



Delegacia Regional BH

Tecnologia do Concreto: Especificações, Controle e Aplicações

Belo Horizonte, 16 de Abril de 2010

Eng. Flávio Renato P. Capuruço

Agenda:

- **1ª PARTE – O Concreto Atualmente:** de 14:00 às 16:00 hs
 - ▶ 1.1 - Visão Geral: concretos bombeáveis x convencionais x auto-adensáveis
 - ▶ 1.2 - Por dentro de uma central: premissas básicas de funcionamento de uma central de concreto
 - ▶ 1.3 - Controle de Materiais: cimento, agregados, aditivos, fibras, água (principais características e aplicações)
 - ▶ 1.4 - Tópicos básicos para uma Dosagem de concreto (Curva de Abrams, fator A/C, resistência, módulo)
 - ▶ 1.5 - Controle Tecnológico: ensaios técnicos e análise de resultados

- **Coffee break:** de 16:00 às 16:30 hs

- **2ª PARTE – Concretos Especiais:** de 16:30 às 17:00 hs
 - ▶ 2.1 - Concreto de Alto Desempenho
 - ▶ 2.2 - Concreto Auto-adensável

- **3ª PARTE – Estudo de Casos:** de 17:00 às 17:30 hs
 - ▶ 3.1 - CAD para a Cidade Administrativa Tancredo Neves
 - ▶ 3.2 - CAA para empenas: Cidade Administrativa Tancredo Neves
 - ▶ 3.3 - CAA para recuperação de estrutura no Porto de Tubarão - Vitória ES
 - ▶ 3.4 - Falhas na execução

- **DEBATES:** de 17:30 às 18:30 hs

Premissas Básicas – Fatos motivadores:

- **Não existe um único responsável pelas não-conformidades do concreto;**
- **Os resultados fornecidos não são totalmente confiáveis;**
- **O concreto é tratado como material de baixo valor agregado;**
- **As especificações do concreto estão incompletas ou incorretas;**
- **As características do concreto não são respeitadas na execução da estrutura;**
- **Não existe total intercâmbio entre projetistas, tecnologistas, fornecedores e construtoras;**
- **As construtoras não conhecem seus fornecedores de materiais / serviços;**
- **Os usuários desconhecem as características dos materiais que compram;**
- **Critérios políticos e econômicos se sobrepõem aos critérios técnicos;**
- **Concorrência desleal;**
- **Existem grandes oportunidades para todos;**
- **Etc...**

Mercado Concreto – Algumas reflexões importantes:

- Orientado para volume
- O preço é dado pelo cliente
- O que se vende é uma expectativa
- Vantagem comparativa baseado em custos operacionais
- Visão do cliente: “O que muda é a cor do balão”
- É o único produto “fabricado” no trajeto fornecedor - cliente
- Relação de desconfiança devido ao baixo nível de atendimento
- Produtos sem diferenciação:
 - ▶ Compra baseada em uma só característica: Resistência à Compressão
- Descrédito na Engenharia Civil
- Cenário de estagnação tecnológica
- Enormes perdas tangíveis e intangíveis



Concreto: Visão Geral

O CONCRETO NO BRASIL

- Várias obras pioneiras:
 - ▶ 1926 - Marquise da Tribuna de Sócios no Jockey Club do Rio: balanço de 22,4 m (recorde mundial);
 - ▶ 1930 - Elevador Lacerda: 73 m de altura, maior elevador para fins comerciais do mundo;
 - ▶ 1930 - Ponte de Herval: 68 m de vão em viga reta; balanços sucessivos (recorde mundial);
 - ▶ 1928 à 1931 - Edifício “A Noite”: 22 pavimentos, com 102,8 m de altura (recorde mundial)



PRINCIPAIS TIPOS DE CONCRETO:

- Concreto simples
- Concreto armado
- Concreto protendido
- Concreto leve
- Concreto pesado
- Concreto massa
- Concreto submerso
- Concreto celular
- Concreto bombeável
- Concreto projetado
- Concreto de alta resistência
- Concreto de alto desempenho
- Concreto compactado com rolo
- Concreto com fibras
- Concreto com polímeros
- Concreto auto-adensável



Concreto Convencional x Bombeável:

Característica / Tipo de Concreto	Convencional	Bombeável
Slump (cm)	Entre 4 e 7	≥ 8
Teor de finos	MENOR	MAIOR
Teor de água	MENOR	MAIOR
Teor de cimento	MENOR	MAIOR
Fck / E (para mesmo fator a/c)	MAIOR	MENOR
Tempo de trabalho	MENOR	MAIOR
Produtividade	MENOR	MAIOR
Facilidade de manuseio	MENOR	MAIOR
Custo (para mesmo Fck)	MENOR	MAIOR
Representatividade	30%	60%

Histórico de utilização de concretos no Brasil

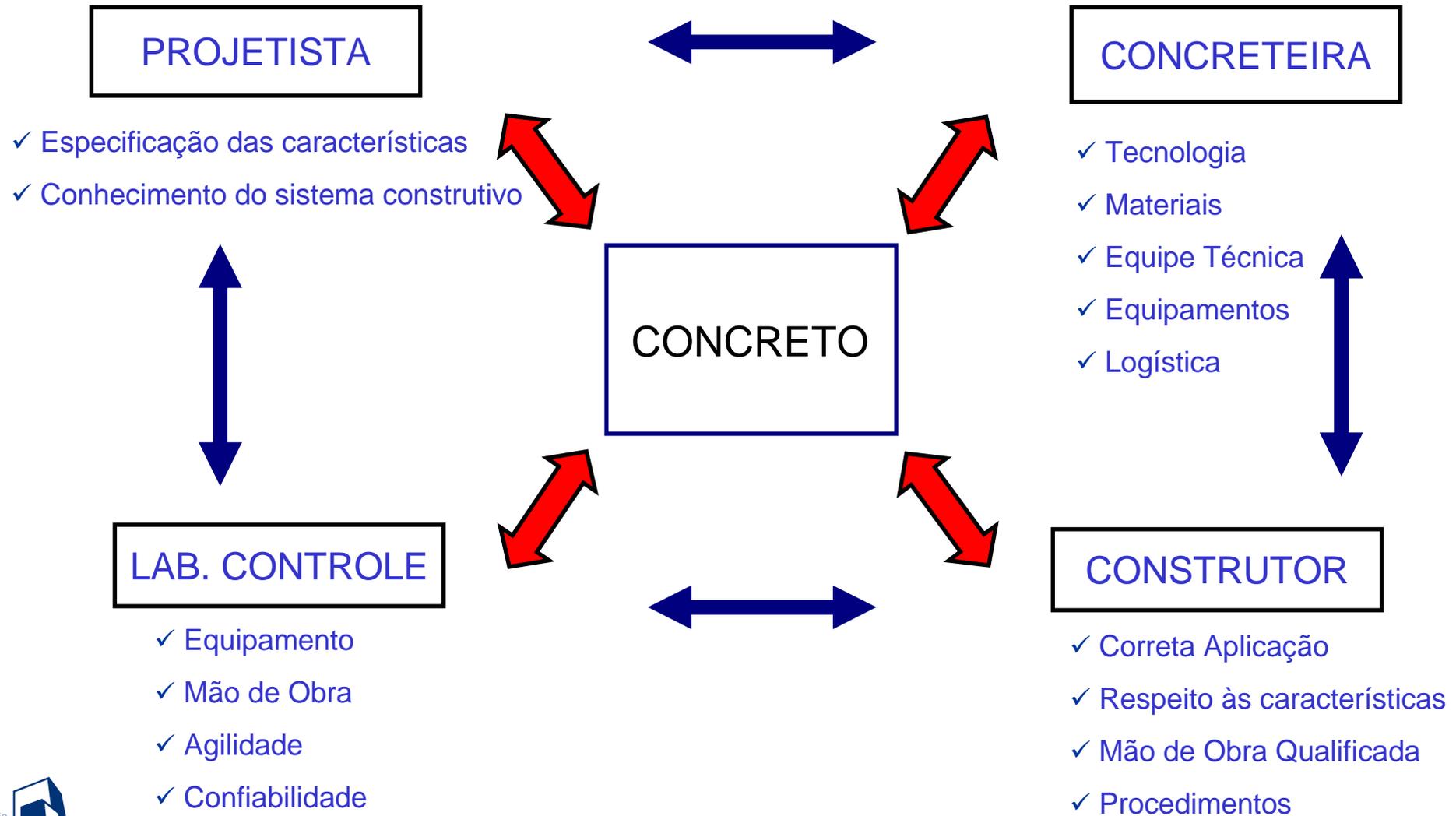
- **Tendências de mercado**

- ▶ Ano 2000 – 60% dos concretos produzidos eram Convencionais
- ▶ Ano 2007 – 60% dos concretos produzidos eram Bombéaveis.
- ▶ Concreto Auto Adensável?
NÃO REPRESENTATIVO ESTATISTICAMENTE NO VOLUME.

“Operacionalizar a produção de CAA é um desafio no processo produtivo do concreto. Uma quebra dos conceitos fixados pela utilização dos concretos CONVENCIONAL E BOMBEÁVEL”.

O mercado tende para concretos mais FLUÍDOS.

Estrutura de Concreto – Visão Sistêmica:



Considerações Importantes:

- Mudanças no micro-clima brasileiro:
 - ▶ modificações em projetos?
 - ▶ nas características dos materiais?
 - ▶ no sistema construtivo?



CONTROLE TECNOLÓGICO (falta conscientização)

ERRADO!

