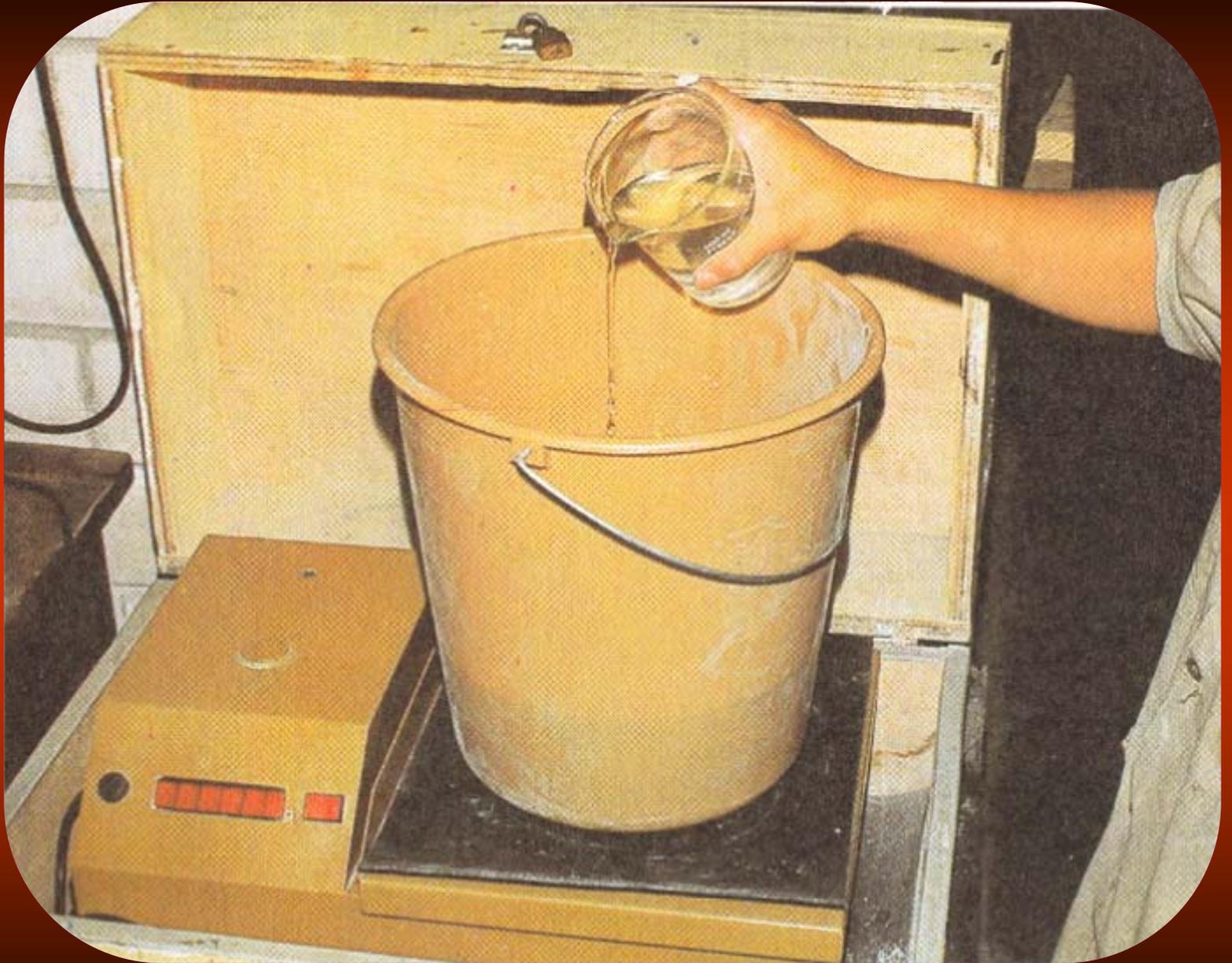
Imprimação da superfície interna da betoneira (~ 6 kg de concreto, traço 1:2:3)



