

# Concreto no Estado Fresco

Escola Politécnica. São Paulo 16 de agosto de 2009<sub>1</sub>

1



## Bibliografia de referência

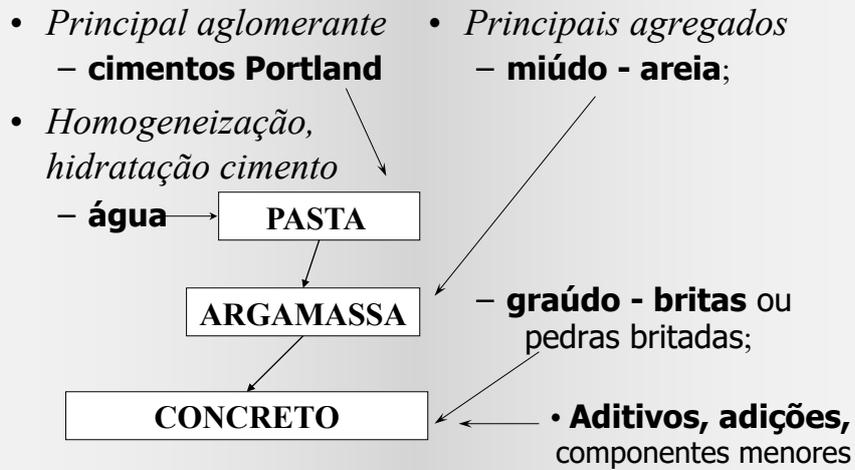
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M.  
**Concreto:** Estrutura, propriedades e materiais.  
PINI, São Paulo, 1994.
  - Capítulo 10 - páginas
    - 335 a 337;
    - 348 a 363;
    - 380 a 382.
- ISAIA, G. C. Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações.
  - Capítulo 16.

2

2



## Introdução - Constituintes

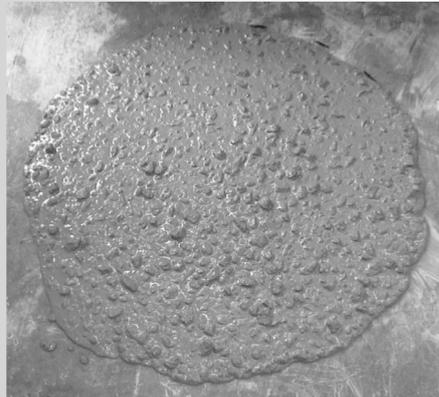


3



## Comportamento físico

- *No estado fresco inicial*
  - **Suspensão composta por partículas diversas**
    - pasta de cimento
    - agregados
    - aditivos
    - adições



4

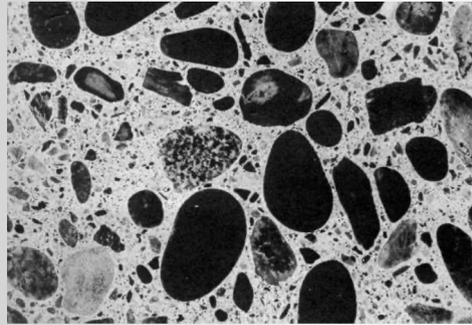
4



PCC USP

## Comportamento físico

- *Após cura*
  - **Sólido rígido composto de partículas diversas**
    - pasta de cimento
    - agregados
    - aditivos
    - adições



5

5



PCC USP

## Concreto fresco

- *Vantagens:*
  - Moldagem direta na geometria final
  - Número ilimitado de geometrias possíveis
  - Produção e aplicação no canteiro
  - Produção de artefatos pré-fabricados
  - Diferentes métodos de transporte e aplicação

6

6



PCC USP

## Concreto fresco

- *Dificuldades:*
  - Garantir a moldagem da peça estrutural com perda mínima de homogeneidade do material
  - Evitar o surgimento de danos precoces ou posteriores (falhas de moldagem, fissuração, etc.)
  - Adequar as características do concreto com a técnica de aplicação (aspectos econômicos, tecnológicos e de desempenho no estado endurecido)

7

7



PCC USP

## Concreto fresco

*Os concretos devem  
apresentar  
trabalhabilidade  
adequada ao processo*

8

8



PCC USP

## Trabalhabilidade

- Propriedade fundamental e complexa
- “Capacidade” do concreto fresco de ser misturado, transportado, lançado, adensado e receber as operações de acabamento” com perda mínima de homogeneidade



9

9



PCC USP

## Trabalhabilidade



- Determinada pelas propriedades físicas da ”suspensão”
- Em geral, controlada por:
  - Consistência por abatimento do tronco de cone (NBR 7223);

10

10



### Abatimento do tronco de cone



11

11

### Abatimento do tronco de cone



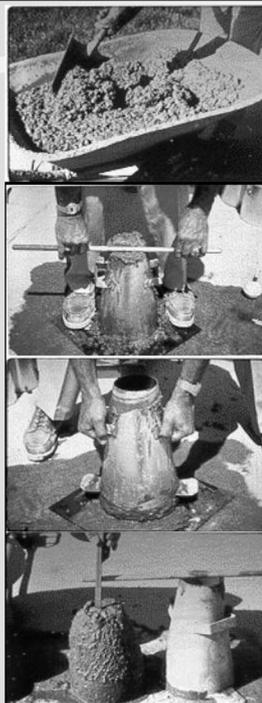
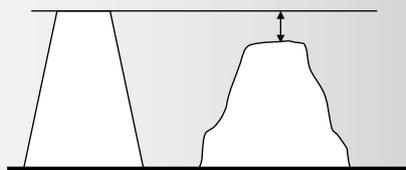
12