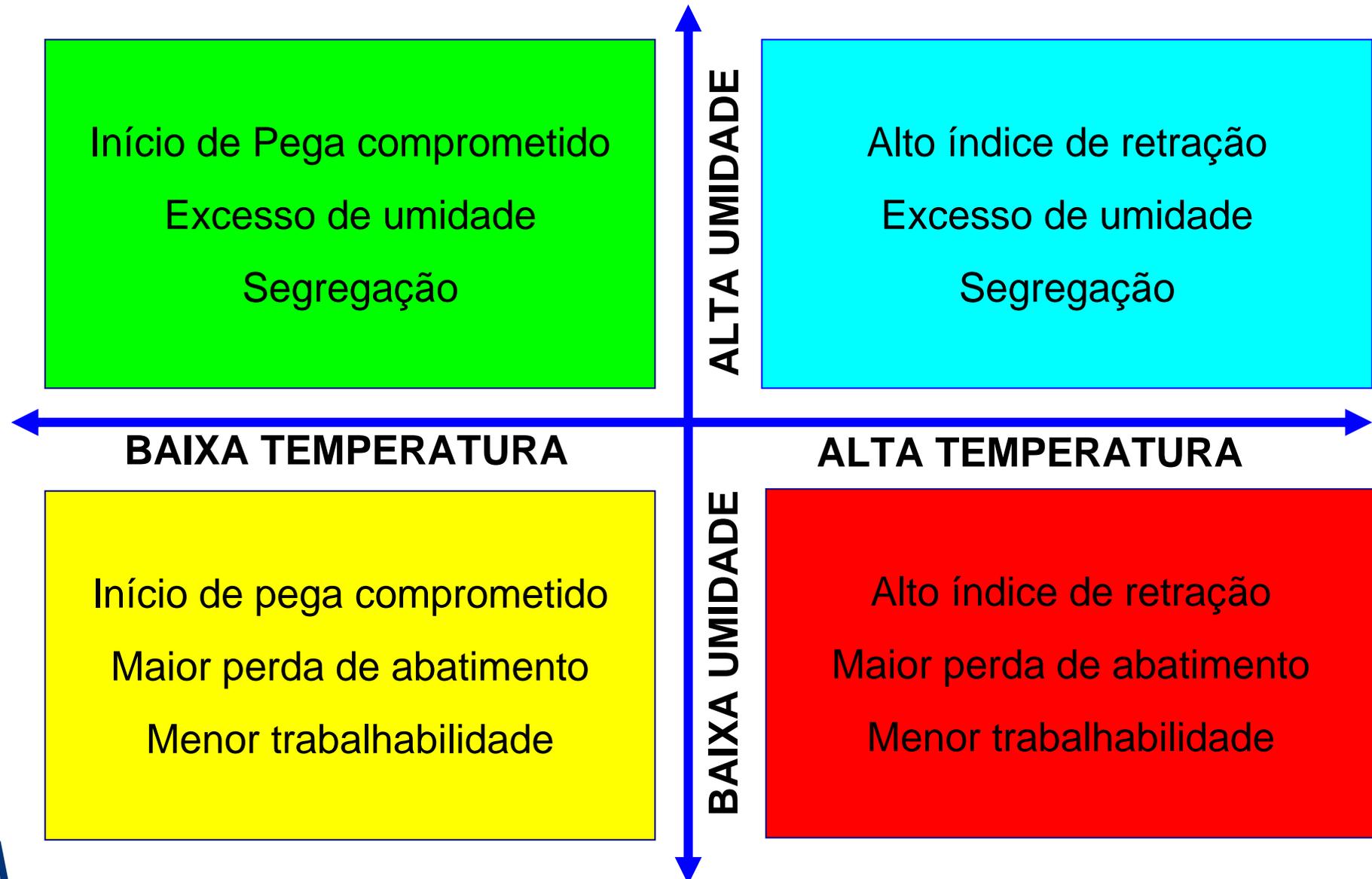
**QUALIDADE,
CONTROLE
CUSTA CARO**



CORRETO!

**QUALIDADE,
CONTROLE
É LUCRO!
DIFERENCIAÇÃO
\$\$\$\$\$\$**

CONTROLE TECNOLÓGICO (falta conscientização)





Por dentro de uma concreteira

Por dentro de uma concreteira:

- **A importância da informação correta e completa:**



Por dentro de uma concreteira:

- **Composição de Preço do Concreto:**

- ▶ **PREÇO DO CONCRETO = CUSTO FIXO + CUSTO VARIÁVEL**

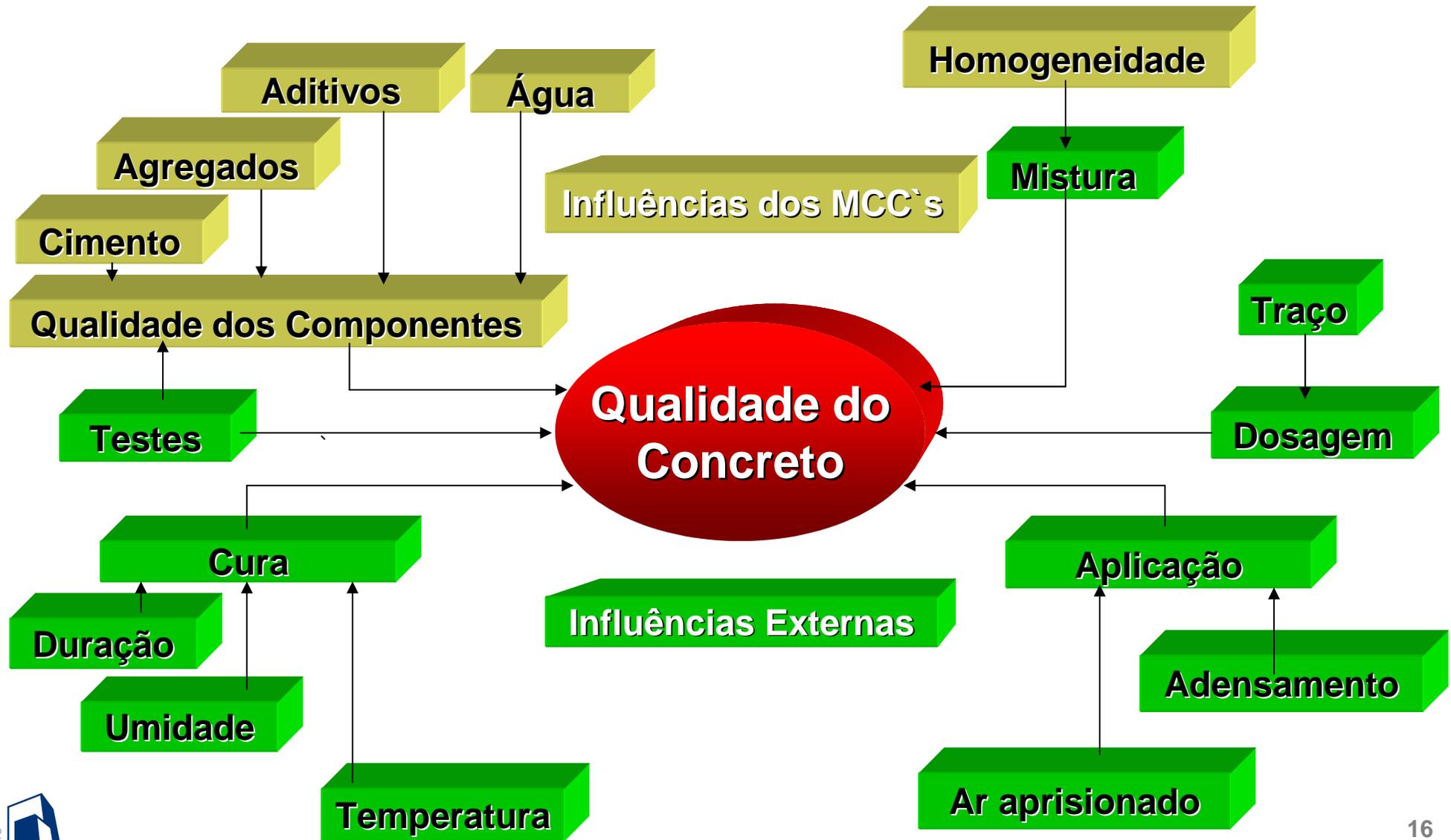
- **CUSTO FIXO:** impostos, custo operacional
- **CUSTO VARIÁVEL:** custos com MCC's, margem comercial

- **Controle Tecnológico:**

- ▶ **Possui critérios para recebimento e controle de materiais**
- ▶ **Controle tecnológico: resultados são utilizados para análises internas e PODEM ser enviados aos clientes à título de cortesia**



Fatores que influenciam a qualidade do concreto:



Quais são as matérias-primas?

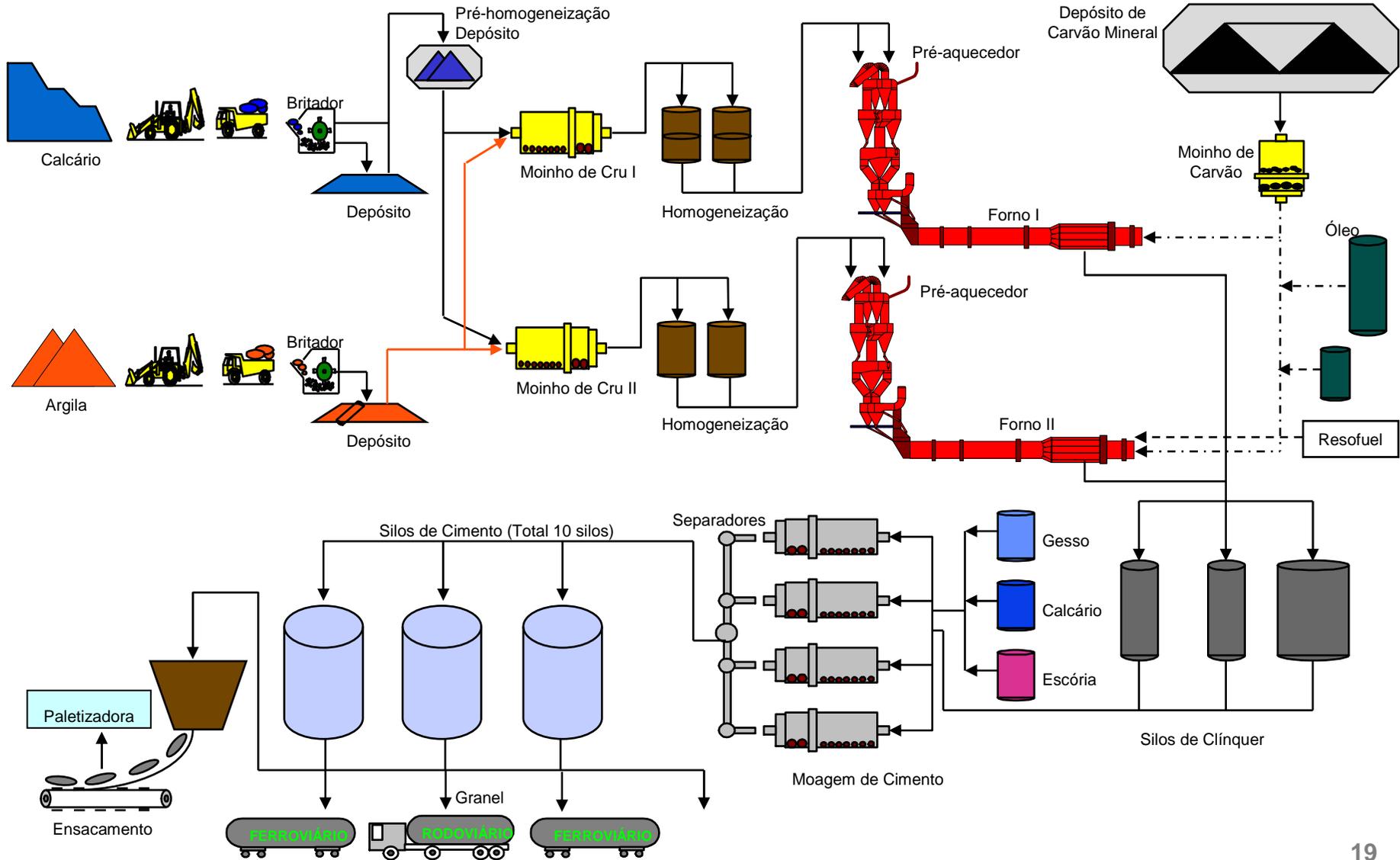
- Cimento (CP III , CP V)
- Adições (Metacaulim, Sílica ativa)
- Agregados miúdos (naturais e/ou artificiais)
- Agregados graúdos (base calcárea, gnaisse, etc)
- Água (poço artesiano, reciclagem, concessionária)
- Aditivos (redutores de água, modificadores de viscosidade)
- Fibras (polipropileno, aço)