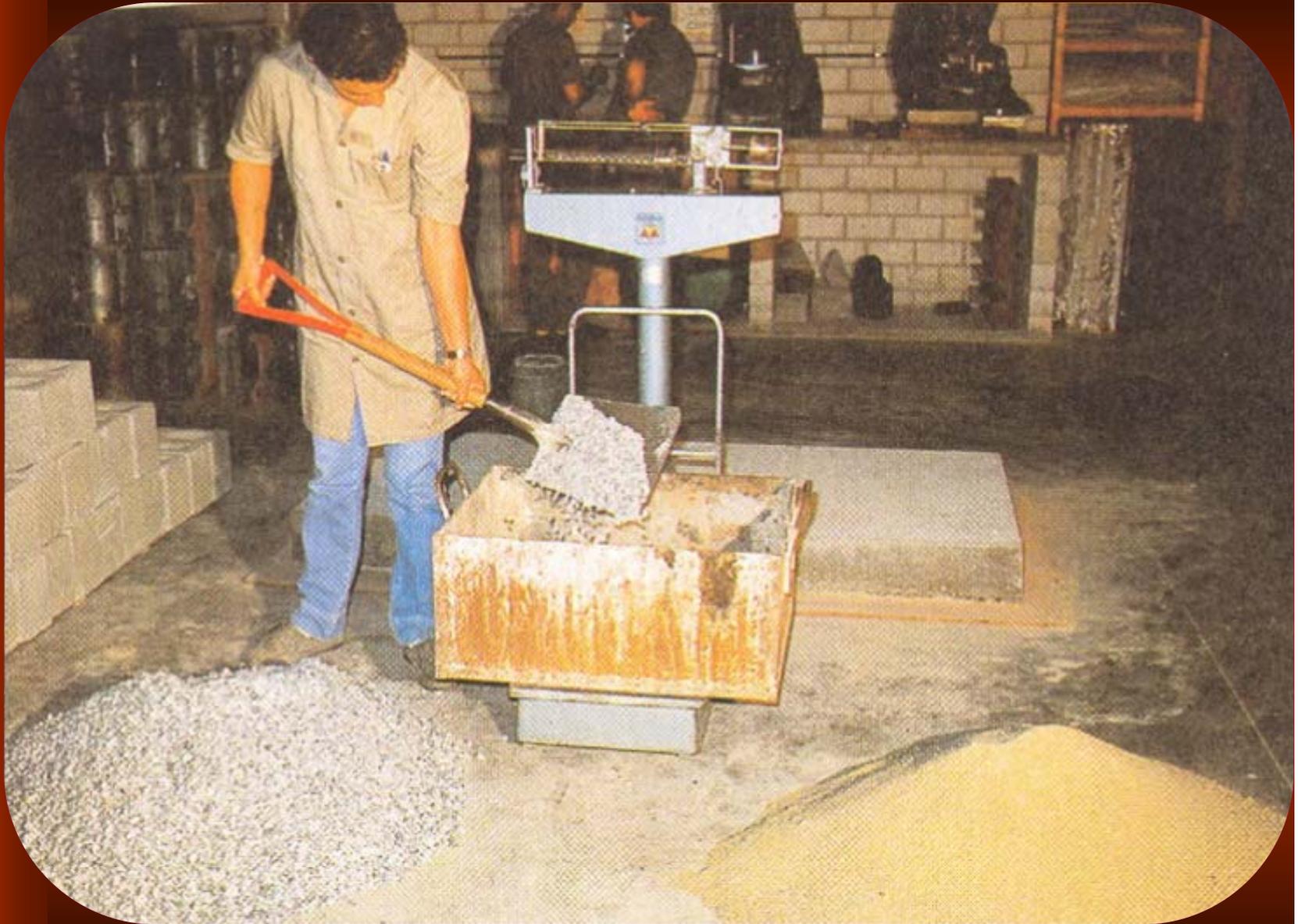
Retirada do material de imprimação



Pesagem do cimento



Pesagem inicial da água



Pesagem dos agregados



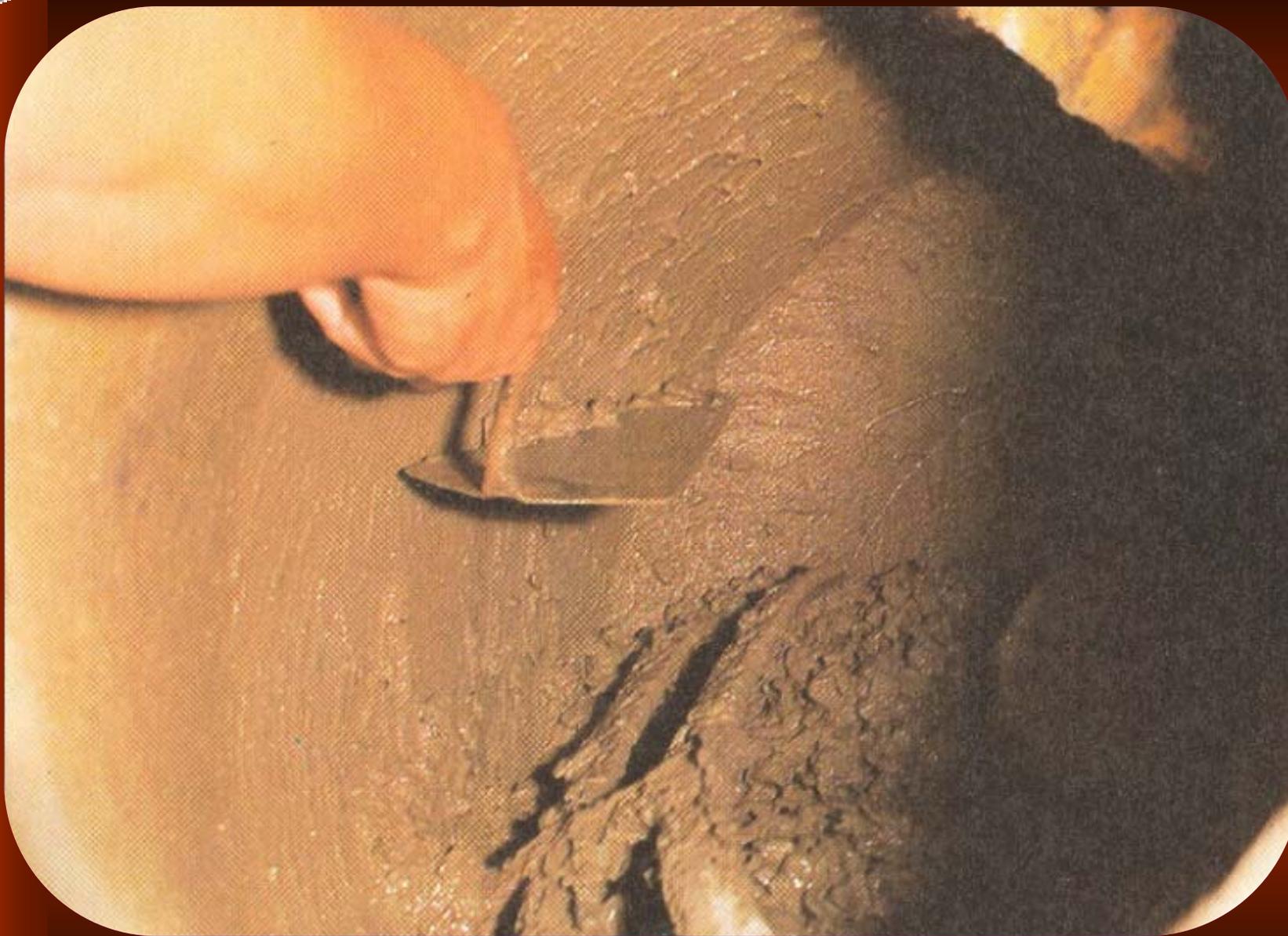
