



**INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO**

FUNDADO EM 23/06/1972

## Capítulo 39

# Concreto Massa e Compactado com Rolo

Prof. Dr. José Marques Filho  
Universidade Federal do Paraná  
Companhia Paranaense de Energia

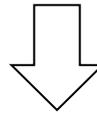
Livro Concreto: Ciência e Tecnologia

Editor: Geraldo C. Isaia

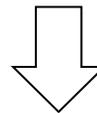
# Concreto Massa

---

O aumento da população humana e a necessidade de fornecimento de vida digna e empregos de qualidade



Necessidade de Criação de Infraestrutura Civil Adequada



Grandes Empreendimentos de Energia, Água, Estradas e Edificações de Grandes Dimensões

# Concreto Massa

---

Possui volumes e formas que requeiram meios especiais para controle da geração de calor e sua consequente mudança de volume (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Utilizado geralmente em obras com:

- Grandes Volumes Horários de Lançamento
- Estruturas de Grande Dimensões
- Produção Contínua na Obra com Curtos Intervalos de Tempo entre Lançamentos

Demanda cuidado com:

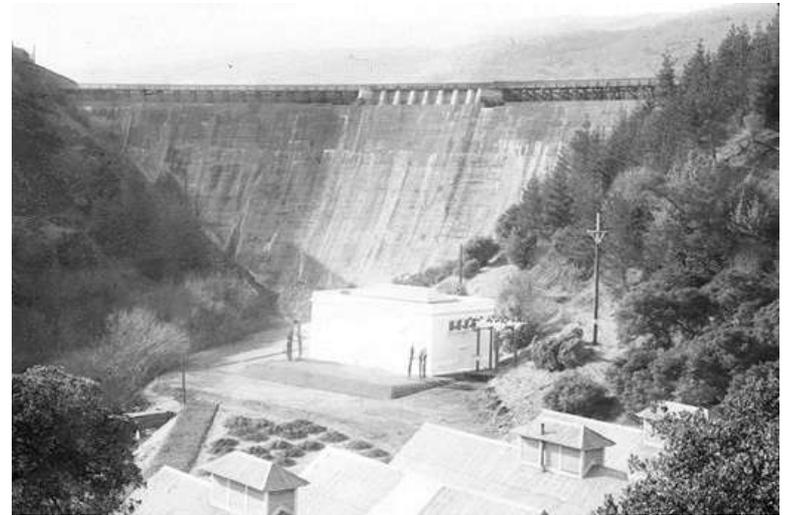
- Efeitos da Variação de Volume
- Sazonalidades importantes

# Concreto Massa

- Primeiras aplicações do Concreto Massa foram feitas em Empreendimentos Hidráulicos



A barragem de Crystal Springs, construída em 1888, foi, provavelmente, a primeira com Controle Tecnológico do Concreto