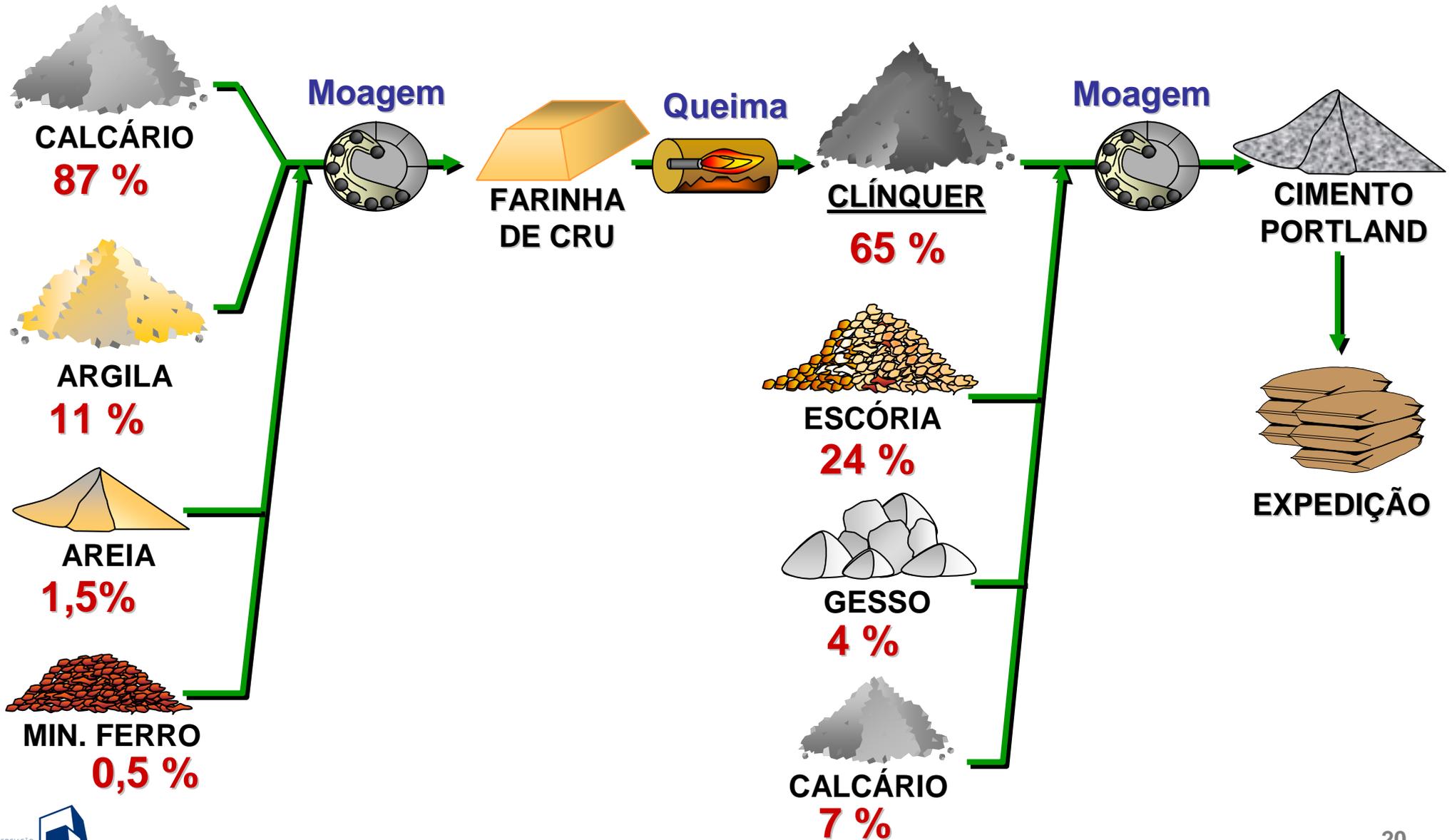
Matérias-Primas x Qualidade do Concreto:

- Como as matérias-primas interferem na qualidade do Concreto?
 - ▶ Prejudicando durabilidade
 - ▶ Prejudicando trabalhabilidade
 - ▶ Prejudicando resistência
 - ▶ Prejudicando aparência
- Devemos procurar matérias-primas que ofereçam riscos mínimos de prejuízo para a qualidade do concreto.
- Matérias-primas devem:
 - ▶ Ser homogêneas
 - ▶ Atender aos requisitos mínimos de qualidade
 - ▶ Promover melhor relação custo x benefício

Matérias-primas: Cimento Portland



Cimento Portland: Processo produtivo simplificado



Cimento Portland: adições

Conforme o tipo de cimento acrescenta-se, no processo de moagem as **ADIÇÕES**, sendo elas: **ESCÓRIAS, POZOLANAS** ou **CALCÁRIO**

ESCÓRIAS → Originadas da produção de ferro

POZOLANAS → Originadas em minas de carvão, resíduos de usinas termoelétricas ou queima de argila

CALCÁRIO → Extraído da natureza (um tipo de rocha)

Cimento Portland: o por que das adições

- **TÉCNICAS** : Melhora em propriedades específicas
- **ECONÔMICAS** : Redução de custos. Diminuição do consumo energético
- **ECOLÓGICAS** : Aproveitamento de resíduos poluidores
- **ESTRATÉGICAS** : Preservação das jazidas
- **SUSTENTABILIDADE** : Redução das emissões

Razões Técnicas para o uso das adições:

- Aumento da impermeabilidade
- Diminuição da porosidade capilar
- Maior resistência a sulfatos
- Redução do calor de hidratação
- Inibição da reação álcali-agregado

Em conseqüência = MAIOR DURABILIDADE

Cimento Portland: principais tipos

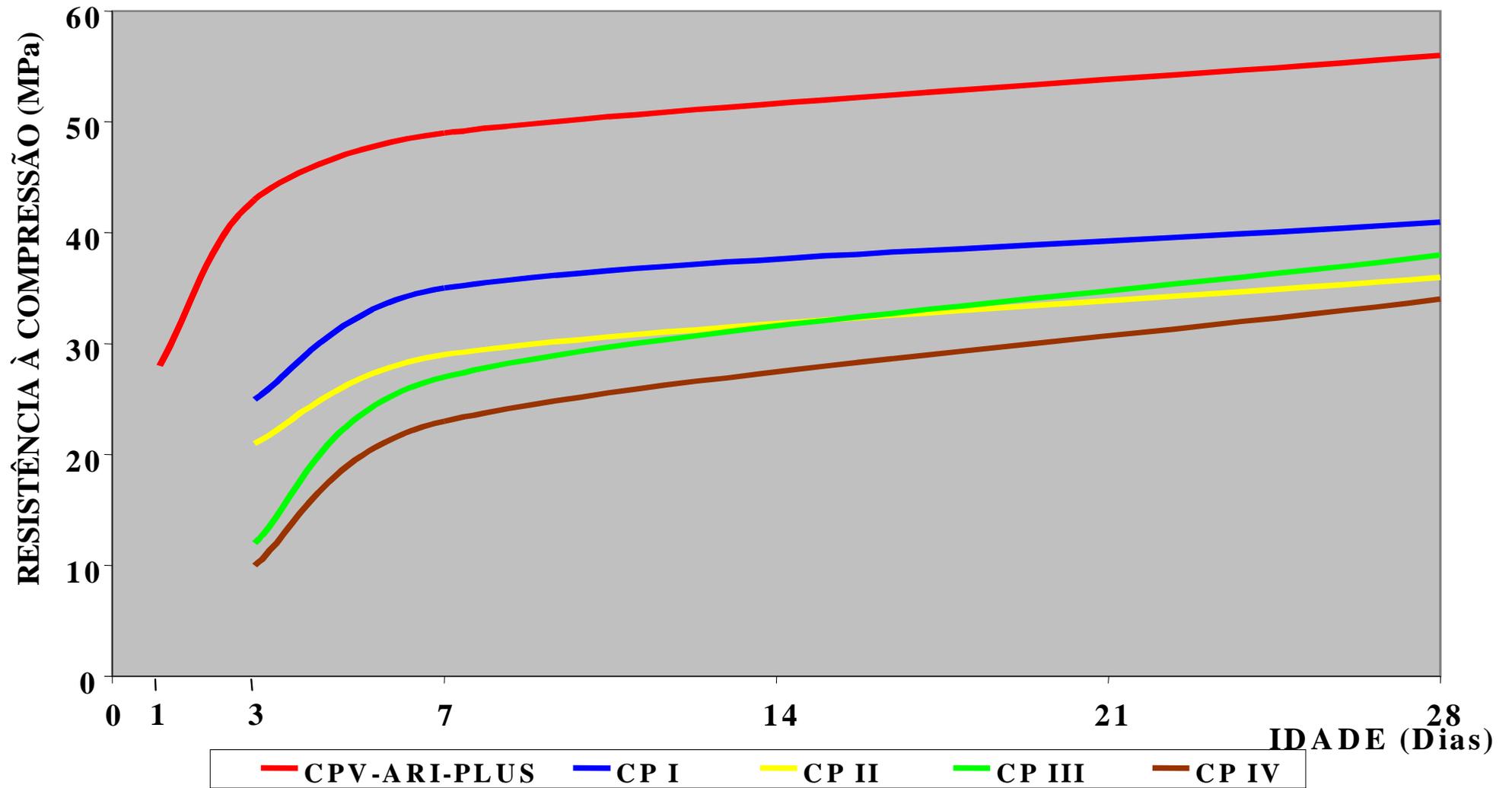
Tipo	Classes Resist. (MPa)	Composição (%)				Norma Brasileira
		Clinker + Gesso	Escória Alto-forno	Pozolana	Filer	
CP I	25 32 40	100		0		NBR 5732
CP I-S		95-99		1-5		
CP II-E	25 32 40	56-94	6-34	0	0-10	
CP II-Z	25 32 40	76-94	0	6-14	0-10	NBR 11578
CP II-F	25 32 40	90-94	0	0	6-10	
CP III	25 32 40	25-65	35-70	0	0-5	NBR 5735
CP IV	25 32	45-85	0	15-50	0-5	NBR 5736
CP V-ARI	-	95-100	0	0	0-5	NBR 5733
CP V-ARI RS	-	*	*	*	0-5	NBR 5737