Lançamento dos agregados na betoneira



Após homogeneização de agregados com pouca água, adição do cimento



Adição de água aos poucos



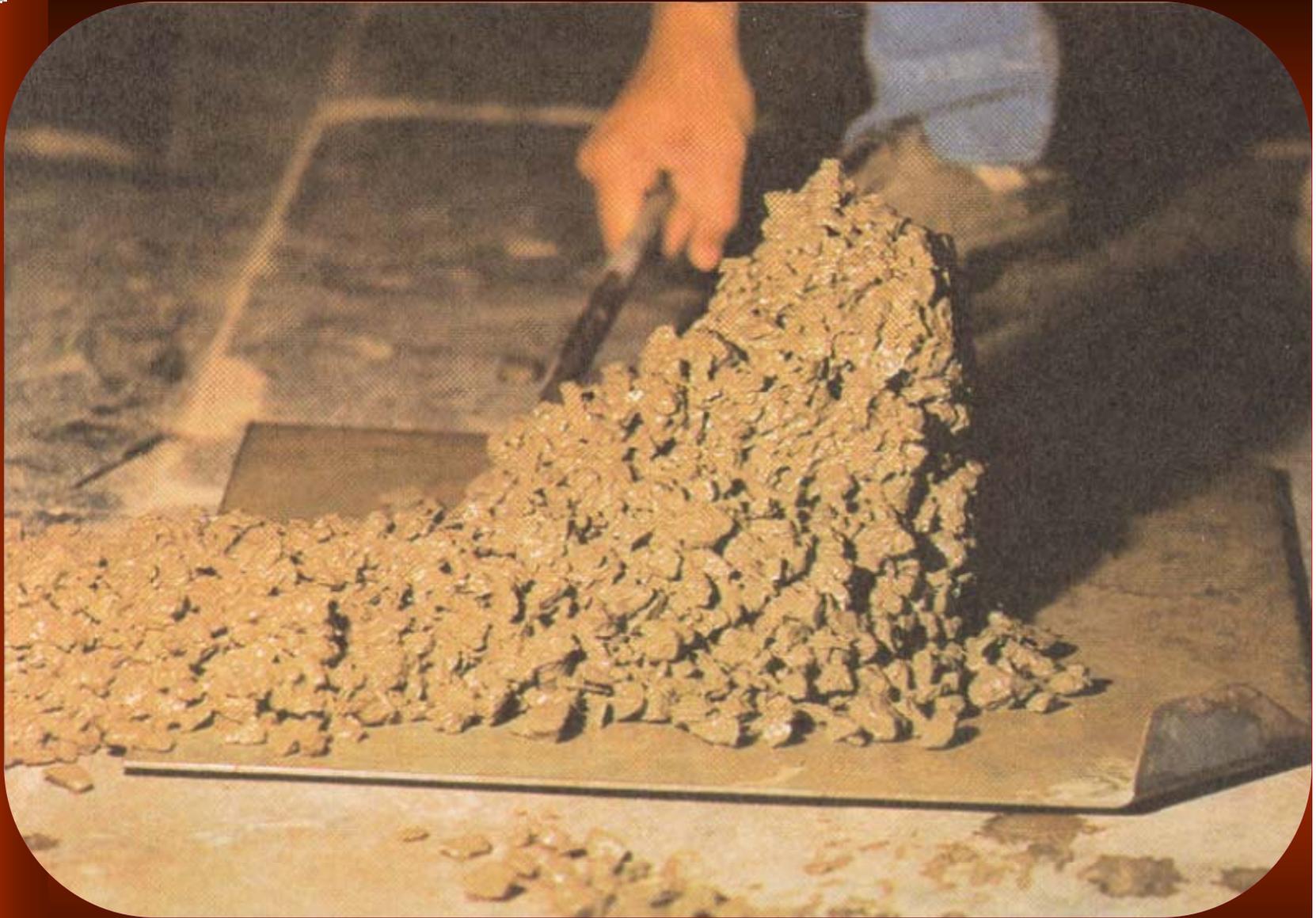
Limpeza do concreto aderido (betoneira desligada)