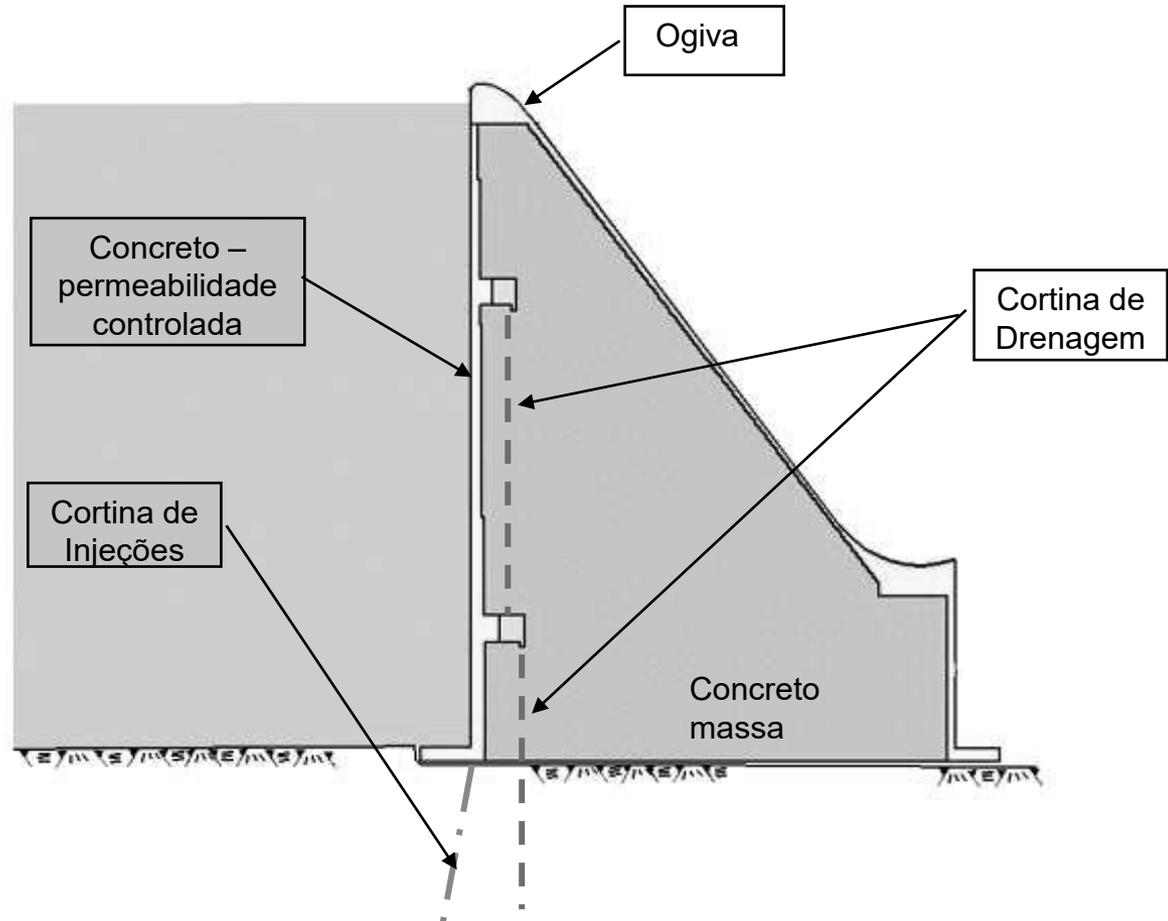


A barragem de San Mateo, na Califórnia, de 52 m de altura, construída entre 1887 e 1889, foi possivelmente a primeira a ser executada unicamente em concreto

# Seção Típica de Concreto a Gravidade

Soluções Adotam:

- Concreto com cuidados de temperatura no corpo
- Concreto com controle de permeabilidade na face de montante
- Controle de subpressões por cortinas de injeção e drenagem
- Efeitos da variação de volume controlados por juntas de contração





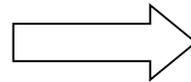
# Conceitos de Projeto

---

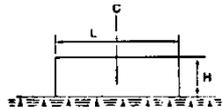
- Consideração da resistência à tração
- Consideração das solicitações geradas pela percolação
- Controle das pressões neutras através de cortinas de injeção a montante e de cortinas de drenagem
- Cuidados especiais com as interfaces entre o concreto e a fundação e entre juntas de construção
- Dimensionamento do paramento de montante para garantir estanqueidade e durabilidade
- Cuidados com a execução e controle das juntas de contração
- Consideração dos efeitos termogênicos gerados pela hidratação do cimento

# Fissuração

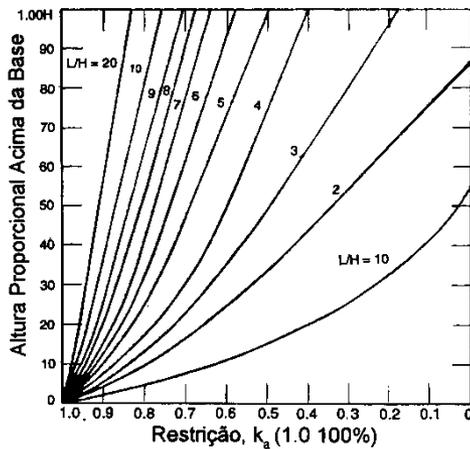
Restrições às Mudanças de Volume



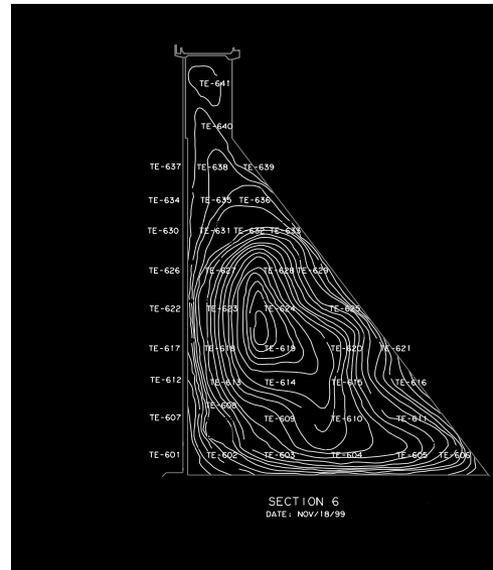
Campo de Tensões que pode gerar fissuração



Restrição Contínua da Base



$$\sigma = K_r \cdot k_a \cdot \Delta t \cdot \alpha \cdot \frac{E_c}{1 + \Psi}$$