12



## Trabalhabilidade

- Consistência p/ abatimento do tronco de cone (NBR 7223/92):
- Resumo etapas



13

13



## Trabalhabilidade

- Medida pelo abatimento do tronco de cone (NBR 7223/92)
  - Critérios para medida do abatimento = traduzido por “Consistência”:

<b>Seca</b>	<b>0 a 20 mm (<math>\pm</math> 5 mm);</b>
<b>Medianamente plástica</b>	<b>30 a 50 mm (<math>\pm</math> 10 mm);</b>
<b>Plástica</b>	<b>60 a 90 mm (<math>\pm</math> 10 mm);</b>
<b>Medianamente fluida</b>	<b>100 a 150 mm (<math>\pm</math> 20 mm);</b>
<b>Fluida ou líquida</b>	<b>&gt; 160 mm (<math>\pm</math> 30 mm);</b>

Critérios adaptados de HELENE & TERZIAN (1992)

14

14



PCC USP

## Concreto fresco

*Mas os concretos não  
são iguais ?*

15

15



PCC USP

## Concreto fresco - consistência



16

16



## Concreto fresco - consistência



17

17



## Concreto fresco - consistência



18

18



## Concreto fresco - consistência



19

19



## Concreto fresco - consistência



20

20



## Concreto fresco - consistência



21

21



## Concreto fresco - consistência



22

22



## Concreto fresco - consistência



23

23



## Concreto fresco - consistência



24

24



## Concreto fresco - consistência

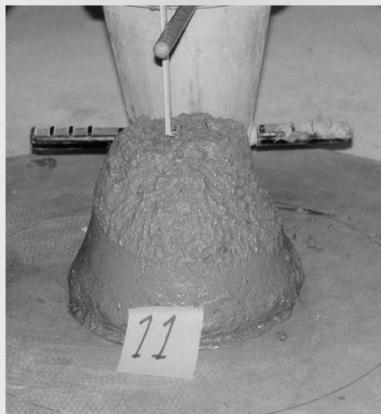


25

25



## Concreto fresco - consistência



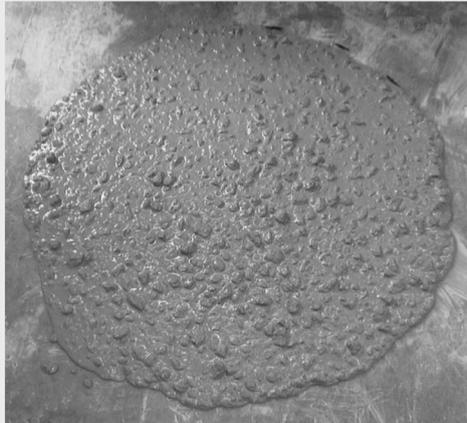
26

26



PCC USP

## Concreto fresco - consistência



27

27



PCC USP

## Concreto fresco

*Existem diferenças na  
maneira com que os  
concretos são  
aplicados?*

28

28



## Concreto fresco - Aplicação

TRANSPORTE

ADENSAMENTO

**Bombeamento**

**Auto-nivelante**

manual

vibrado

vertimento

compactado

projeção

desempenado

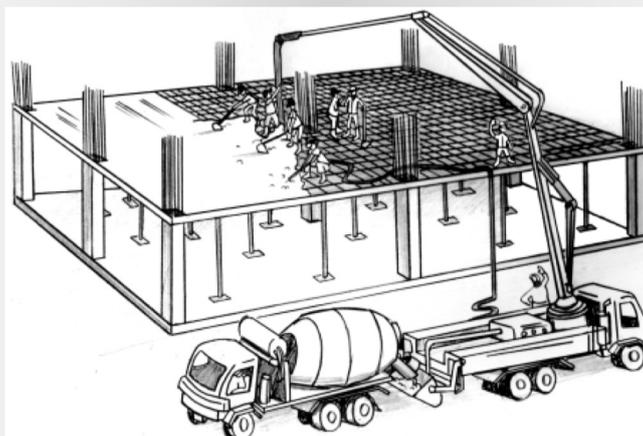
29

29



## Concreto fresco - Transporte

- *Bombeamento*



30

30



## Concreto fresco - Transporte

- *Bombeamento*



31

31



## Concreto fresco - Transporte

- *Bombeamento*



32

32



PCC USP

## Concreto fresco - Transporte

- *Lançamento manual*



33

33



PCC USP

## Concreto fresco - Transporte

- *Vertimento*



34

34



PCC USP

## Concreto fresco - Transporte

- *Projeção – “Shotcrete”*



*“manual”*

35

35



PCC USP

## Concreto fresco - Transporte

- *Projeção: “Shotcrete”*



*“mecanizada”*

36

36



PCC USP

## Concreto fresco - Adensamento

- *Auto-nivelante*



37

37



PCC USP

## Concreto fresco - Adensamento

- *Vibração*



38

38



PCC USP

## Concreto fresco - Adensamento

- *Vibração*



39

39



PCC USP

## Concreto fresco - Adensamento

- *Compactado*



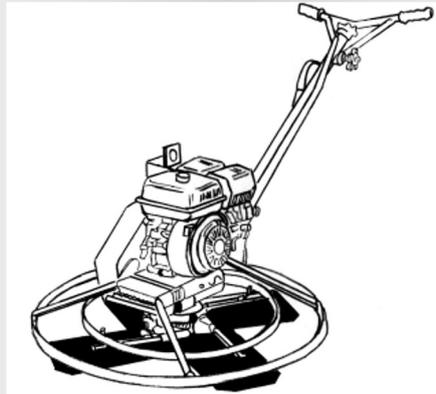
40

40



## Concreto fresco - Adensamento

- *Desempenado*



41

41



## Concreto fresco

### *ALERTA*

*Apesar da simplicidade, o ensaio de abatimento não consegue avaliar a adequação dos concretos às inúmeras formas de aplicação*