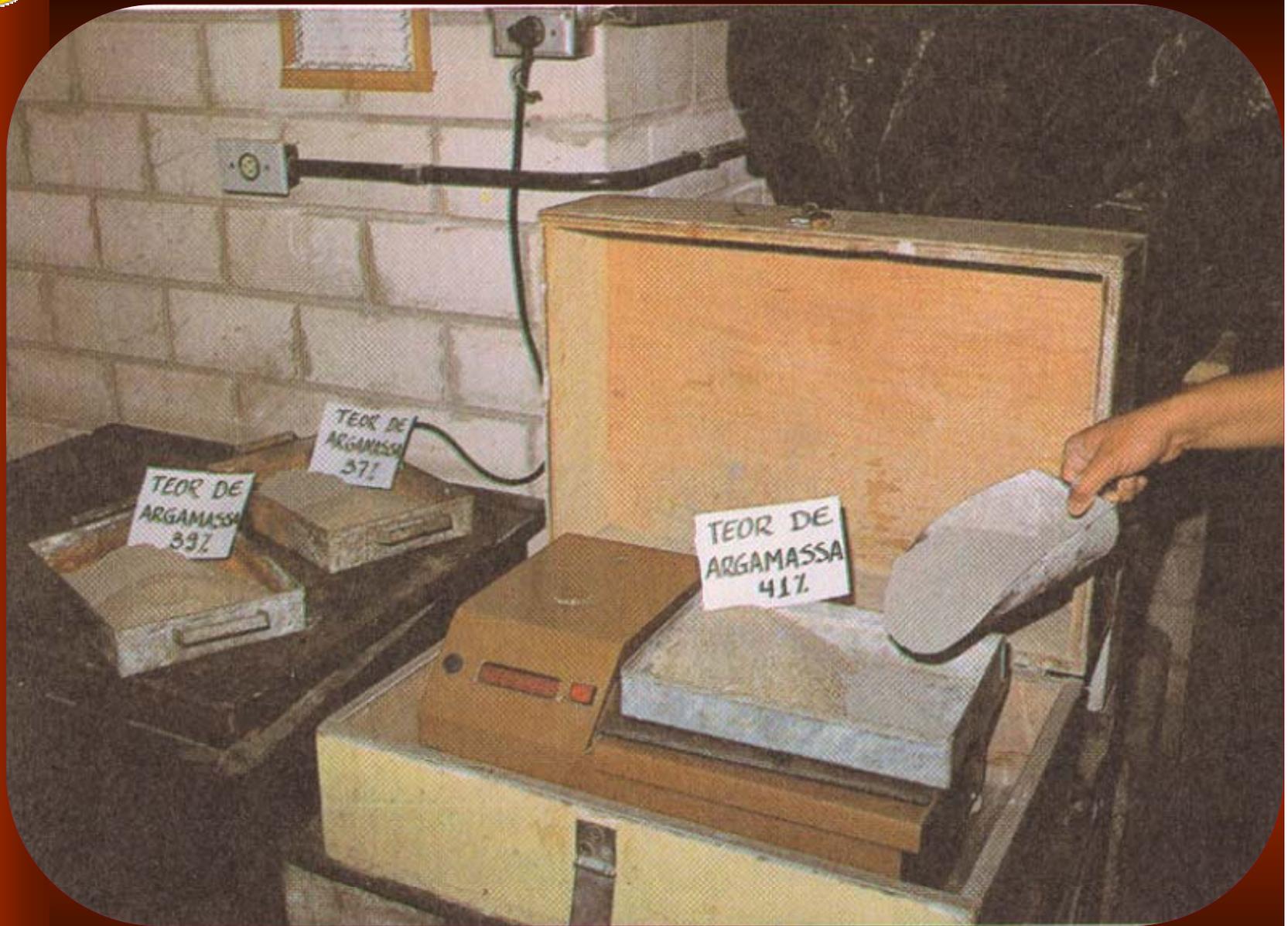
Aspecto inicial (falta argamassa)