# Bases Tecnológicas para Abordagem do Concreto Massa

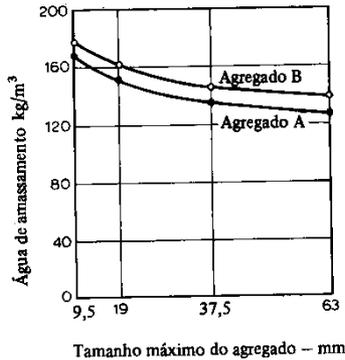
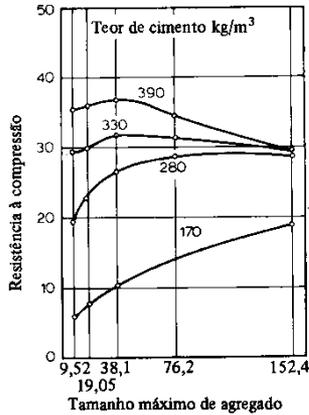
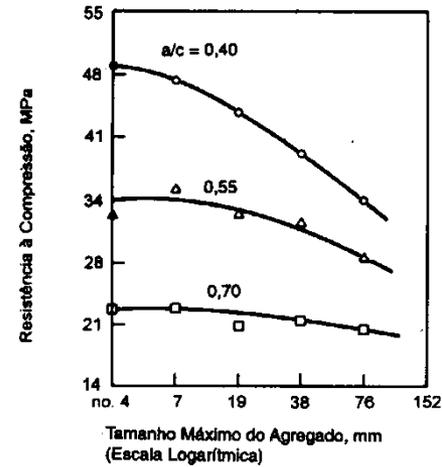


Fig. 3.15: Influência do tamanho máximo do agregado na demanda de água para obtenção de um mesmo abatimento<sup>3-16</sup>



## Mehta-Monteiro

Aumento nos Vazios do Concreto	Redução da Resistência à Compressão
5%	30%
2%	10%

Neville

## Desafio

---

- Usar o Maior Diâmetro Possível
- Minimizar Vazios do Esqueleto do Agregado
- Minimizar Consumo de Cimento para Diminuir Efeitos da Variação Volumétrica decorrente das Reações Termogênicas da Hidratação
- Evitar Segregação com  $D_{máx}$  Elevados
- Evitar Reações Deletérias
- Controle da Permeabilidade

## Dosagem Concreto- Massa

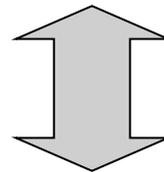
---

- Consumo de cimento deve ser minimizado
- Caso possível, utilizar cimentos que possuam menor geração de calor, sendo desejáveis cimentos com baixa relação C3A/SO3 e baixos teores de cal livre e MgO, e limitar as parcelas de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) e de silicato tricálcico ( $C_3S$ ).
- Utilização de material pozolânico adequado, como substituição de parte do cimento, pode levar a diminuição de aproximadamente 50% do calor de hidratação (PAULON, 1987);
- Controle da temperatura de lançamento
- Utilização de pré-refrigeração através dão esfriamento do agregado graúdo, resfriamento da água de amassamento e/ou substituição de parte da água de amassamento por gelo
- Processos de pós-refrigeração

## Desafios - Durabilidade

---

Altas a/c  
Presença de Água  
Possibilidade de Segregação



Utilização obrigatória de Pozolanas  
Otimização do teor de Argamassa  
Fechamento da Mistura

# Dosagem Concreto- Massa

## DADOS FUNDAMENTAIS

- Igual demais métodos
- Atingir Especificações
  - Especificações de Resistência e Durabilidade
  - Trabalhabilidade
  - Economia
  - Minimização dos Efeitos de Variação Volumétrica
  - Consistente quanto as variações de campo

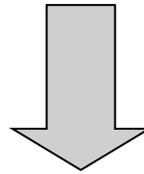
## DIFICULDADES

- Lida com dimensões máxima muito diferentes (até 152 mm)
- Variação na graduação do agregado miúdo
- Utiliza combinação de várias dimensões de agregado
- Volumes expressivos

# Concreto Massa

---

Evolução Natural das Técnicas do Concreto  
Convencional



Dmáx do Agregado Graúdo  
Minimização da Quantidade de Cimento  
Manutenção da Integridade da Massa

# Desenvolvimento de Bases

---

## Segregação

Graduação

Continuidade de Grãos para Criar Estrutura Granular que mantenha a Integridade

Acertar o Teor de Argamassa para dar trabalhabilidade e evitar segregação

↳ Módulo de Finura



## Desenvolvimento de Bases

---

- Abordagem do Agregado Graúdo
  - Aumentar a Compacidade / minimizar índice de vazios
  - Ter o Maior Diâmetro Possível
- Abordagem do Agregado Miúdo
  - Aumentar a Compacidade
  - Dar a Trabalhabilidade com o menor consumo possível de água
- Procurar-se-á definir granulometrias contínuas que minimizem vazios
- As misturas de agregados terão como tentativa inicial ajuste às curvas ideais
- Adaptações as condições locais são feitas após as misturas

# Granulometria

- Talbot-Richard

$$p = \frac{d^x - 0,075^x}{Dmáx^x - 0,075^x}$$

P = porcentagem acumulada que passa na malha d.

d = abertura da malha,.

x = expoente - (para agregado britado, x = 0,5 e agregado natural, x = 0,8).

- ACI Committee 207

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^n \times 100$$

P = porcentagem acumulada passando na peneira de malha d.

d = abertura da malha.

D = dimensão máxima característica do agregado

n = 0,4 - agregado artificial.

n = 0,5 - agregado natural.