42

42



PCC USP

## Concreto fresco

*Como saber se um determinado concreto é adequado a uma certa aplicação?*

43

43



PCC USP

## Concreto fresco

*Necessário conhecer seu  
COMPORTAMENTO  
REOLÓGICO !!*

44

44



# REOLOGIA

## *Rheos (Fluir) + Logos (Estudo)*

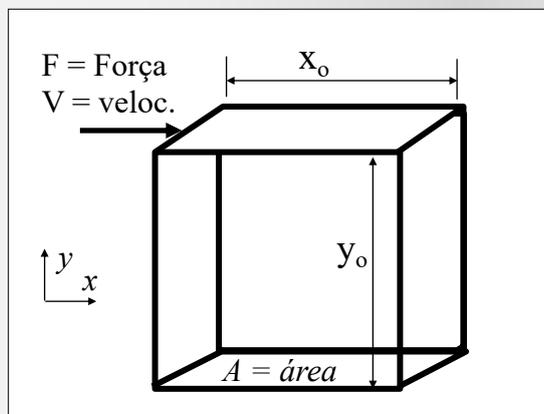
- *Reologia é a ciência da deformação e do fluxo da matéria*
- *Estuda relações fundamentais entre forças e deformações nos materiais*

45

45



# Viscosidade



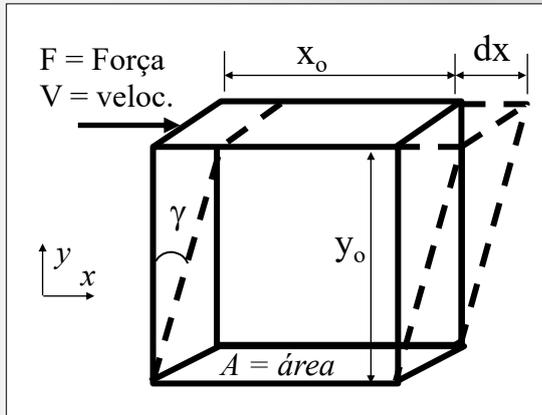
46

46



PCC USP

## Viscosidade



Tensão de cisalhamento

$$\sigma = F/A$$

Deformação

$$\gamma = dx/y_0$$

Taxa de cisalhamento

$$\dot{\gamma} = d\gamma/dt = V/y_0$$

Viscosidade

$$\eta = \sigma/\dot{\gamma}$$

47

47



PCC USP

## Viscosidade

→ Viscosidade é . . . .

- ↳ “falta de escoamento”.
- ↳ sinônimo de fricção interna.
- ↳ resistência ao fluxo.
- ↳ parâmetro de dissipação de energia.

48

48



# Viscosidade

→ As unidades da Viscosidade são . . . .

- ↳ Unidade SI é Pascal.Segundo (Pa.s)
- ↳ Unidade cgs é Poise
- ↳ Poise é > Pa.s por um fator de 10
  - ⇒ 10 Poise = 1 Pa.s
  - ⇒ 1 cP (centipoise) = 1 mPa.s (mili-pascal-segundo)



# Viscosidade

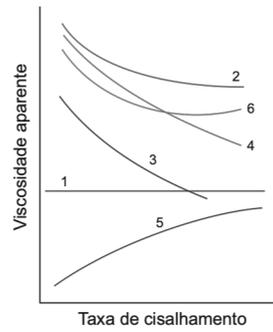
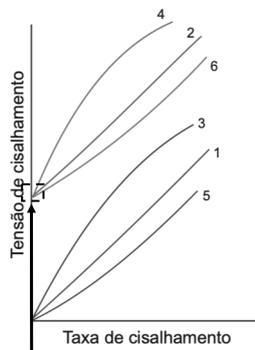
## ● Viscosidades Típicas (Pa.s)

◆ Asfalto -----	100.000
◆ Polímero Fundido -----	1.000
◆ Melaço -----	100
◆ Mel Líquido -----	10
◆ Glicerina -----	1
◆ Óleo vegetal -----	0,01
◆ Água -----	0,001
◆ Ar -----	0,00001



# Tipos de Comportamento Reológico

## Independentes do Tempo



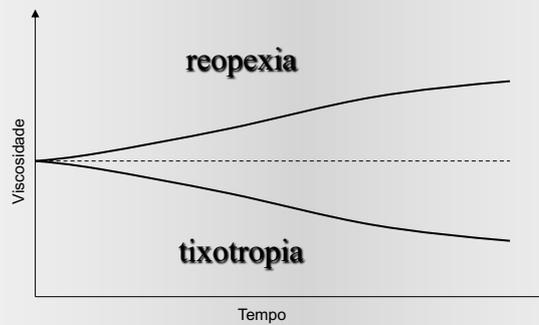
- (1) newtoniano
- (2) de Bingham
- (3) pseudoplástico
- (4) pseudoplástico com tensão de escoamento
- (5) dilatante
- (6) dilatante com tensão de escoamento