Slump inicial (superfície porosa)



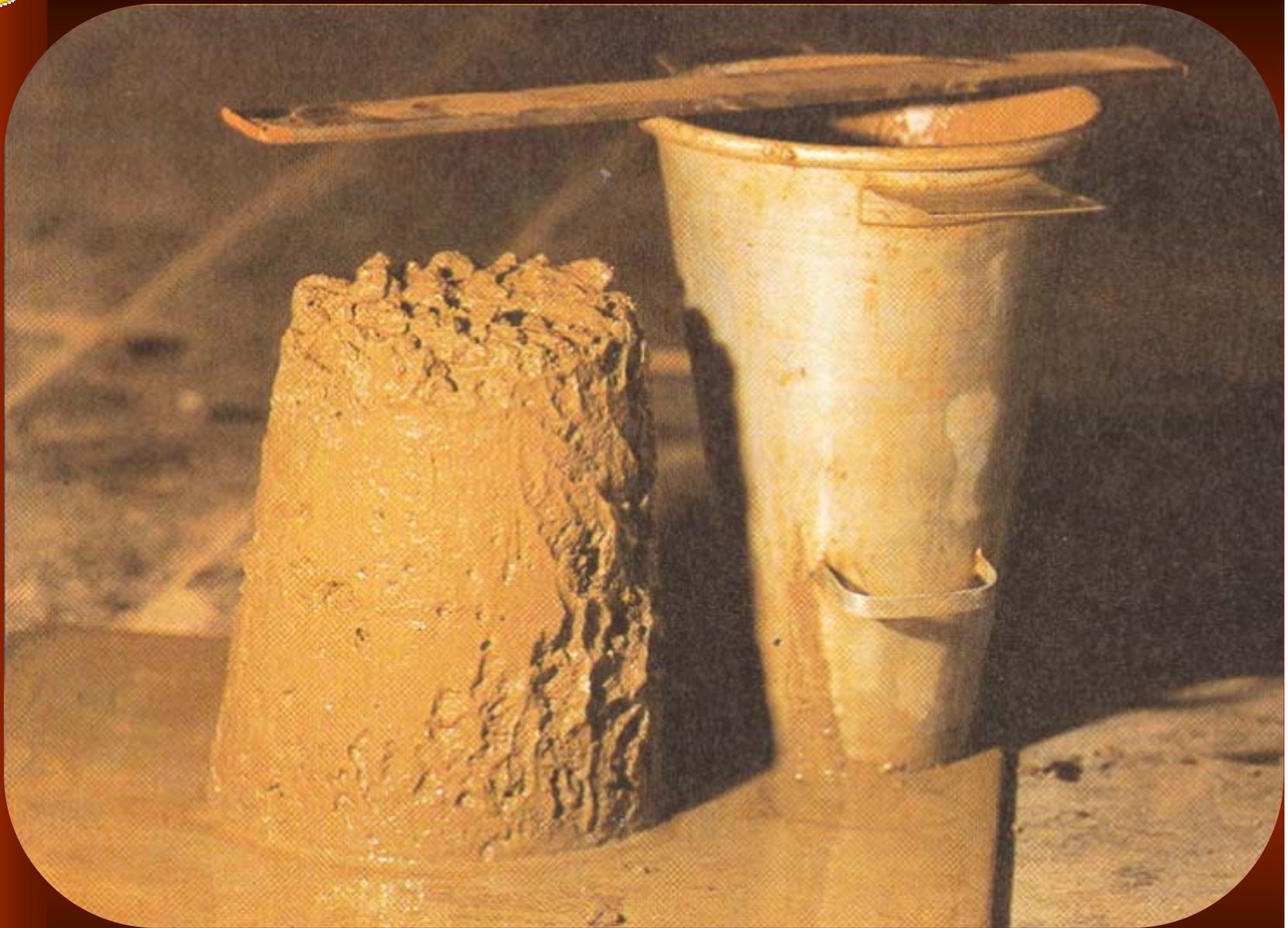
Baixa coesão