* CP V-ARI RS admite adição de escória ou material pozolânico, porém a NBR-5737 (Cimentos Portland resistentes a sulfatos) não fixa limites.

Clínquer Portland: componentes químicos

	TEOR (%)	Taxa de Hidratação	Contribuição para		
			Resistência Inicial	Resistência Final	Calor de Hidratação
C_3S	50 – 70	Alta	Alta	Baixa	Alta
C_2S	15 – 30	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
C_3A	5 – 10	Alta	Alta	Baixa	Alta
C_4AF	5 – 10	Moderada	Baixa	Alta	Baixa

Cimento Portland: principais tipos e resistências



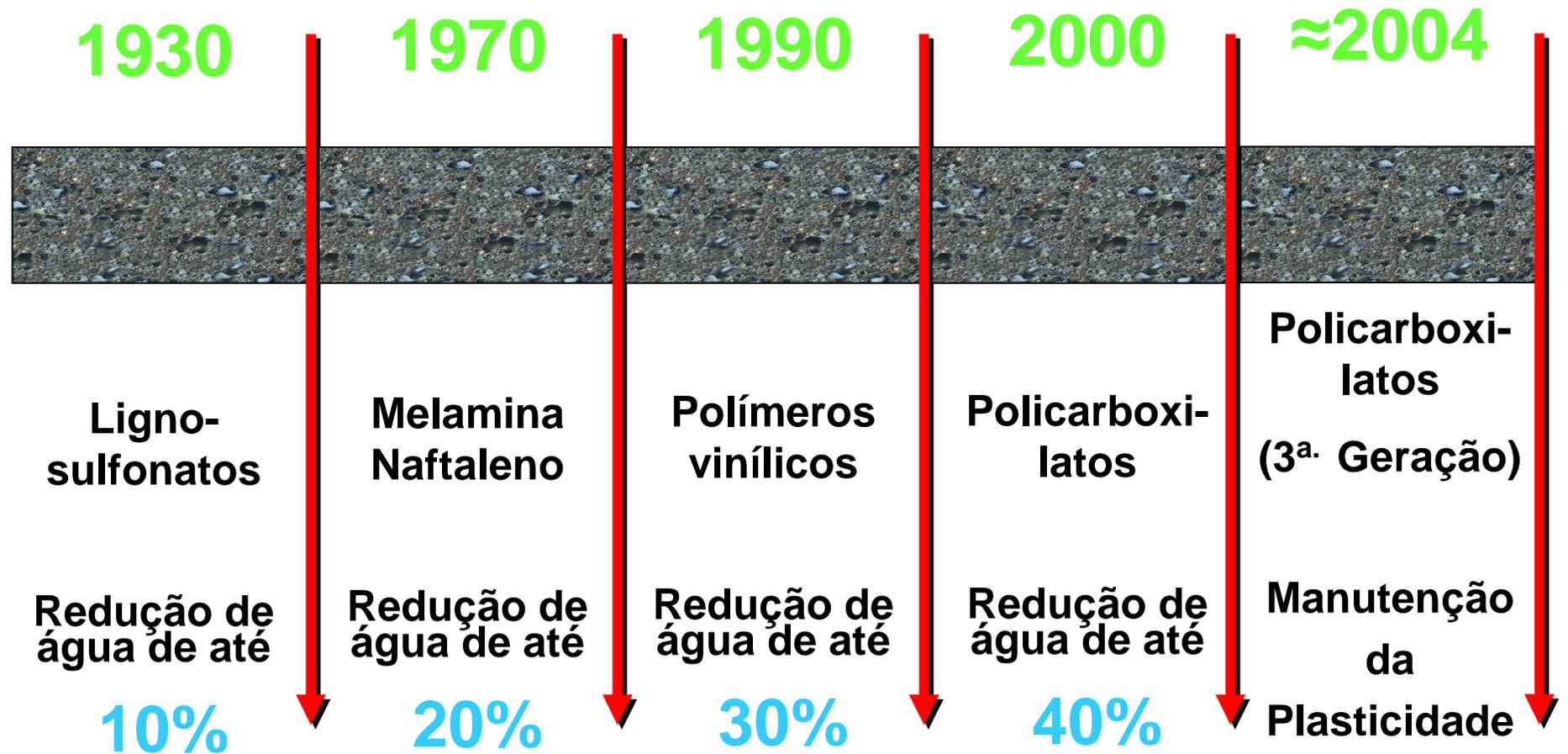
Cimento Portland: tipos e principais características

Característica / Tipo de Cimento	CP III	CP V RS
Calor de hidratação	↓	↑
Permeabilidade	↓	↓
Resistência / Módulo Iniciais	↓	↑
Resistência / Módulo Finais	↑	↑
Tempo entre Início e Fim de Pega	↑	↓
Resistência à Sulfatos	↑ ↑	↑
Inibição RAA	↑ ↑	↑
Exsudação	↑	↓
Retração	↓	↑

Matérias-primas: ADITIVOS

- **Produtos de origem animal:** sangue, leite, gordura animal e clara de ovos
- **Produtos minerais plastificantes**, tais como a cal, as terras diatomáceas, a bentonita e outros tipos de argilas
- **Década de 30:** surgiram aditivos com **base química** fabricados a partir da **solução de sulfito**, proveniente da indústria do papel

Aditivos: Evolução tecnológica



Aditivos: Principais tipos e propriedades

Tipos de Aditivos	Propriedades
Retardadores	<i>Retarda o tempo de pega conforme a dosagem, prolongando assim a dissipação do calor de hidratação ao longo do tempo, impedindo a perda rápida da água do concreto lançado, devido a elevação da temperatura.</i>
Aceleradores	<i>Acelera a evolução da resistência inicial do concreto e da pega da pasta de cimento durante o Endurecimento promovendo melhorias no prazo de desforma e agilidade na obra.</i>
Plastificantes	<i>Redução da relação a/c, mantendo a trabalhabilidade desejada ou, como alternativa, aumenta a trabalhabilidade com uma mesma relação a/c, reduzindo a permeabilidade do concreto.</i>
Superplastificantes (ou redutores de água)	<i>Proporciona a obtenção de concretos auto-adensáveis e com alta fluidez, e pode reduzir em até 40% a água de amassamento, resultando em maiores resistências e menor permeabilidade de concretos.</i>
Polifuncionais	<i>Situam-se entre os plastificantes comuns e os superplastificantes, proporcionando as mesmas qualidades ao concreto (redução de água e permeabilidade, melhor trabalhabilidade, etc).</i>
Impermeabilizantes	<i>É indicado para a impermeabilização de solos, cortinas, poços de elevadores, muros de arrimo, reservatórios, estruturas sujeitas à infiltração do lençol freático, etc.</i>
Incorporadores de ar	<i>Incorpora aos concretos minúsculas bolhas esféricas de ar, uniformemente distribuídas, permitindo a redução da água de amassamento, melhorando a qualidade do concreto, reduzindo a segregação e aumentando a trabalhabilidade. Geralmente para cada 1% de IAR deve-se adicionar 8% de cimento.</i>
Expansores	<i>Provoca uma ligeira expansão ainda no estado fresco durante a pega (3 a 8% do volume dependendo do produto e da marca), aumentando a aderência e a impermeabilidade.</i>

Aditivos: Motivos para utilização

■ ADITIVOS PARA CONCRETO são substâncias adicionadas ao mesmo, na fase de preparo (imediatamente antes ou durante o amassamento) com objetivos definidos:

- *Aumento da compacidade;*
- *Acréscimo de Resistência aos esforços mecânicos;*
- *Melhoria da Trabalhabilidade;*
- *Diminuição da Higroscopicidade;*
- *Diminuição da Impermeabilidade;*
- *Diminuição da Retração;*
- *Aumento da Durabilidade;*
- *Possibilidade de retirada do cimbramento e fôrmas em curto prazo;*
- *Diminuição do calor de hidratação;*
- *Retardamento ou aceleração da pega.*

PRINCIPALMENTE: REDUÇÃO NO TEOR DE ÁGUA

Compatibilidade cimento e aditivo

- **Interferem diretamente na reologia do concreto**
- **Cimento e aditivo: trata-se de um “casamento” químico**
- **Para cada tipo de cimento: um aditivo específico**
- **Mesmo tipo de cimento, de fornecedores diferentes: aditivos diferentes**
- **Mesmo tipo de cimento, mesmo fornecedor, fornadas diferentes: pode ser necessária alteração no teor e/ou tipo de aditivo**
 - ▶ Abatimento (Slump) pode não ser o mais adequado
 - ▶ Perda de abatimento pode ficar comprometida
 - ▶ Tempo de início e fim de pega pode ser alterado
- **Ensaio para medida de eficiência para aplicação**
 - ▶ Curva de Saturação (teor ótimo de aditivo)
 - ▶ Curva de Abrams para cada aditivo
 - ▶ Tempo de pega
 - ▶ Perda de Abatimento

Matérias-primas: AGREGADOS

- **Definição:**

- ▶ Material granular “inerte” que participa da composição de concretos, argamassas e alvenarias e cujas partículas são ligadas entre si por um aglomerante (cimento).