**Tensão de escoamento**



# Tipos de Comportamento Reológico

## Dependentes do Tempo



*Fenômeno reversível que depende da história de cisalhamento*



PCC USP

## **Concreto fresco**

*Como medir o  
comportamento  
reológico?*

53

53



PCC USP

## **Concreto fresco – ensaios reológico**

QUATRO categorias  
de ensaios

Fluxo Confinado

Fluxo Livre

Vibração

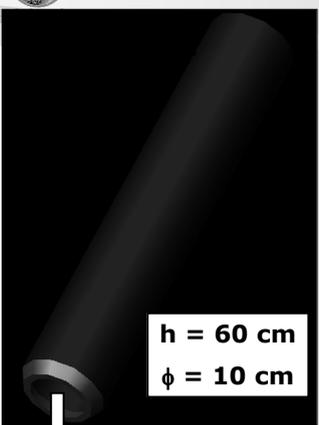
Reômetros Rotacionais

54

54

**Fluxo Confinado** Peso AMOSTRA > Tensão de Escoamento

Tempo de fluxo do concreto



**h = 60 cm**  
**φ = 10 cm**

φ = 8 cm – ag. graúdo máx. = 20 mm

Amostra: 7,5 litros – ensaiar 3 vezes

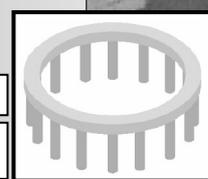
**J-Ring: φ = 30 cm**

Barras: h = 10 cm  
Espaçamento: 3 x dim. máxima do ag. graúdo



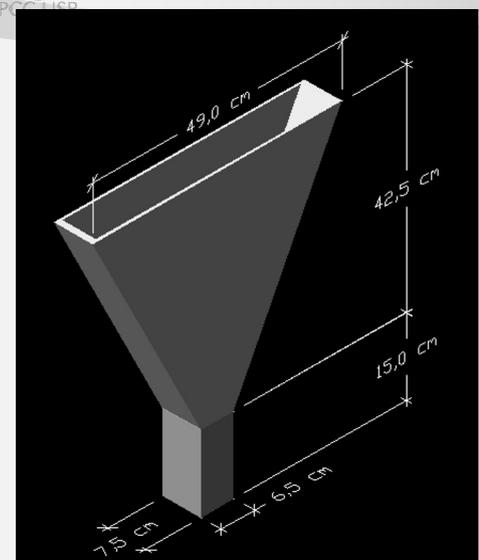
1 parâmetro  
Viscosidade  
Fluxo Confinado





55

**Fluxo Confinado** 1 parâmetro  
Viscosidade



Ensaio em 2 ETAPAS

1º. Após a mistura  
Tempo escoamento (< 10 seg.)

2º. Após repouso

Após 1ª medida de tempo  
Encher equipamento  
Deixar em repouso por 5 minutos  
Liberar o fluxo

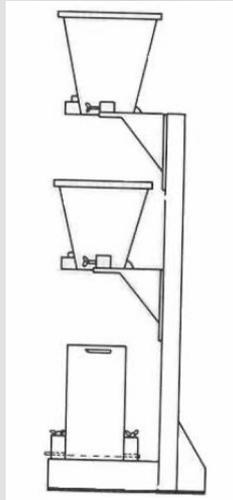
ΔT → Segregação

**Concretos Auto-Adensáveis**

56



## Fluxo Confinado



- Outros métodos de avaliação:
  - Fator de compactação (Glanville).

57

57

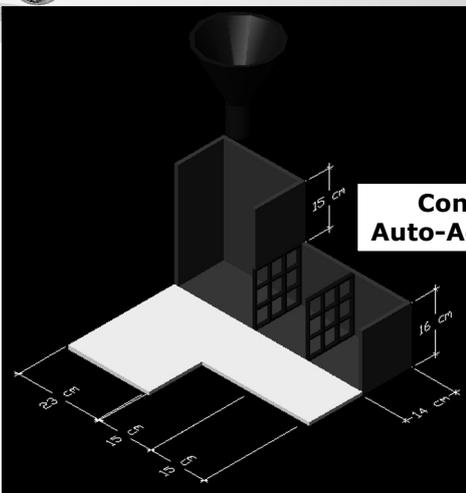


## Fluxo Confinado

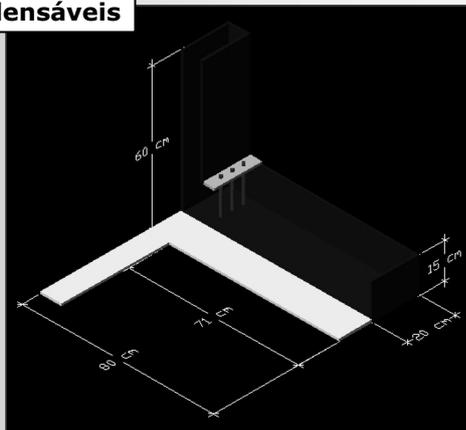
1 parâmetro  
Viscosidade

Altura de queda (Funil) – 40 cm  
 Simulação da armadura  
 $\phi$  5 mm – espaçamento 5 cm