Pesagem dos acréscimos de argamassa



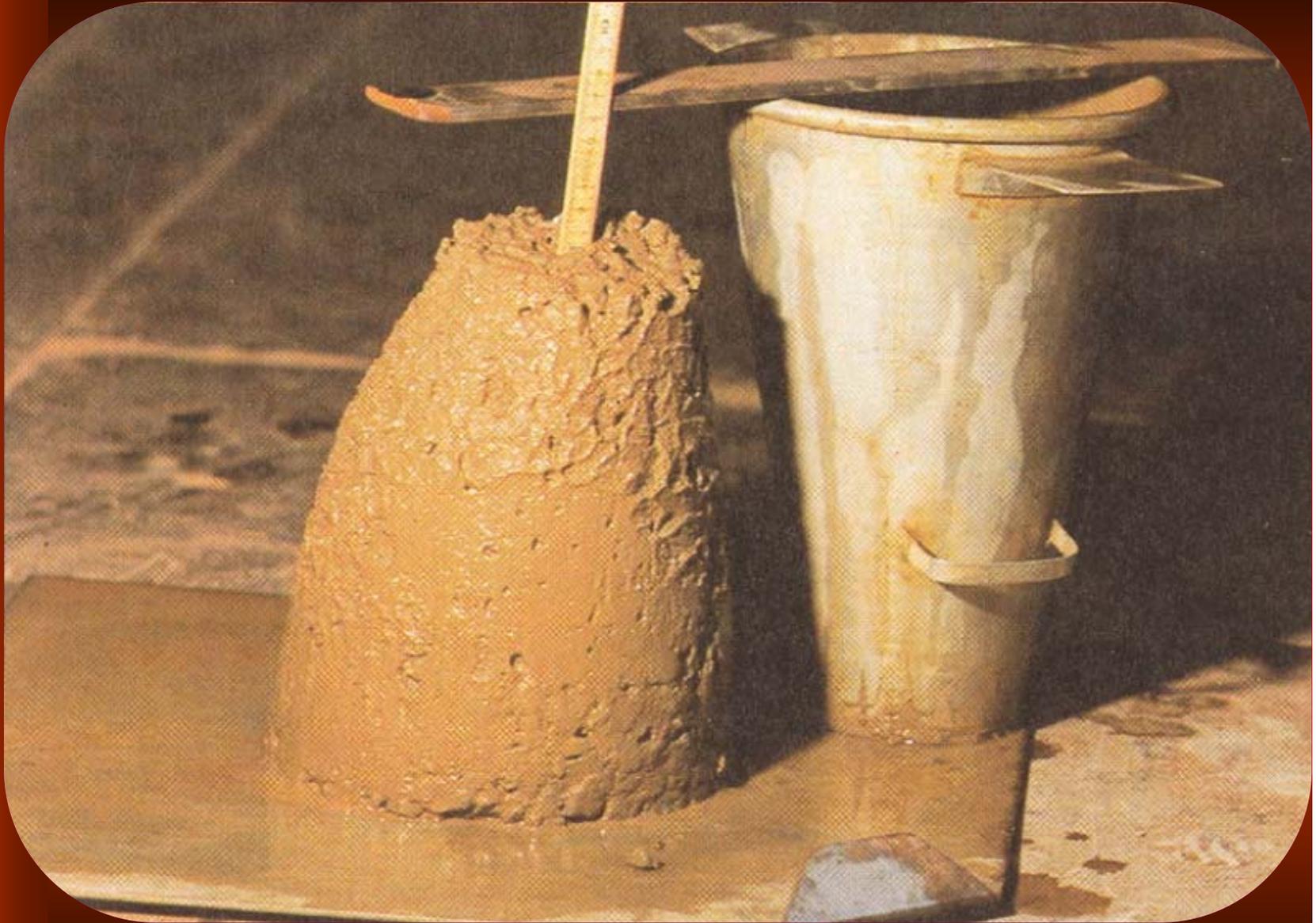
Lançamento dos acréscimos (cimento + areia)