# Granulometria

---

- Graduações Geométricas
  - Curva Granulométrica contínua
  - Porcentagem retida nas peneiras da série normal sucessivas mantém uma relação geométrica entre si
- Graduação 70%
  - Peso segunda peneira = 70% peso primeira
  - Peso Terceira = 70% peso da segunda
  - E assim, sucessivamente

$$\beta = 100 \frac{(1 - \alpha)}{1 - \alpha^n}$$

$\beta$  = porcentagem retida na primeira peneira, imediatamente inferior àquela correspondente à dimensão máxima.

$\alpha$  = porcentagem equivalente à graduação geométrica.

$n$  = número de peneiras que entram na série normal, cuja primeira peneira seja a  $D_{m\acute{a}x}$  do agregado

# Graduações Geométricas

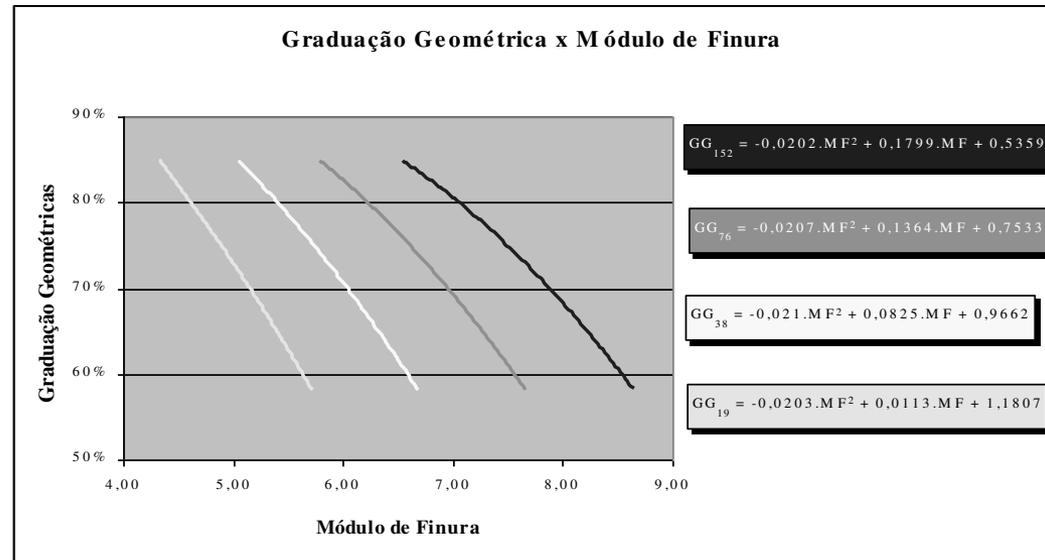
Vantagem

{ É uma PG  
 Fica simples lidar com os Módulos de Finura

$$MF = \frac{\beta}{1-\alpha} \left[ (n-1) - \left( \alpha \frac{1-\alpha^{n-1}}{1-\alpha} \right) \right]$$