**Concretos Auto-Adensáveis**



Moldado  
 Simulação da armadura  
 3  $\phi$  12 mm – espaçamento 3,5 cm

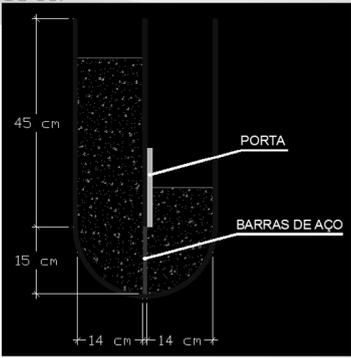


58

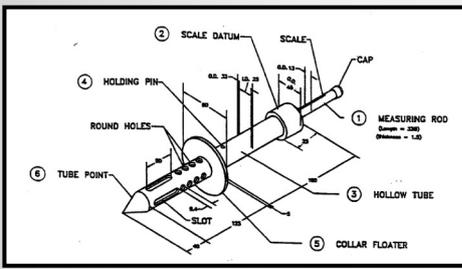
**Fluxo Confinado**  $\phi$  12 mm – espaçamento 3,5 cm

Boa capacidade de enchimento:  
30 cm

**K-slump**  
1 parâmetro  
Viscosidade



1 parâmetro  
Viscosidade



**ag. graúdo máx. = 9,4 mm**      **Baixa tensão de escoamento**

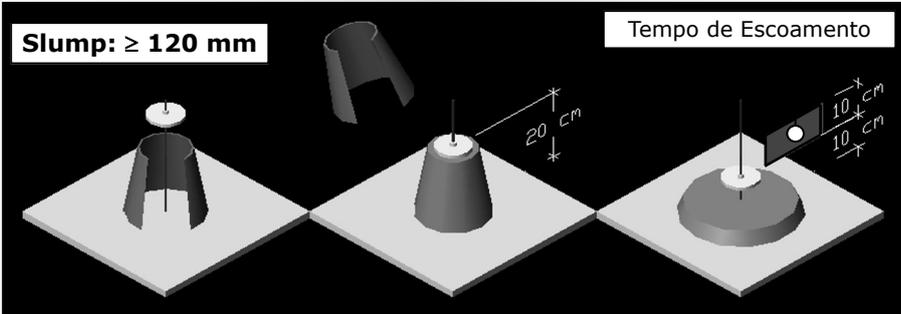
59

**Fluxo Livre**

2 parâmetros  
Tensão de Escoamento  
Viscosidade

**Abatimento Modificado**

**Slump:  $\geq 120$  mm**      Tempo de Escoamento



Determinações:  $\Rightarrow$  TEMPO slump = 100 mm  
 $\Rightarrow$  Densidade – concreto fresco ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\tau_o = \frac{\rho}{347} \times (300 - s) + 212$        $\mu = \rho \cdot T \cdot 1,08 \times 10^{-3} \cdot (s - 175)$        $200 < s < 260$  mm  
 $\mu = 25 \times 10^{-3} \cdot \rho \cdot T$        $s \leq 200$  mm

60

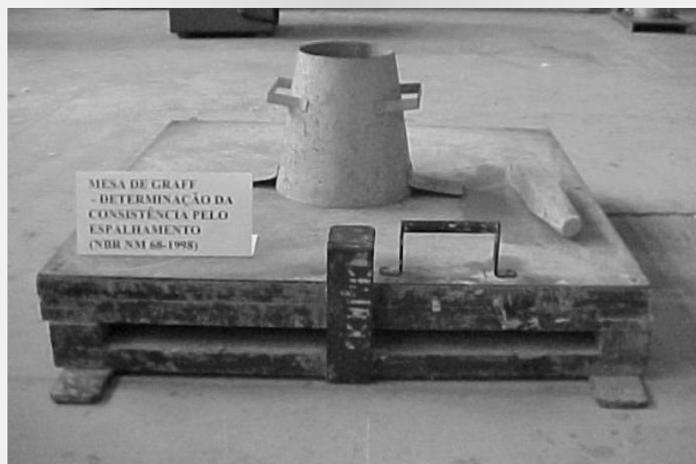
60



## Fluxo Livre

### Mesa de Graff

espalhamento com quedas – concreto fluido.



61

61



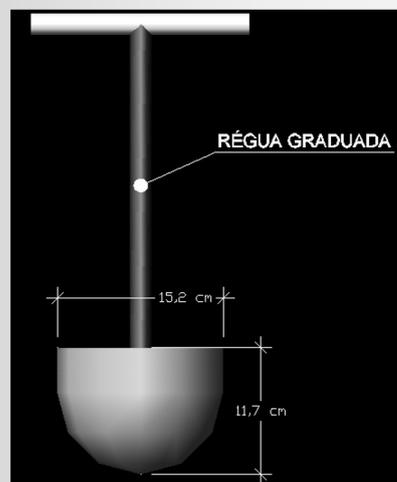
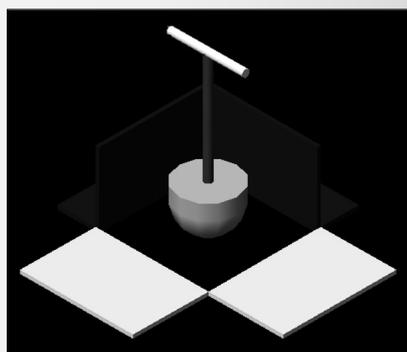
## Fluxo Livre

Mínimo: 3 determinações

1 parâmetro  
Tensão de Escoamento

**slump = 1,1 a 2,0 Kelly ball**

Sofre influência do agregado graúdo



62

62

**Vibração**



Slump:  $\leq 50$  mm  
Alta tensão de escoamento  
NÃO apresenta correlação direta com a viscosidade plástica

**Cuba:  $\phi$  30 cm - h = 20 cm**  
**Cilindro concêntrico:  $\phi$  20 cm**

Simulação:  
Concreto moldado sob a ação de vibração.