- **O que se espera do agregado:**

- ▶ Quimicamente inertes
- ▶ Fisicamente compatíveis com cimento e armação
- ▶ Duráveis: expostos a solitação
- ▶ Boa aderência com a pasta
- ▶ Formas e dimensões definidas

- **Importância Econômica:**

- ▶ Custo do agregado é menor do que o custo do cimento
- ▶ Ocupam de 60 a 80% do volume do concreto

- **Importância Técnica:**

- ▶ Influenciam muitas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido
 - Trabalhabilidade, retração por secagem, propriedades mecânicas, desgaste por abrasão

Matérias-primas: AGREGADOS

■ CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS AGREGADOS:

▶ ORIGEM:

- **Naturais:** aqueles utilizados tal como encontrados na natureza, tais como areia de rio, seixo rolado, pedregulhos
- **Artificiais:** aqueles são obtidos através de britagem, antes do uso, tais como areia artificial, pedras britadas e argila expandida

▶ DIMENSÃO:

- **Fíller:** $\emptyset < 0,075$ mm
- **Miúdo:** \emptyset entre 0,075 e 4,8 mm
- **Graúdo:** $\emptyset > 4,8$ mm

▶ MASSA UNITÁRIA:

- **Leves:** $d < 1.000$ Kg/m³ (argila expandida, vermiculita)
- **Normais:** d entre 1.000 e 2.000 Kg/m³ (seixo, britas e areia artificial)
- **Pesados:** $d > 2.000$ Kg/m³ (barita, hematita)

Classificação Comercial dos Agregados Graúdos

Tipo de Agregado	Ø (mm)
Pedrisco	< 4,8
Brita 0	4,8 < Ø < 9,5
Brita 1	9,5 < Ø < 19,0
Brita 2	19,0 < Ø < 25,0
Brita 3	25,0 < Ø < 38,0
Brita 4	38,0 < Ø < 76,0
Brita 5	> 76,0

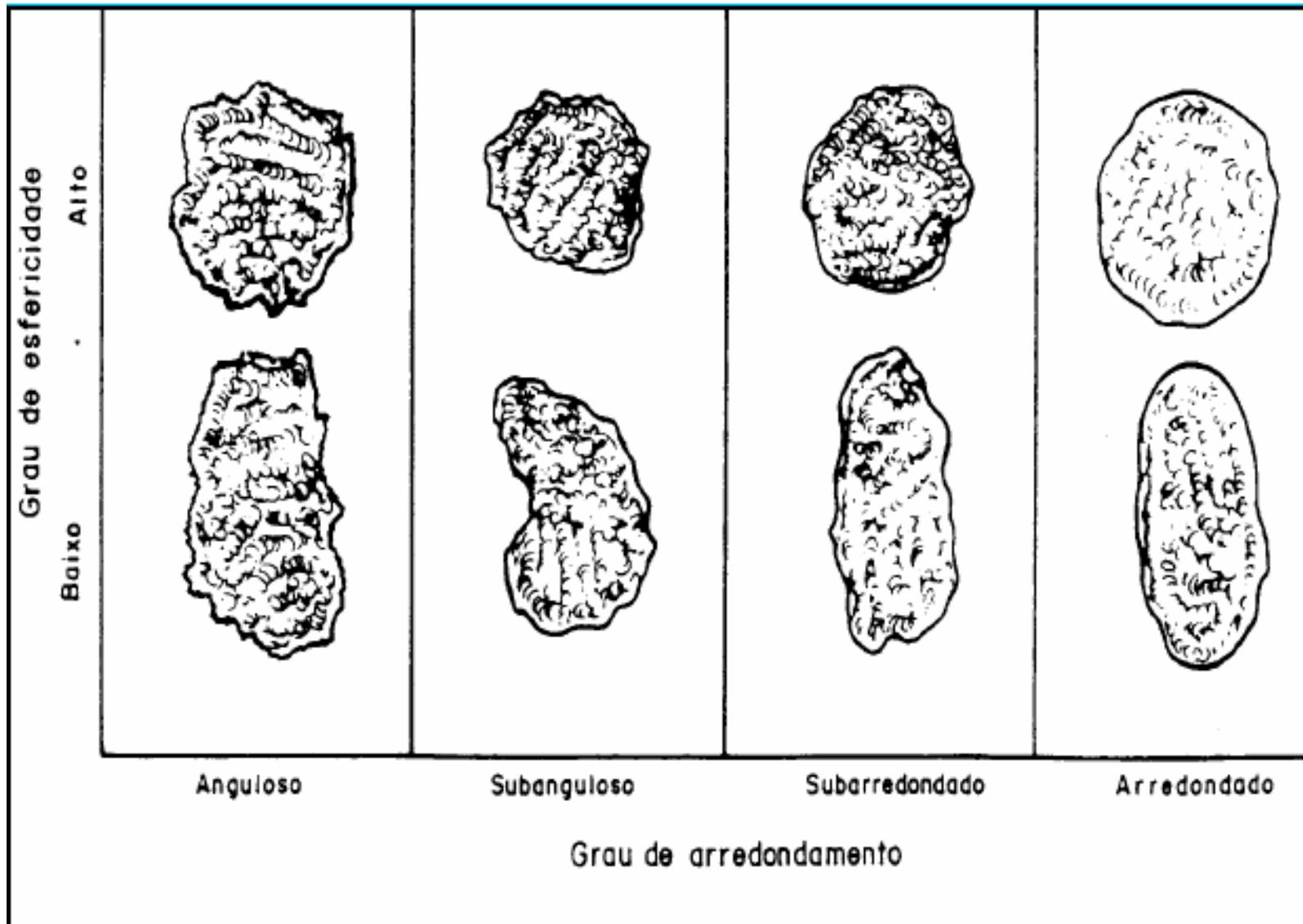
Agregados: Propriedades Físicas

- **Distribuição Granulométrica:**
 - ▶ Determinação da distribuição dos tamanhos dos grãos do agregado
 - ▶ Executada por peneiramento
 - ▶ Resultados principais: Diâmetro Máximo (\emptyset_{\max}) e Módulo de Finura (MF)
- **Massa Unitária:**
 - ▶ MU= Massa de agregado / Volume unitário
 - ▶ Importante na transformação do traço de massa para volume
- **Massa Específica Real:**
 - ▶ ME= Massa de agregado / Volume sólido
 - ▶ Importante na dosagem do concreto
- **Umidade e absorção**
- **Forma do grão:**
 - ▶ Cúbico, lamelar, arredondado

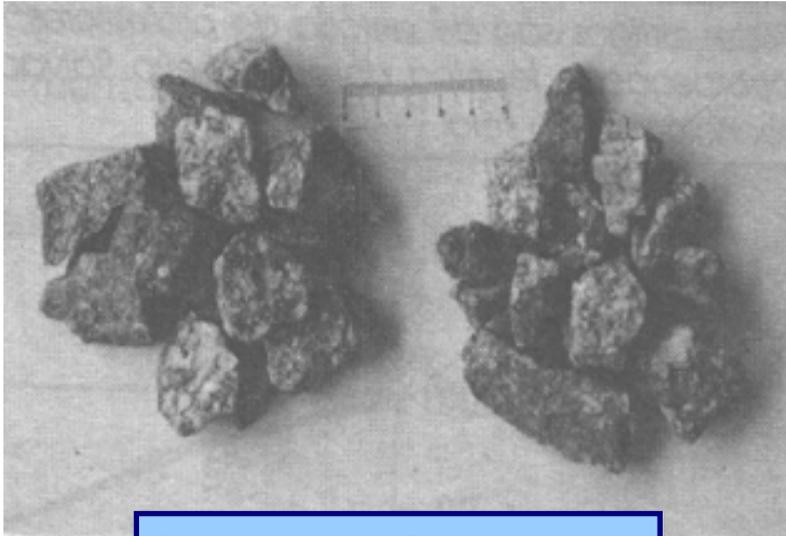
Agregados: Considerações Importantes

- Os agregados carregam uma certa quantidade de água superficial (umidade) e alguns tipos possuem água também em seu interior (absorção).
- Na central temos que medir e descontar a umidade superficial dos agregados.
- Se utilizarmos um valor errado de umidade, o traço originalmente proposto será alterado.
 - ▶ Erro no volume
 - ▶ Erro no teor de argamassa (argamassado / empedrado)
 - ▶ Alteração da resistência estimada.

Agregados: graus de arredondamento / esfericidade



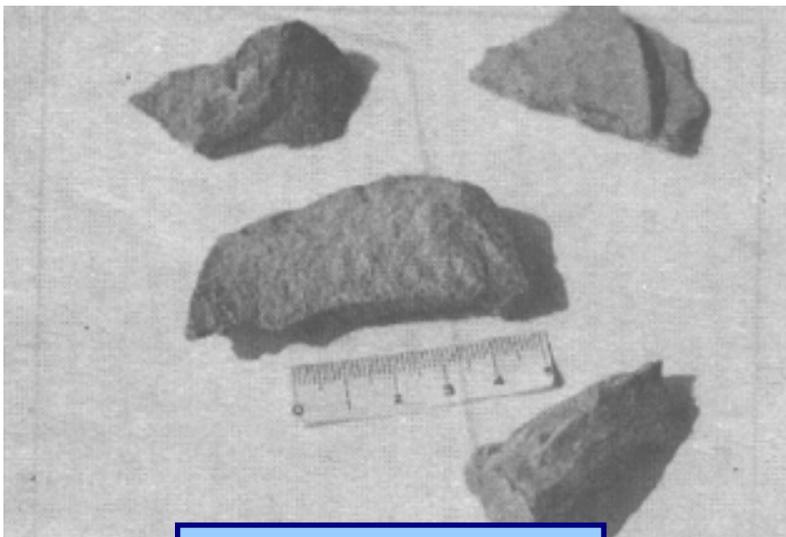
Agregados: formas



Agregado de forma cúbica



Agregados arredondados



Agregados lamelares



Agregado sujo

Agregados: Contaminações mais comuns

- **Torrões de Argila:**

- ▶ Quando não se desagregam durante a mistura, são agregados frágeis
- ▶ Quando se pulverizam dificultam a aderência pasta - agregado
- ▶ Podem ser expansivos

- **Material Pulverulento:**

- ▶ Dificultam a aderência pasta - agregado
- ▶ Aumentam consumo de água
- ▶ Provocam queda de resistência

- **Impurezas Orgânicas:**

- ▶ Interferem na hidratação do cimento podendo até inibi-la
- ▶ Mais comuns em areias naturais

- **Açúcar:**

- ▶ Retarda a pega do cimento prejudicando a evolução das resistências do concreto.