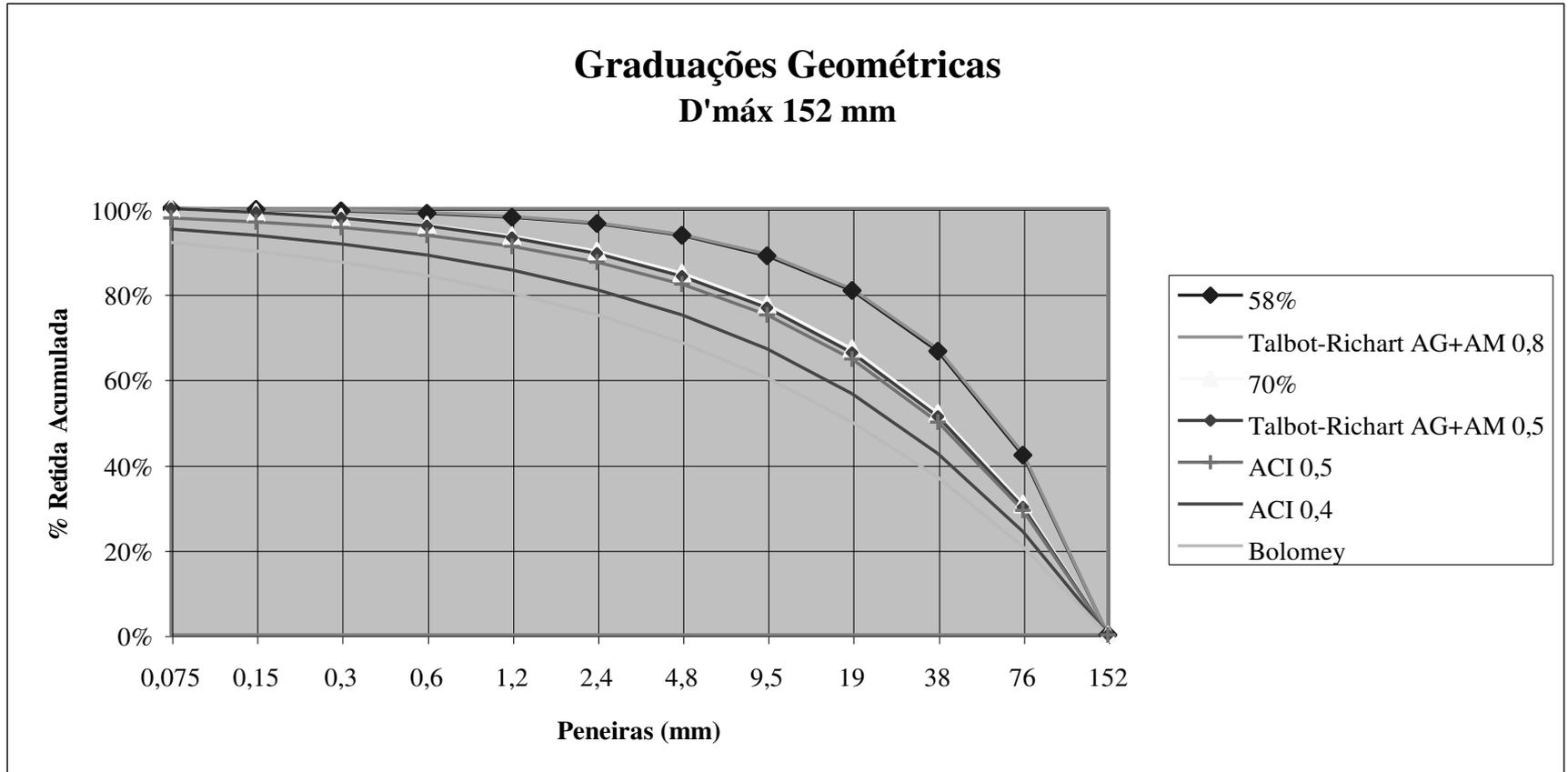
a, b e n = os mesmos símbolos definidos na expressão anterior

MF = módulo de finura da mistura dos agregados .





# Comparação das Curvas de Referência





# Método do Módulo de Finura

---

- **Trabalhabilidade**
  - Admite-se a validade da Relação de Slater-Lyse
$$C_a \cong \text{função do MF}$$
Onde  $C_a$  = Consumo de água para dada trabalhabilidade  
MF = Módulo de Finura (para diferentes granul.)
- **Abatimento**
  - Se situam na faixa 20 a 75 mm
  - Usual  $45 \pm 5$  mm
- **Uso de Ar Incorporado**
  - Usual 4,5 % (trabalhabilidade)

# Processo Dosagem

---

- Traços Iniciais

Para cada  $D_{m\acute{a}x}$  executa-se um conjunto de dosagens com:

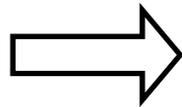
- Fixa-se um abatimento (trabalhabilidade)
- Varia-se a relação 1:m
- Para cada m, varia-se a porcentagem de areia e por conseguinte o MF
- Obtem-se o MF Ideal

# Processo Dosagem

---

- Módulos de Finura Ideal
  - % Areia baixa produz concretos ásperos
  - % areia altas gera excesso de argamassa

IDEAL



Menor a/c (Maior Resistência)  
Aspecto Adequado

- Há variações inerentes ao processo
- Pode haver segregação com pequenas variações

$$\text{MF ótimo} = \text{MF ideal} + 0,2$$

% Areia Ótima

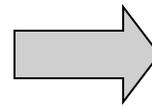
# Concreto Compactado com Rolo

---



# Idéia: Usar Equipamento de Compactação

---



Equipamentos de Obra de Terra:  
Espalhamento e Compactação



- Material Seco
- Espessura de camada que permita compactação

## Desenvolvimento Conceitual

---

- O Concreto Compactado com Rolo é uma técnica construtiva que busca obter:
  - Baixa incidência de mão de obra por volume unitário
  - Maior desempenho na velocidade de lançamento;
  - Baixos teores de cimento;
  - Baixos custos;
  - Viabilização de grandes projetos com concreto massivo que normalmente exigem cronogramas reduzidos.



É UM CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO  
COM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE  
PRODUÇÃO



# Abordagens Utilizadas

---

## ABORDAGEM GEOTÉCNICA

- Maior Densidade Possível
- Teor de umidade ótima

## TECNOLOGIA CONCRETO

- Trabalhabilidade
- Parâmetros de Projeto
- Controle de Qualidade
- Monitoramento
- Análise de Disponibilidade e Custo

## Soluções Utilizadas

- CCR Pobre (Lean RCC)
- RCD Roller Compacted Dam
- CCR Alto Teor de Pasta
- CCR Medio Teor de Pasta
- CCR com Alto Teor de Finos - Método Brasileiro
  - Fechar Mistura
  - Finos para trabalhabilidade
  - Agregado Moido - Ossipov-Paulon