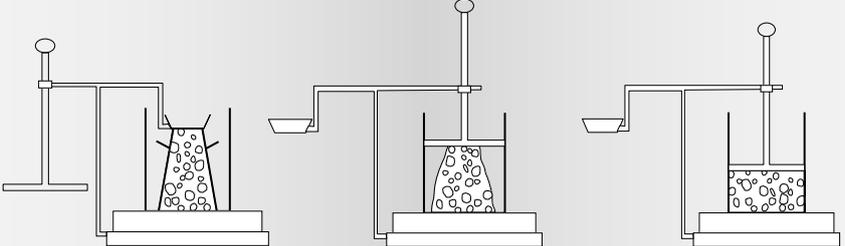
Ensaio Ve-Be

1 parâmetro - Viscosidade Dinâmica - Vibração

63

63

**Vibração**



PCC USP

64

64



## Vibração



65

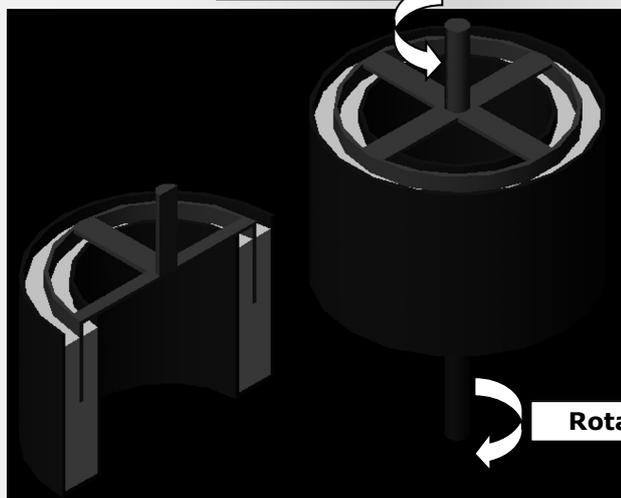
65



## Reômetros Rotacionais

### 1º Reômetro para CONCRETO

Mensuração do Torque



Cilindros Concêntricos

Diferentes velocidades de rotação

Movimento Oscilatório

Rotação

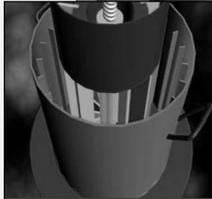
66

66



## Reômetros Rotacionais

### Viscosímetro BML



### Cilindros concêntricos

- Cuba - Rotacional
- Cilindro estacionário – mensuração do torque
- Cilindros – saliências – evitar deslizamento
- Slump > 50 mm (viável)

67

67



## Reômetros Rotacionais

### Reômetro IBB



$\phi = 36 \text{ cm} - h = 25 \text{ cm}$

### Planetário

- Slump:  $\geq 120 \text{ mm}$
- Auto-adensáveis
- Movimento planetário
- ag. graúdo máx. = 25 mm

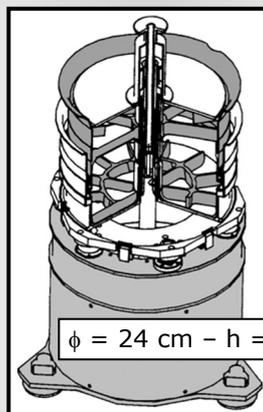
68

68



## Reômetros Rotacionais

**Placas  
paralelas**



**Reômetro  
BTRHEOM**

Slump:  $\geq 40$  mm

Vibração

69

69



## Reômetros Rotacionais Portáteis



2002  
5 velocidades



70

70



## Reômetros Rotacionais Portáteis



60 → 30 rpm

71

71



## Concreto fresco

*Como controlar o  
comportamento  
reológico*

72

72



## Fatores determinantes

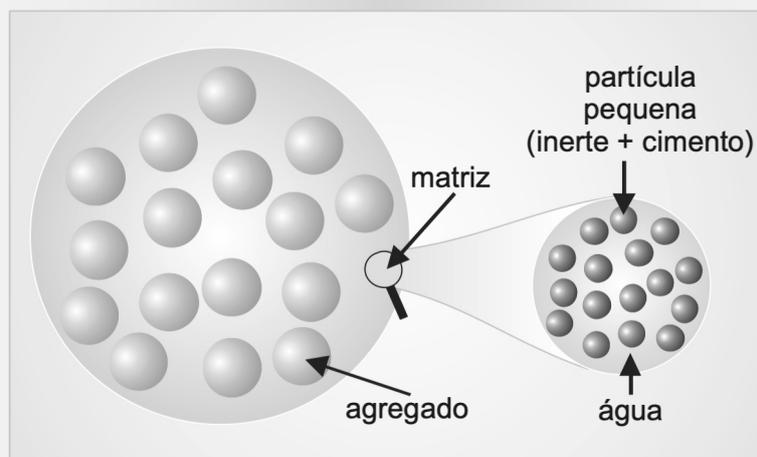
- Intrínsecos (internos ao concreto)
  - Proporção relativa entre constituintes
    - Traço
      - % de “argamassa”
      - % relativa de brita
      - % relativa de água
  - Características dos agregados
    - Forma e dimensões partículas
  - Aditivos e adições