Agregados: características deletérias



Agregados: granulometria e consumo de água

- **composição granulométrica e forma**

efeito na área específica, m^2/m^3 → consumo de água

Diâmetros (mm)	Superfície específica (m^2/m^3)	Água de molhagem (l/m^3)
0,15 a 0,30	26670	300
2,4 a 4,8	1680	56
9,5 a 19	420	40
38 a 76	105	10

Variação da água originada pelos agregados

- A própria umidade do material
- A absorção de água
- O material pulverulento
- Condições de estocagem
- Homogeneização prévia
- Aferição do sistema de controle



Matérias-primas: ÁGUA

- **A tecnologia do concreto é fundamentada na relação A/C**
- **Funções da água de amassamento:**
 - ▶ Promover a reação de hidratação ou o endurecimento do aglomerante
 - ▶ Homogeneização da mistura
 - ▶ Trabalhabilidade
- **Volume de água no concreto:**
 - ▶ Para hidratação completa do cimento: 40% do total de sua massa
 - 23% é quimicamente combinada nos produtos de hidratação
 - 17% é absorvida na superfície do gel
- **NBR 15900 – Água de amassamento do concreto**

Matérias-primas: ÁGUA

- Parâmetros da água a ser empregada nas dosagens de concreto (NBR 15900)
 - ▶ pH: ≥ 5
 - ▶ Óleos e gorduras: não mais do que traços visíveis
 - ▶ Detergentes: qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos
 - ▶ Resíduo Sólido: ≤ 50.000 mg/L
 - ▶ Sulfatos: ≤ 2.000 mg/L
 - ▶ Cloretos:
 - concreto protendido ou graute ≤ 500 mg/L
 - concreto armado ≤ 1.000 mg/L
 - concreto simples ≤ 4.500 mg/L
 - ▶ Açúcar: ≤ 100 mg/L
 - ▶ Álcalis: ≤ 1.500 mg/L

Matérias-primas: ÁGUA x SUSTENTABILIDADE

▪ Tipos de água que podem ser utilizadas no preparo do concreto

▶ Água de reuso de estação de tratamento de esgoto

▶ Água residual

- Jateamento
- Corte
- Fresagem

▶ Água de processo de preparação do concreto

- Lavagem de betoneiras
- Lavagem de bombas de concreto
- Recuperação de agregados de concreto fresco
 - ✓ A massa adicional de material sólido no concreto deve ser menor do que 1% (massa/massa) da massa total dos agregados
 - ✓ Teor de Sólidos < 50.000 mg / L
 - ✓ Massa específica < 1,03 g / cm³



Delegacia Regional BH

Especificação, Produção e Controle Tecnológico do concreto

Controle de produção e recebimento

Resp / Ação	Controle de produção	Controle de recebimento
QUEM	Concreteira	Construtor
OBJETIVO	Oferecer a qualidade especificada ao menor custo	Comprovar a qualidade especificada com o menor risco possível
ATUAÇÃO	O processo	O produto
VARIÁVEIS DE CONTROLE	As mais cômodas (correlações)	As mais representativas
FERRAMENTAS	Gráficos e registros de controle	tabelas de amostragem e critérios de aceitação/rejeição

Aspectos Normativos de Desempenho e Durabilidade

Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (Tabela 1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
NOTAS: CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido					
Fator de Uso (Kg / MPa)					
CA		13,0	11,2	10,7	9,0
CP		10,4	9,3	9,1	9,0

Determinação do Desvio-Padrão (Sd)

- **Quando não se conhece o sn**

- ▶ **Condição A - Sd = 4,0 MPa – Classes C10 até C80**

- O cimento e os agregados são medidos em massa. A água é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados

- ▶ **Condição B - Sd = 5,5 MPa**

- Classes C10 até C25

- O cimento é medido em massa. A água de amassamento é medida em volume com dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.

- Classes C10 até C20

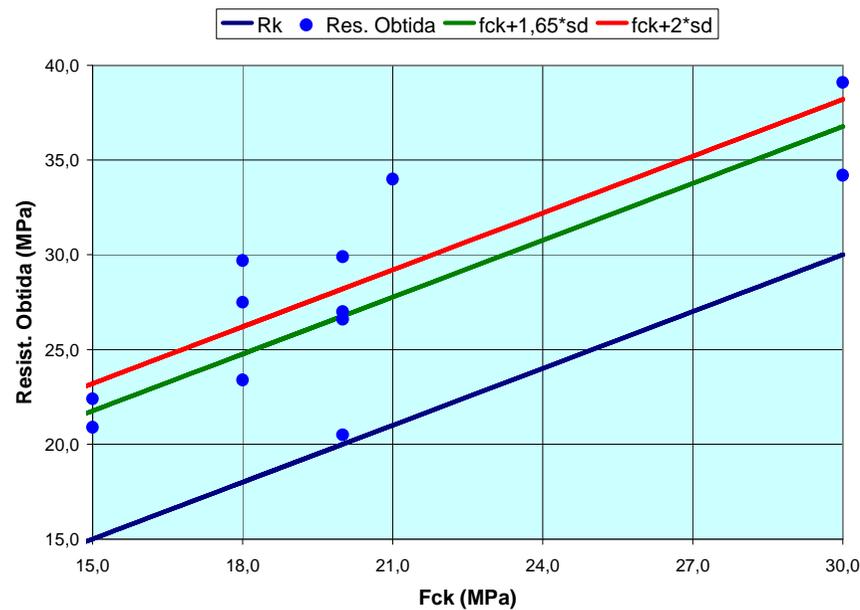
- O cimento é medido em massa, a água de amassamento e os agregados medidos em volume. Umidade três vezes por turno de concretagem. Emprega-se a curva de inchamento dos agregados miúdos para correção de volume.

- ▶ **Condição C - Sd = 7,0 MPa – Classes C10 e C15**

- O cimento é medido em massa, os agregados e a água de amassamento são medidos em volume. O volume de água é corrigida em função da estimativa de umidade dos agregados e da consistência do concreto.

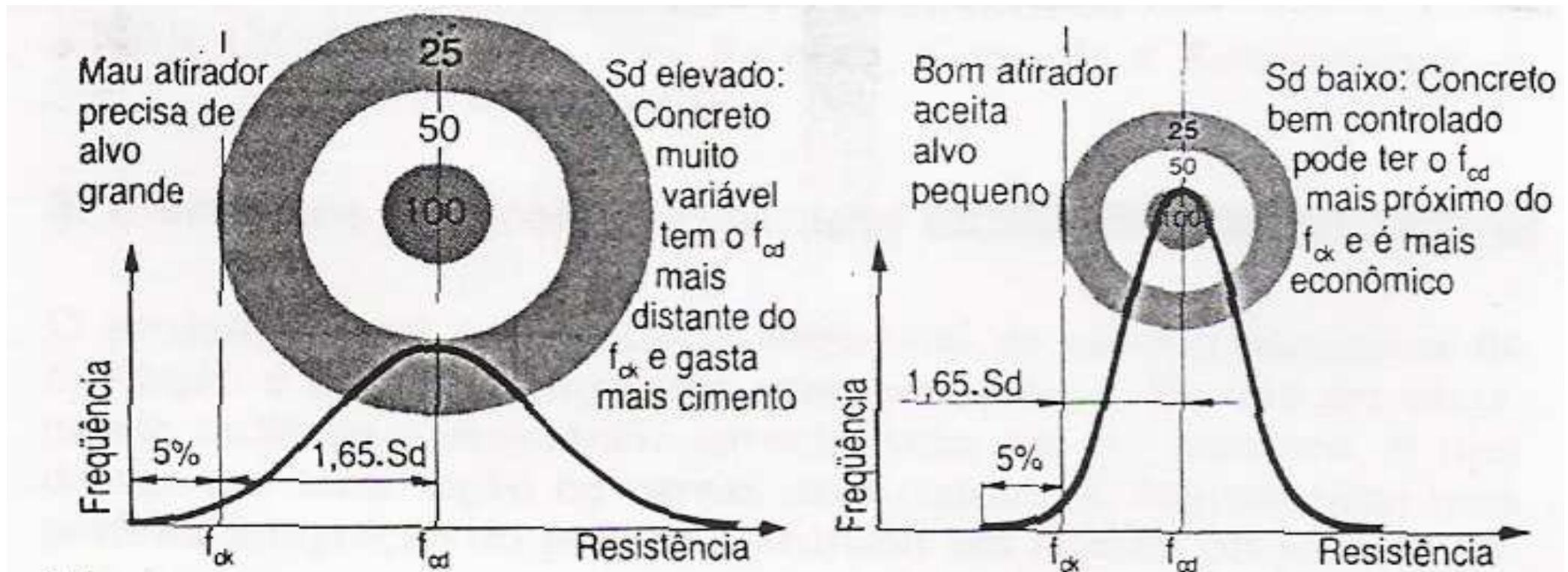
O que é desvio padrão?

- É uma medida de indica quanto os resultados estão variando, ou seja, um desvio padrão alto significa que para um mesmo traço de concreto, podemos ter resultados tanto baixos como altos.
- Quanto menor for o desvio padrão, significa que O CONCRETO está bem “controlado”, e portanto mais confiável.



Cálculo da resistência de dosagem

- Analogia com tiro ao alvo



TANGO(1993)

O que aumenta o desvio padrão?

- **Erros no proporcionamento**
 - ▶ Variações de quantidade de água e cimento
- **Erros de mistura**
 - ▶ Perda de homogeneidade
- **Erros de amostragem**
 - ▶ De onde se retirou a amostra?
 - ▶ Quando se retirou a amostra?
 - ▶ Como se retirou a amostra?
- **Erros no ensaio**
 - ▶ Moldagem
 - ▶ Cura
 - ▶ Capeamento/polimento
 - ▶ Condição de saturação do cp
 - ▶ Calibração da prensa e demais condições de manutenção
 - ▶ Condições ambientais do laboratório

ALERTA IMPORTANTE:

Com tantas fontes de erro, como um estimador matemático, conhecido inicialmente através de resultados nem sempre confiáveis, tem capacidade de proporcionar diagnóstico preciso da origem do insucesso ou mesmo de nos fornecer condições seguras de se avaliar o estado da estrutura?