# Parâmetros de Importância

---

- Resistência Mecânica
- Ligação entre Camadas
- Capacidade de suportar compactação
- Variação de Volume e Temperatura
- Caracterização e ensaios são distintos do concreto convencional
- Necessidade da presença de finos para fechamento da mistura e garantia da compacidade adequada



# Processo usual de abordagem do problema no Brasil

---

- Dosagens experimentais em laboratório com conceitos semelhantes àqueles do concreto massa.
- No Brasil por limitações na disponibilidade de cinzas, usa-se agregado pulverizado. CCR Alto Teor de Finos
- Execução de maciços experimentais na obra
- Início da execução
- Otimização baseada no maciço experimental
- Otimizações baseadas no C.Q. da obra
- Plano de extração de testemunhos para verificação de resultados

# Ensaio de Trabalhabilidade

- Consistência impede a eficiência de ensaios convencionais como o de Abatimento do tronco de cone
- Usa-se o ensaio de determinação do Cannon Time



# Densímetro Nuclear

- O densímetro nuclear permite a verificação da compactação





## Dosagem de CCR - ATF

---

- A Resistência não é função única da relação a/c
- Necessidade de sustentação do Rolo Compactador
- Fechamento Granulométrico para garantir a compactabilidade
- A perda de água durante a execução é fundamental
- Necessário disponibilidade mínima de material fino, dentre eles pó de pedra

# Dosagem

---

- Resultados com petrografia não podem ser extrapolados
- O dimensionamento da central de britagem é fundamental na determinação das frações granulométricas
- Diferentes tipos de britadores fornecem resultados diferentes pelas alterações de forma do agregado e de pela quantidade de pó produzido
- Toda a dosagem deve utilizar granulometria real da obra

# Seqüência de Dosagem

---

- Determinação das % de cada fração granulométrica
  - Utilização de curvas ideais como Talbot-Richard
  - Obtenção da maior massa unitária aparente
  - Utilizar experiência para evitar segregação
  - Dimensão máxima característica do agregado graúdo tende hoje a 50 mm

# Seqüência de Dosagem

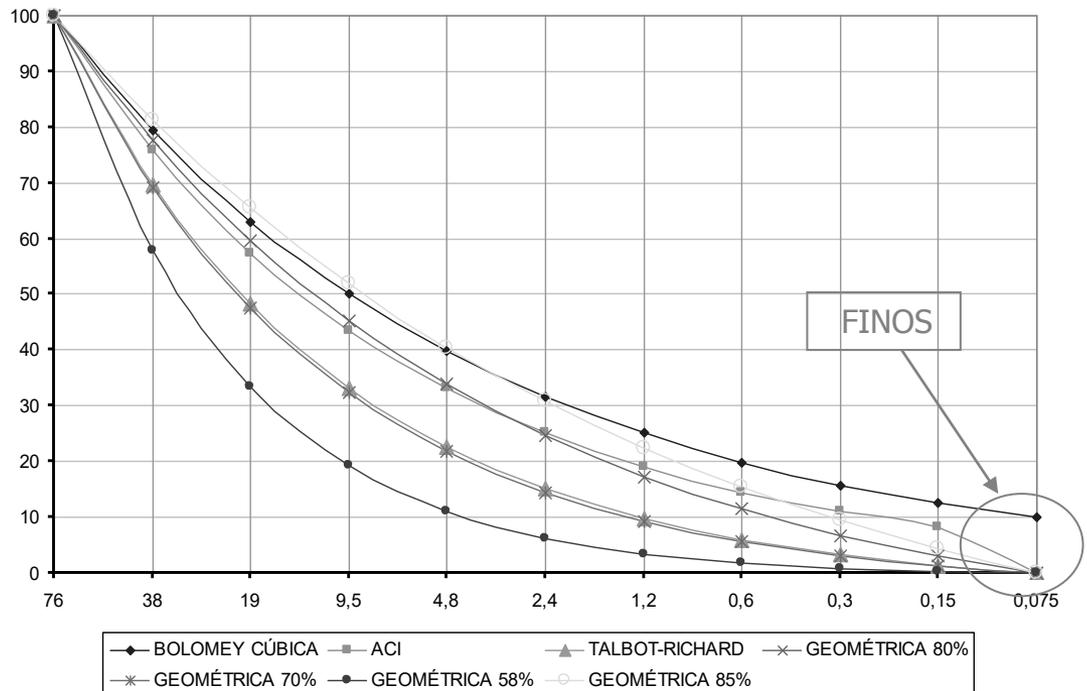
---

- Admite-se um consumo de cimento para concreto de Referência
  - Entre 70 e 100 kg/m<sup>3</sup>
  - A utilização de aditivos diminui os consumos. (1% de substituição pode diminuir 10 kg/m<sup>3</sup>)
  - Utilizar cimentos que inibam reações deletérias
- Agregado Pulverizado
  - variando de 120 kg/m<sup>3</sup> a 160 kg/m<sup>3</sup>
- Conteúdo de Água - depende da trabalhabilidade, Hoje 8 e 15 segundos de “Cannon time”.