73

73



## Concreto como Suspensão



74

74



## Suspensão e concentração de sólidos

- Mais líquido, maior afastamento entre partículas
  - Menos choques
  - Menos coesão
  - Mais fácil de deformar

75

75



## Fatores determinantes

- Extrínsecos
  - Tempo de uso do concreto
  - Condições ambientes
  - Equipamentos e procedimentos de concretagem
    - mistura
    - transporte
    - lançamento e
    - adensamento

76

76



## Concreto fresco

*O comportamento reológico de um concreto muda com o tempo?*

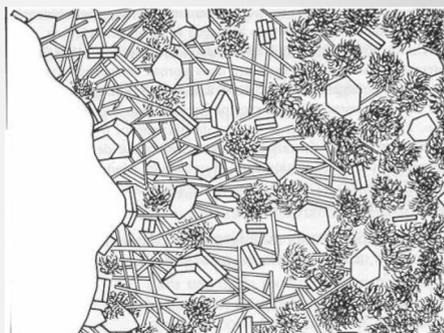
77

77



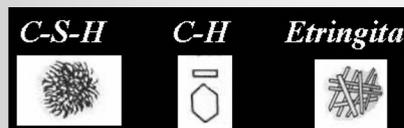
## Concreto = Suspensão reativa

- *Em geral, após 1-3 horas “pega”*



– Endurecimento progressivo na “forma”:

- formação de produtos da hidratação do cimento (gel)



*Agregado*

*Zona de Transição*

*Matriz de pasta de Cimento*

78

78



## Comportamento físico

- *Em geral, após 1-3 horas* “pega”
- **Aumento de consistência e perda de mobilidade (redução da água disponível).**

↓

**Perda de “trabalhabilidade” ou perda de mobilidade da mistura**

79

79



## Comportamento físico

- *Em geral, após 1-3 horas* “pega”
- **Mudanças iniciais de volume e temperatura:**
  - Ascensão de água;
  - Assentamento dos agregados maiores;
  - Evaporação progressiva de água;
  - Calor de hidratação.

**Endurecimento progressivo na “forma”:  
perda de água para o ambiente, por efeito da temperatura e vento no local de utilização**

80

80



## Concreto fresco

*Outras propriedades importantes no estado fresco*

81

81



## Concreto fresco

Outras propriedades muito importantes além de custo e trabalhabilidade:

**Densidade de massa específica**



82

82



PCC USP

## Concreto fresco

- **Teor de ar:**
  - aprisionado;
  - incorporado.



83

83



PCC USP

## Concreto fresco

*Problemas no estado fresco*

84

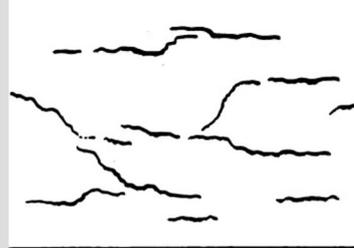
84



PCC USP

## Concreto fresco - anomalias

- Exsudação (água);
- Segregação (grãos);
- Perda precoce de abatimento (temperatura, cimento, aditivos);
- Retração plástica:
  - taxa de evaporação > taxa ascensão;
  - “Pega” demorada (tipos cimento, aditivos, teores impróprios)



Ler artigo Eng. Paulo Terzian (Téchne 55, out/2001)

85

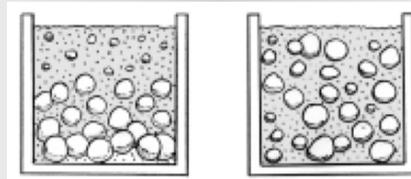
85



PCC USP

## Concreto fresco - anomalias

- Segregação (grãos)



86

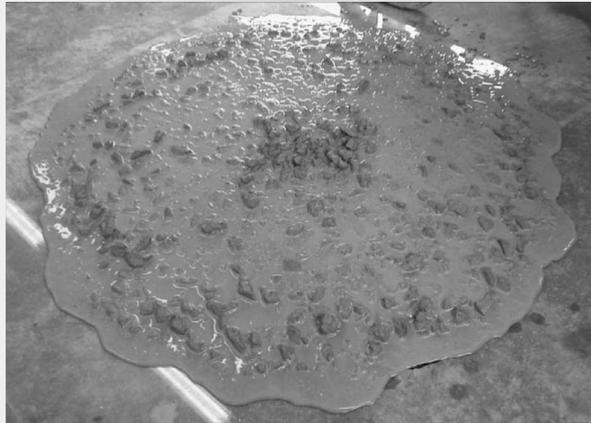
86



PCC USP

## Concreto fresco - anomalias

- Segregação (graúdos)



87

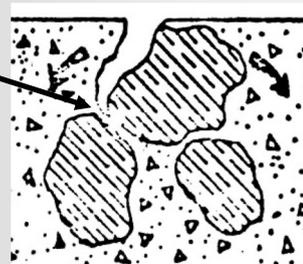
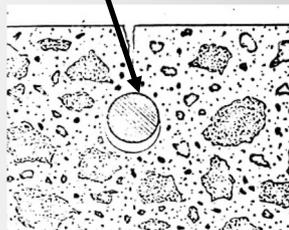
87



PCC USP

## Concreto fresco - anomalias

- Retração plástica:
  - assentamento ou exsudação excessivos;