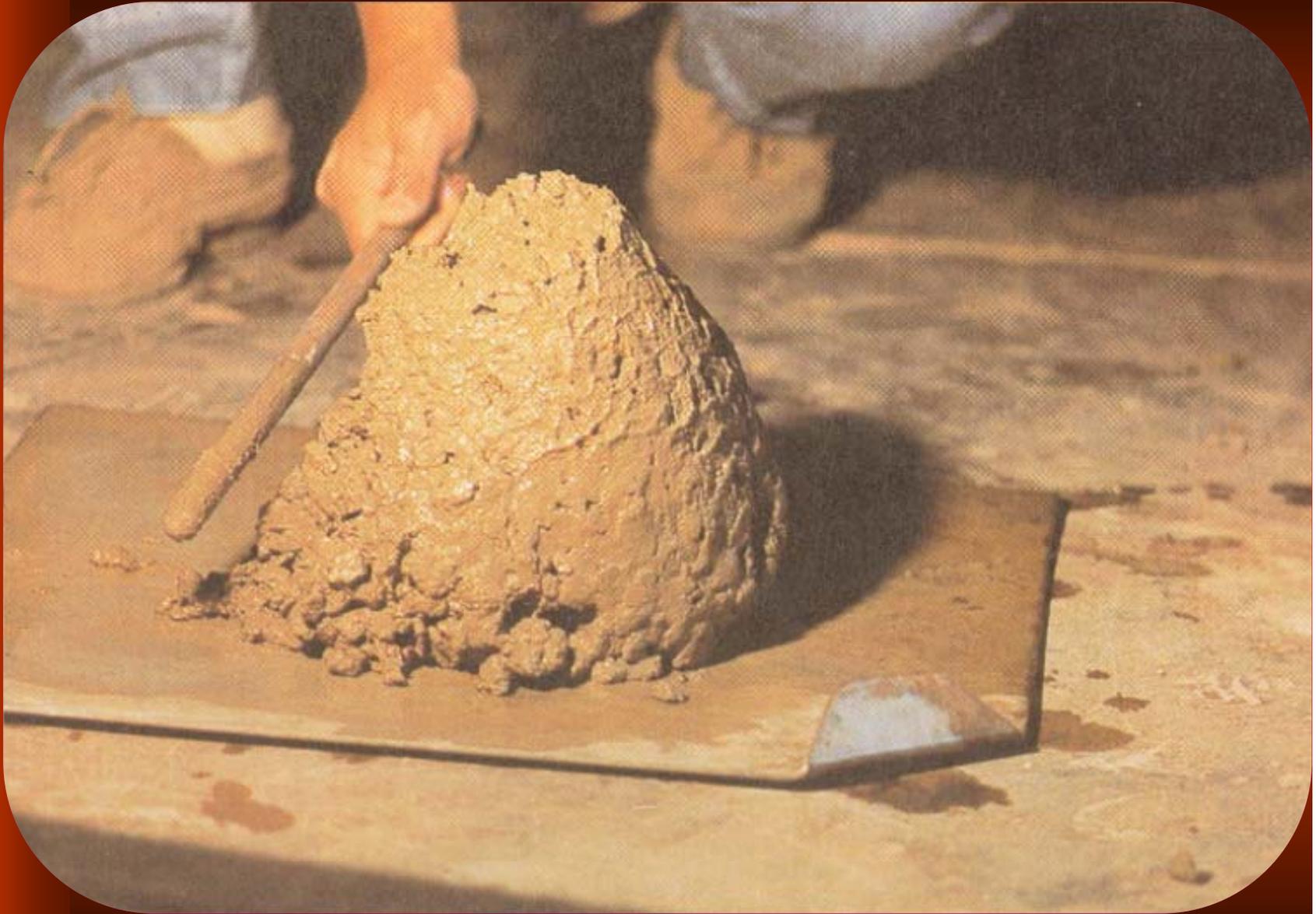
Slump após acréscimo de argamassa (vazios na superfície)



Coesão ainda insatisfatória



Slump após novo acréscimo (superfície compacta)



Coesão ideal



Aspecto do concreto com teor ideal de argamassa (superfície compacta)



Aspecto do concreto após consideração das perdas (excesso na colher)



Avaliação prática – colher de pedreiro



Resultado: superfície vertical compacta, sem vazios



Retirada de amostra (sem desprendimento de agregado graúdo)



Moldagem para determinação da massa específica no estado fresco (2 camadas)



Determinação da massa específica
(cilindro rasado e limpo)



Moldagem de CP para ensaios de resistência à compressão (1 única camada)



3.6 Consumo de cimento por m³

$$C = \frac{1000 \times \gamma_{\text{concreto fresco}}}{1 + am + ag + a/c}$$

$$C = \frac{1000}{(1/\delta_c) + (am/\delta_{\text{areia}}) + (ag/\delta_{\text{brita}}) + a/c}$$

Consumo de cada insumo

$$Q_i = C \times (i/c)$$



3.7 Correção de umidade

$$a_L = a_T - m_S (h / 100)$$

a_L = água lançada

a_T = água total

m_S = massa da areia seca

h = teor de umidade



3.8 Traço em volume

$$V_i = p_i / \mu_i$$

CI = Coeficiente médio de inchamento da areia

$$V_{\text{areia}} = (p_{\text{areia}} / \mu_{\text{areia}}) \times \text{CI}$$



Exercício 1

- $f_{ck} = 17 \text{ MPa}$
- Produção a volume, com equipe nova
- Adensamento vibratório moderado
- Edifício comercial
- Dimensão máxima da peça = 38 mm
- **Sem aditivo**
- **Abatimento = $60 \pm 10 \text{ mm}$**
- Materiais disponíveis:

	δ_g (kg/dm ³)	mu (kg/dm ³)
Cimento CP32	3,15	1,51
Areia	2,62	1,40
Brita 2	2,70	1,45
Brita 1	2,70	1,45



Resistência de dosagem

- $f_{cdj} = f_{ckj} + 1,65 S_d$
- $f_{ck28} = 17 \text{ MPa}$
- Desvio-padrão

S_d (MPa)	Condições da obra
3,0	Produção em massa, com controle rigoroso da umidade dos agregados e equipe bem treinada
4,0	Produção a volume, com controle rigoroso da umidade dos agregados e equipe bem treinada
5,5	Produção a volume, com equipe em adaptação
7,0	Sem controle rigoroso de umidade dos agregados

- $f_{cd28} = 17 + 1,65 \times 5,5 = 26 \text{ MPa}$



Relação água/cimento

- Cimento Portland comum (CP-32)

Idade (dias)	Correlação
3	$a/c = 0,71 \text{ Log } (79,4 / f_{cd})$
7	$a/c = 0,85 \text{ Log } (86,8 / f_{cd})$
14	$a/c = 1,11 \text{ Log } (92,8 / f_{cd})$
28	$a/c = 1,20 \text{ Log } (95,4 / f_{cd})$
91	$a/c = 1,30 \text{ Log } (97,5 / f_{cd})$

- Relação água/cimento (durabilidade)
 - $\leq 0,65$ – peças protegidas e sem umidade
 - $\leq 0,55$ – peças expostas em atmosfera urbana ou rural
 - $\leq 0,45$ – peças expostas em atmosfera industrial ou marinha

$$a/c = 1,2 \times \text{Log } (95,4 / 26) = 0,68$$

$$a/c = 0,55$$



Traço inicial

- Fator água / massa seca (A%)

Dmáx	Manual	Vibração Moderada	Vibração Enérgica
9,5	11,0	10,0	9,0
19	10,0	9,0	8,0
25	9,5	8,5	7,5
38	9,0	8,0	7,5
50	8,5	7,5	6,5

- 1:M

$A = a / (\text{ag miúdo} + \text{ag graúdo} + \text{cimento})$

$M = \text{ag miúdo} + \text{ag graúdo}$

$M = (a/c) / A - 1$

$M = 0,55 / 0,08 - 1 = 5,875$



Teor ideal de argamassa

EDI-33 Materiais e Processos Construtivos

Dmáx	50	50	38	38	25	25	19	19	9,5	9,5
Vibração	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 a 50	26	36	-	-	-	-	-	-	-	-
19 a 38	-	-	28	33	-	-	-	-	-	-
9,5 a 25	17	17	-	-	25	30	-	-	-	-
4,8 a 19	17	17	28	33	25	30	35	45	-	-
1,2 a 9,5	-	-	-	-	-	-	15	15	45	55
areia + cimento	40	30	44	34	50	40	50	40	55	45



Teor ideal de argamassa

- Tabela:
Brita 2 (38mm) = 33%
Brita 1 (19mm) = 33%
Areia + cimento = 34%
- Traço em massa:
 $B2 = 0,33 \times 6,875 = 2,269$
 $B1 = 0,33 \times 6,875 = 2,269$
 $Areia = 0,34 \times 6,875 - 1 = 1,338$

Final:

1 : 1,338 : 2,269 : 2,269 : 0,55



Consumo de cimento por m³ de concreto

$$C = \frac{1000}{(1/\delta_c) + (am/\delta_{\text{areia}}) + (ag/\delta_{\text{brita}}) + a/c}$$

$$C = \frac{1000}{(1/3,15) + (1,338/2,62) + 2(2,269/2,7) + 0,55}$$

$$C = 327 \text{ kg/m}^3 \text{ de concreto}$$



Consumo dos insumos por m³ de concreto

$$Q_{\text{areia}} = 327 \times 1,338 = 438 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{brita}_{1,2}} = 327 \times 2,269 = 742 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{água}} = 327 \times 0,55 = 180 \text{ kg}$$



Exercício 2

Calcular o volume dos materiais a serem utilizados para a execução de uma betonada de concreto com 1 saco de 50 kg de cimento, considerando o traço (1 : 1,750 : 2,269 : 2,269 : 0,55). Considerar ainda que a areia utilizada apresenta teor de umidade igual a 5%, o que implica em inchamento de 30%.