# Seqüência de Dosagem

- Determina-se o Teor Inicial de Areia utilizando a distribuição de Bolomey

$$p = 1 - \left( \frac{d}{D'_{m\acute{a}x}} \right)^{\frac{1}{3}} \pm 5 \%$$





## Seqüência de Dosagem

---

- Dentre os limites da curva, faz-se várias dosagens com diferentes teores de areia
- Mantendo-se o Canon Time, determina-se o teor de água, verificando a tendência de segregação da mistura. Esta pode ser observada na betoneira e no tombamento da mistura para realização de ensaios.
- Para cada teor de areia moldam-se cp,s para verificar a resistência e o rendimento da mistura.
  - Os teores de areia em geral ficam entre 48 e 58%
  - Pó: Mínimo entre 12 a 14% do peso da areia
  - Material cimentício desejável > 10%
  - Pozolana indispensável



## Seqüência de Dosagem

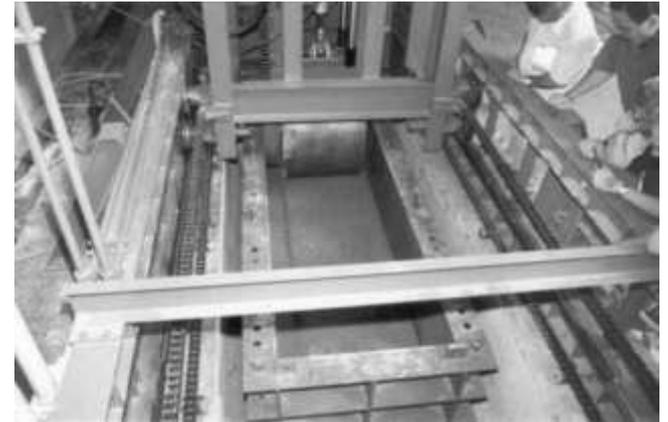
---

- Realizam-se aterros experimentais com condição de campo para certificar os resultados obtidos com os equipamentos e mão-de-obra reais
- Adapta-se, caso necessário a dosagem
- Utilizam-se os dados de campo para evoluir a dosagem

# Pistas Experimentais



Pista Experimental no Campo



Pista Experimental no Laboratório

# Testemunhos

A extração é uma ferramenta importante para o controle de qualidade, pesquisa e para o monitoramento durante a vida útil do empreendimento.

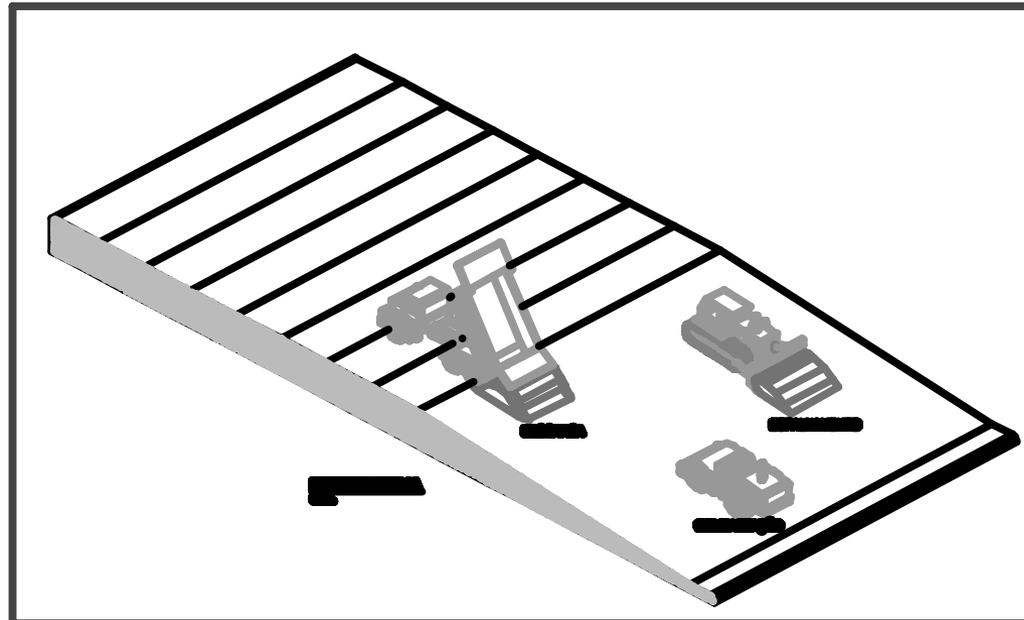
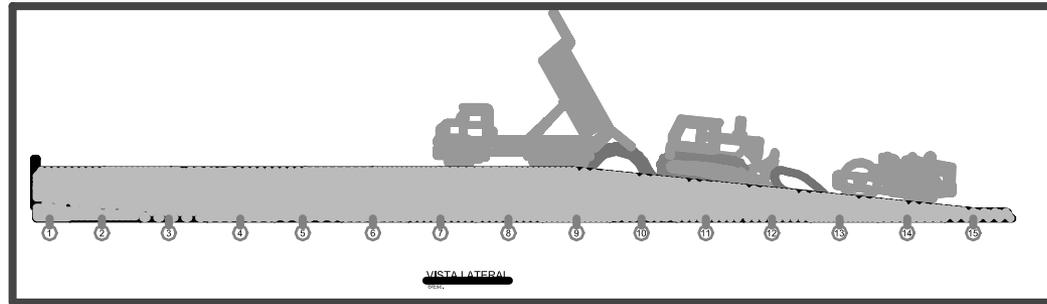