Adição de água no recebimento do concreto

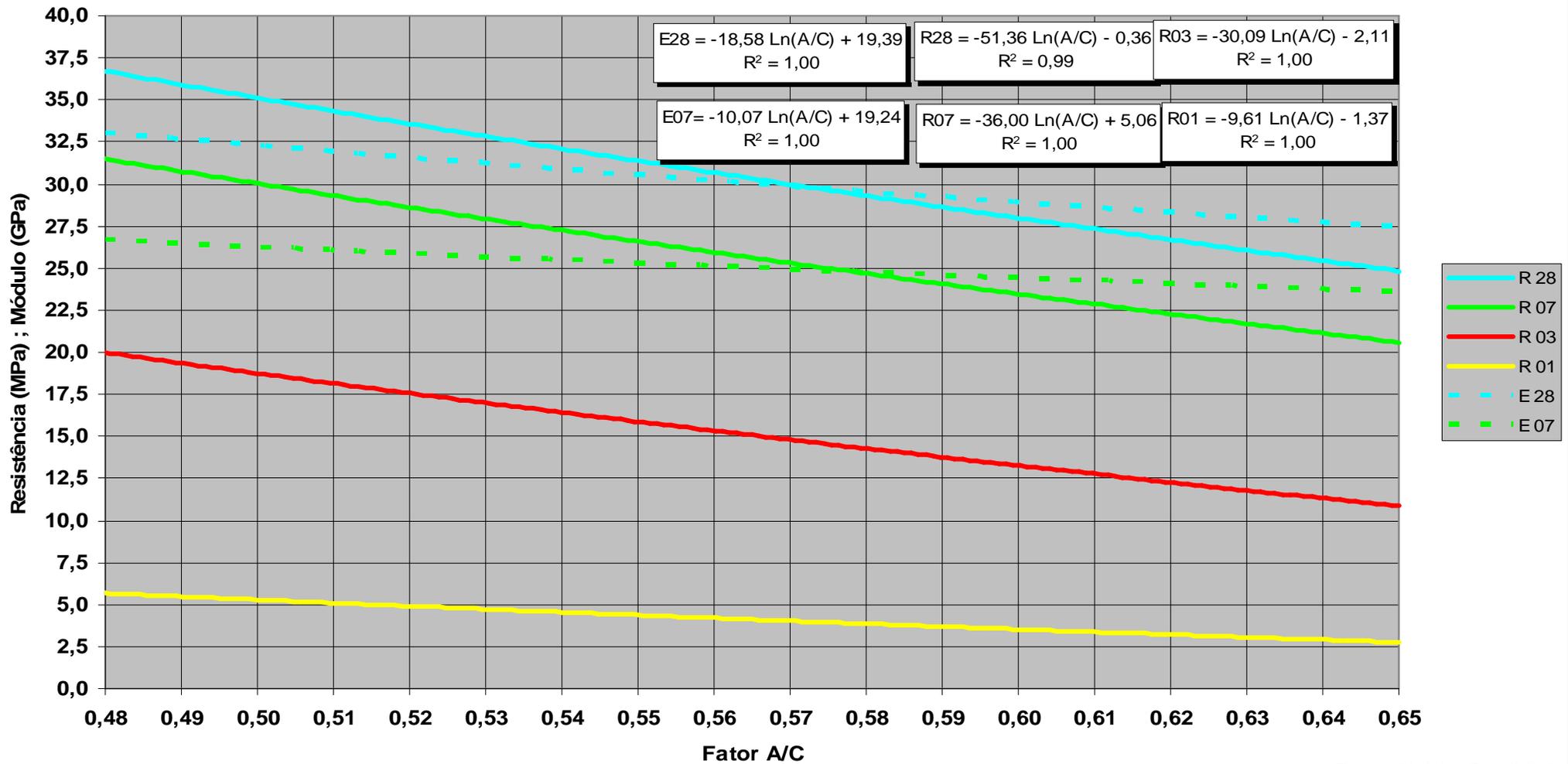
- Para corrigir a perda de água por evaporação no caminho entre a central e a obra
- É permitida adição de água nas seguintes condições:
 - ▶ Deve ser feita ANTES do início da descarga.
 - ▶ O valor do Slump deve ser maior que 1 cm
 - ▶ A correção não aumente o Slump mais do que 2,5 cm
 - ▶ Que o Slump atingido seja inferior ao limite máximo do concreto
 - ▶ Que o tempo entre ele o CB ter saído da central e ter chegado na obra seja superior a 15 minutos

Água de Amassamento: Correção por Evaporação

Volume (m3)	Diferença de Slump (cm) / Adição de Água (litros)				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
1,0		5	5	10	15
1,5		5	10	10	15
2,0		10	10	20	25
2,5	5	10	20	20	30
3,0	5	10	20	20	30
3,5	5	10	20	20	30
4,0	10	20	30	30	45
4,5	10	20	30	30	45
5,0	10	20	30	40	55
5,5	10	20	30	40	55
6,0	10	20	30	40	55
6,5	10	20	40	50	70
7,0	10	30	40	50	70
7,5	10	30	40	60	80
8,0	20	30	50	60	80

Dosagem de Concreto: Curva de Abrams

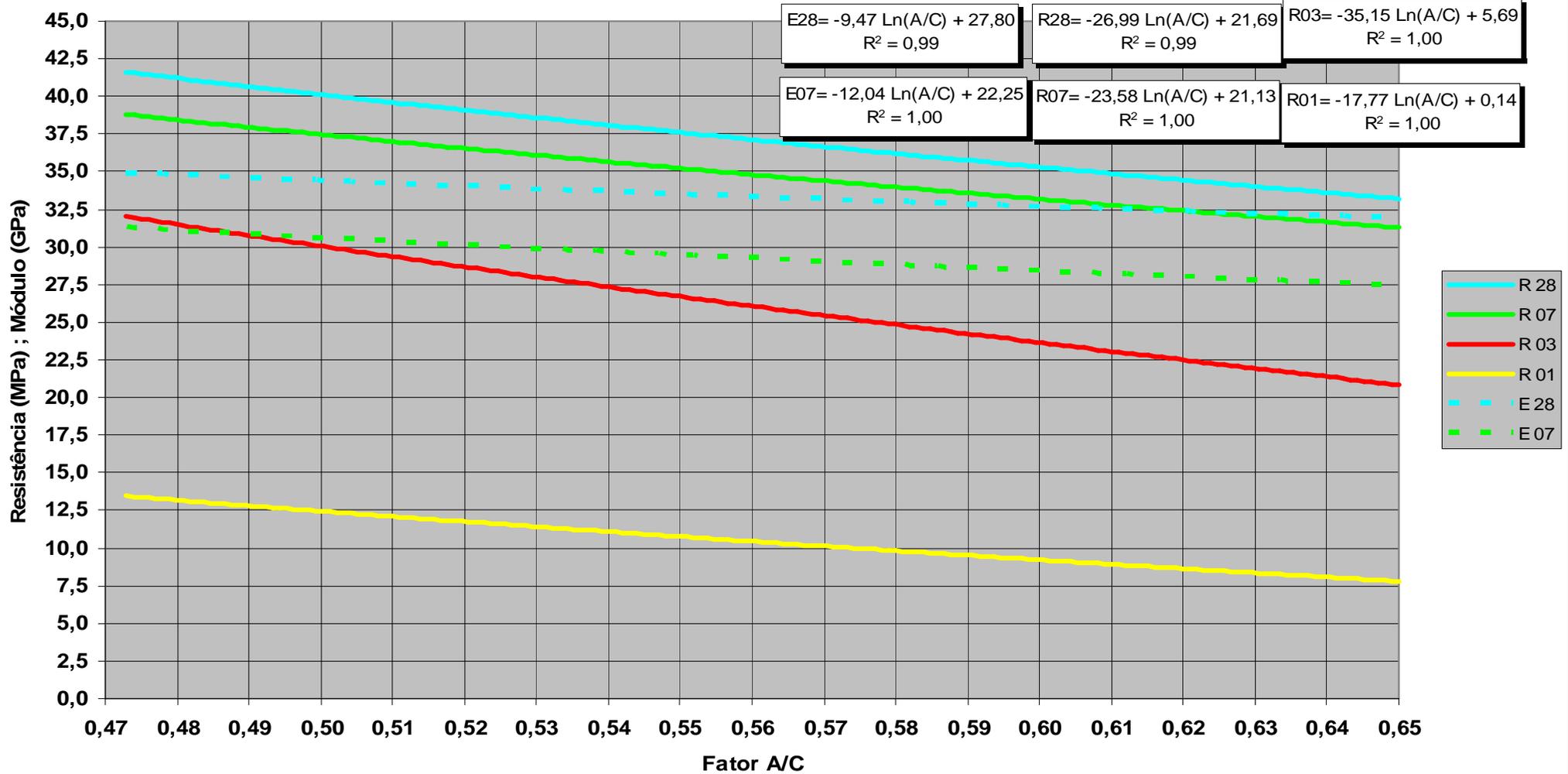
Abrams - Concreto Bombeável - CP III 40 RS - Brita Calcárea



Fonte: Holcim Brasil S.A.

Dosagem de Concreto: Curva de Abrams

Abrams - Concreto Bombeável - CP V Ari RS - Brita Calcárea



Fonte: Holcim Brasil S.A.