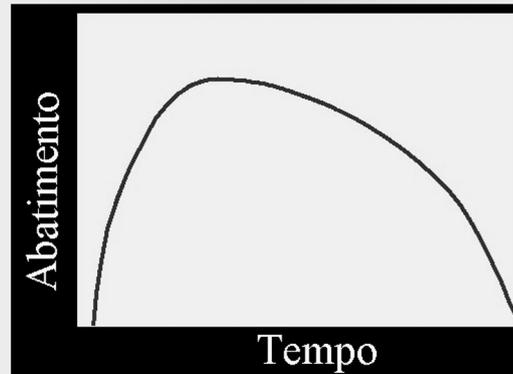
88

88



## Concreto fresco - anomalias

- Perda precoce de abatimento (temperatura, cimento, aditivos);



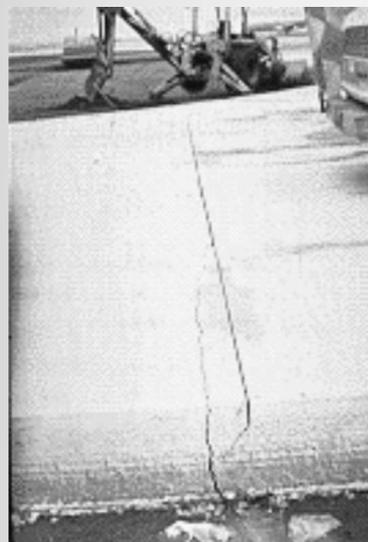
89

89



## Concreto fresco - anomalias

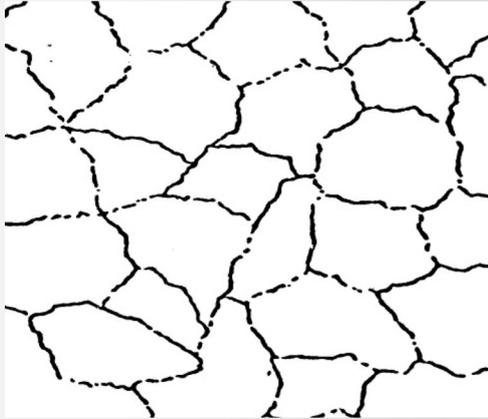
- Retração plástica:
  - taxa de evaporação > taxa ascensão;
  - “Pega” demorada (tipos cimento, aditivos, teores impróprios)
  - assentamento ou exsudação excessivos;



90



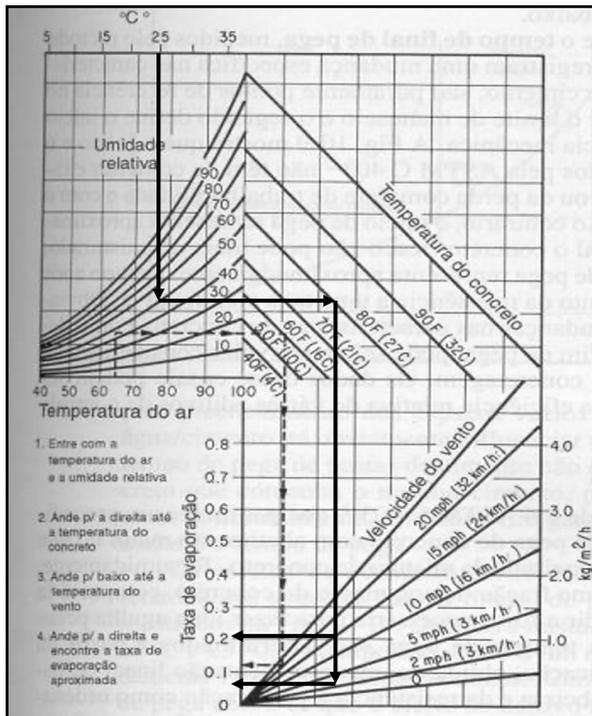
## Concreto nas primeiras idades - anomalias



- Fissuras *mapeadas*:
  - Cimento;
  - Traço;
  - Desempenamento excessivo concreto;
  - Retração por secagem

91

91



## Concreto nas primeiras idades - anomalias

### Fissuras:

- Peças de grandes dimensões;
- Temperatura, UR, e vento incidentes;
- Prevenir pelo uso da “tecnologia”

92

92



## Propriedades especiais relacionadas à trabalhabilidade

### – Perda de abatimento

- NBR 10342;
- Para cimentos, aditivos, temperaturas especiais de concretagem

### – Tempo de pega:

- Resistência (R) à penetração de agulha padrão (NBR 9832/87);
- R início > 3,4 MPa;
- R fim > 27,6 MPa.

93

93



## Propriedades especiais relacionadas à trabalhabilidade

### • Exsudação -

separação da água de amassamento:

- Traço inadequado;
- Dimensões partículas dos agregados;
- ASTM C 232:
  - recipiente cilíndrico d.=25 cm; h=28 cm;
  - coleta de água em tempo fixo.

94

94



## Propriedades especiais relacionadas à trabalhabilidade

- **Segregação:**
  - Traço inadequado;
  - Dimensões partículas dos agregados;
  - Análise visual;
  - Reconstituição traço concreto fresco.



95



## Concreto fresco

*Síntese:*

*Comportamento  
desejado no estado  
fresco*

96

96



## Comportamento desejado

- *No estado fresco inicial*
  - Mistura ou suspensão



**TRABALHABILIDADE**



- **Homogênea**
- **Coesa**
  - Sem exsudação água
  - Sem segregação agregado
- **Tixotropia**
  - Sol no repouso
  - Mobilidade por solicitação mecânica
- **Plasticidade e consistência**
  - Adequadas ao tipo de concretagem

97