# Constatações

---

- Processo executivo interfere nos parâmetros
- Os ensaios convencionais podem não ser adequados à caracterização
- Treinamento da mão-de-obra interfere no processo
- A qualidade da obra aumenta significativamente com o tempo
- Devido a variabilidade inerente dos materiais no processo, não há banco de dados confiável

# Concreto Rampado





## Método Rampado - Conceituação

---

- Há grande quantidade de juntas, onde os parâmetros são menores.
- No método contínuo, há tempo considerável entre camadas sucessivas
- Utiliza-se argamassa de ligação para garantir parâmetros necessários
- Em intervalos de tempo curtos, as reações de hidratação garantem juntas adequadas
- O método rampado coloca menores quantidades de CCR, diminuindo o intervalo entre camadas
- Como pode ser observado, seria necessária argamassa apenas no topo das diversas camadas inclinadas



## Método Rampado – Conceituação

---

- Há dificuldade de compactação da ponta da camada, podendo segregar pelo tamanho do agregado graúdo
- O processo foi proposto inicialmente na China com dosagens com quantidade elevada de cinza volante
- No Brasil adota-se o método de dosagem com alto teor de finos, pobre de aglomerantes (70 a 90 kg/m<sup>3</sup>)
- Necessário calibrar o método, através de pesquisas de parâmetros das interfaces entre camadas sucessivas (juntas entre camadas de concretagem)



## Método Rampado – Conceituação

---

- Hoje no método CCR ATF, as juntas tendem à espessura de 30 cm
- As especificações indicam intervalos entre 2 a 4 horas para o dia, e de 3 a 5 horas na noite
- Estudos indicam ser o intervalo de 4h entre camadas confortável para cura em condições de laboratório, podendo chegar a 8 h
- O intervalo sofre influencia da insolação, temperatura e umidades ambientes, da velocidade do vento e da eficiência da cura



## CCR Enriquecido com Calda

---

- Consiste na aplicação de calda de cimento no CCR, com vibração posterior com vibradores de imersão
- Objetiva substituir o concreto convencional de face, usado para controlar a percolação
- Técnica desenvolvida na China, na barragem de Jiangya em 1996. Usado com sucesso em várias barragens, com sucesso.
- Procura simplificar o processo construtivo e a interferência na praça
- Procedimento desenvolvido inicialmente em CCR com alto consumo de cinzas volantes



## CCR Enriquecido com Calda

---

- O controle da quantidade de calda é importante e deve ser evitado seu espalhamento sem controle
- Devido a consistência do CCR de base, a energia necessária a mistura e posterior adensamento é significativa
- A homogeneidade necessária do processo demanda equipamentos adequados
- Pela responsabilidade destas estruturas é aconselhável passagem do rolo na interface CCR / enriquecimento

## CCRATF Enriquecido com Calda

---

- O fechamento do esqueleto granular dificulta a penetração de calda no CCR ATF
- CCR enriquecido deve ter as propriedades necessárias similares ao do CCV
- Aplicações:
  - Faces de Montante e Jusante
  - Concreto de envolvimento de vedajuntas
  - Concreto de interface com a rocha de fundação
  - Envolvimento de embutidos
  - Concreto de face e acabamento das paredes das galerias de drenagem



## CCR Enriquecido com Calda

- A junta entre camadas de CCR enriquecido deve ser bem estudada, de preferencia sendo costurada pelo vibrador
- A utilização de aditivos na calda é fundamental no processo
- Como o processo de enriquecimento é simples, não cria muita interferência no processo industrial
- Os resultados de obras chinesas mostram coeficientes de variação de resistência à compressão de testemunhos entre 10-12%.
- Testemunhos da interface CCR – enriquecimento mostram-se homogêneos e sem vazios





# CCR Enriquecido com Calda

---

## Cuidados:

- O processo depende dos processos e do treinamento da mão-de-obra. Os processos de verificação de qualidade dependem da extração de testemunhos.
- O acabamento requer maior esforço devido a consistência e rigidez.
- A interface entre camadas sucessivas de CCR enriquecido é um ponto fraco e pode gerar caminhos preferenciais de percolação

## Barragens de CCR em Arco

---

Há um notável desenvolvimento das técnicas executivas de barragens de CCR em arco, com a necessária injeção das juntas de contração



Construção da Barragem de Shapai, China com 132m, onde se observa as tubulações de resfriamento e de injeção