Exemplo: $F_{ck} = 25 \text{ MPa}$; $CAA = II$; $CP III$; $Slump = 10 \pm 2$

1) Passo: Cálculo de volume total de agregado

$1.000 - (\text{Volume de água} + \text{Volume de cimento}) = \text{Volume total de agregado}$

$$1.000 - (195 \text{ lts} + 342 \text{ kg} / 2,95) = 689 \text{ lts}$$

2) Passo: Peso total dos agregados

$\text{Volume total de agregado} \times \text{Massa Especifica ponderada} = \text{Peso total dos agregados}$

$$689 \text{ lts} \times 2,70 = 1.860 \text{ kg}$$

3) Passo: Cálculo da argamassa

$(\text{Peso total dos agregados} + \text{Peso do Cimento}) \times (\% \text{ de argamassa}) = \text{Argamassa}$

$$(1.860 \text{ kg} + 342 \text{ kg}) \times (54,5\%) = 1.200 \text{ kg}$$

4) Passo: Agregado miúdo

$\text{Argamassa} - \text{Peso do Cimento} = \text{Peso do agregado miúdo}$

$$1.200 \text{ kg} - 342 \text{ kg} = 858 \text{ kg}$$

5) Passo: Agregado graúdo

$\text{Peso total dos agregados} - \text{Peso do agregado miúdo} = \text{Peso do agregado graúdo}$

$$1.860 \text{ kg} - 858 \text{ kg} = 1002 \text{ kg}$$

Recebimento de concreto: procedimentos para Slump Test



Procedimento para Slump Test “na obra”

Objetivo do teste de Slump:

- **Avaliar se foi adicionada a quantidade de água correta ao concreto para que seja atingida a trabalhabilidade e a resistência desejadas.**



Procedimento para Slump Test “na obra”



- Providencie um carrinho de mão na obra.
- Depois que a betoneira descarregar $\pm 0,5 \text{ m}^3$ de concreto, coleta-se uma amostra de, no mínimo, 30 litros
- São realizados a limpeza e o umedecimento do cone e da placa metálica
- A placa metálica que servirá de apoio deverá estar bem nivelada
- Posiciona-se o cone (a base maior para baixo) sobre a placa metálica e o profissional que está realizando o “slump test” apoia seus pés sobre as abas inferiores do cone.

Procedimento para Slump Test “na obra”

O cone deverá ser preenchido com 3 camadas de alturas iguais.



Procedimento para Slump Test “na obra”



- São aplicados 25 golpes com a haste de socamento na 1ª camada
- A haste deve penetrar em toda a 1ª camada, atingindo sempre a parte inferior do cone
- O cone deverá ser preenchido com a 2ª camada de amostra do concreto
- A 2ª camada deve ser adensada com 25 golpes. A haste do adensamento deve atingir somente a 2ª camada, sem penetrar na 1ª camada (que já foi adensada anteriormente).

Procedimento para Slump Test “na obra”



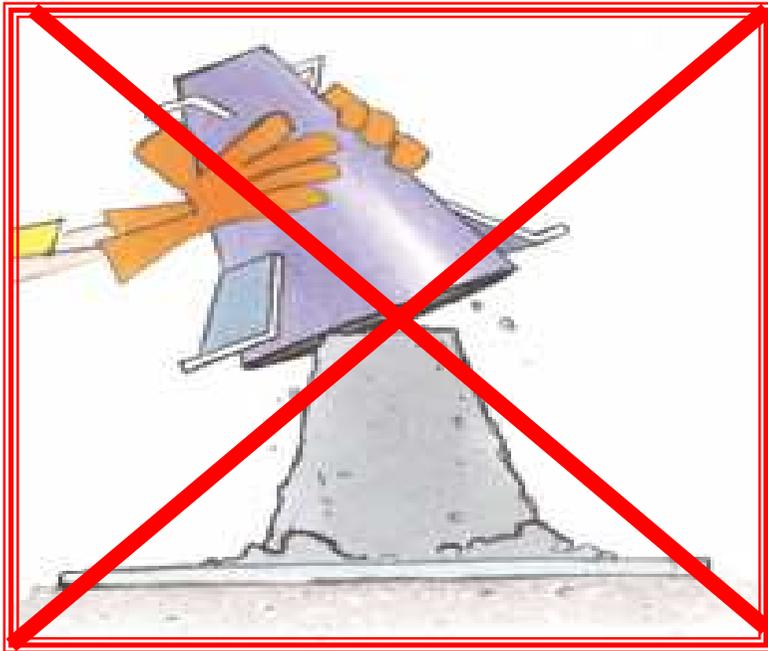
- **Todo o procedimento é repetido para a 3ª camada de amostra do concreto (a 3ª camada deve ser adensada com 25 golpes. A haste do adensamento deve atingir somente a 3ª camada, sem penetrar na 2ª camada).**

Procedimento para Slump Test “na obra”



- Após a compactação da 3ª camada, o excesso de concreto é retirado e a superfície é alisada com a régua

Procedimento para Slump Test “na obra”



O cone deve ser
retirado
CUIDADOSAMENTE

Procedimento para Slump Test “na obra”

A haste é colocada sobre o cone e mede-se a distância entre a haste e o ponto médio do concreto. O valor obtido deve ser anotado na ficha de moldagem.



Procedimento de Moldagem de Corpo de Prova

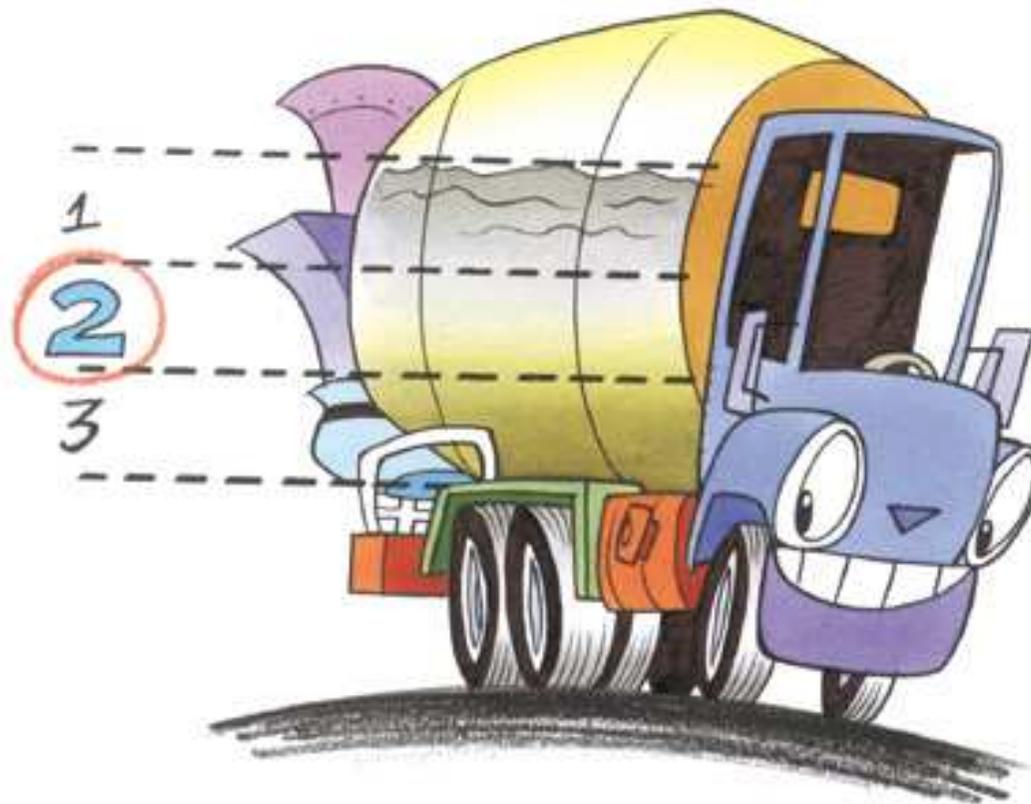
Objetivo do Teste:

- Saber se o concreto atingiu a resistência pedida pelo projetista / cliente.



Procedimento de Moldagem de Corpo de Prova

A amostra deve ser colhida depois que a terça parte da carga da betoneira tiver sido descarregada



Procedimento de Moldagem de Corpo de Prova



São coletados pelo menos 30 litros de amostra no carrinho de mão

Moldagem de Corpo de Prova de 15 x 30 cm



A base deve estar nivelada e as fôrmas limpas

Os moldes cilíndricos serão preenchidos com 3 camadas iguais e sucessivas

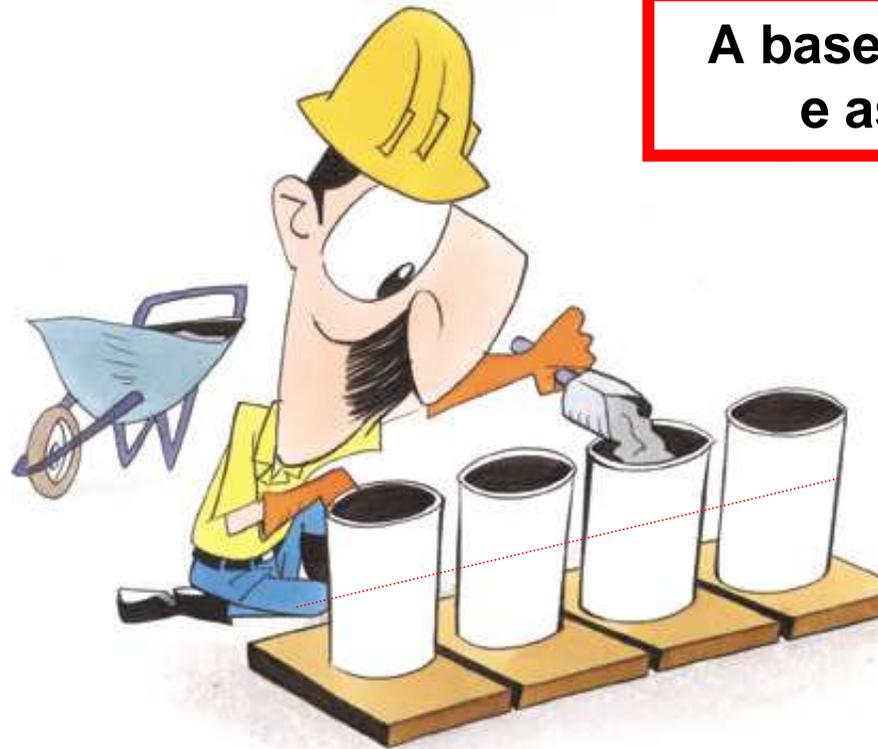
Moldagem de Corpo de Prova de 15 x 30 cm



Em cada camada, são aplicados 25 golpes com a haste. Estes golpes são aplicados da maneira mais uniforme possível

Ao aplicar cada camada, deve-se fazer o adensamento com a haste somente nesta camada.

Moldagem de Corpo de Prova de 10 x 20 cm



**A base deve estar nivelada
e as fôrmas limpas**

**Os moldes cilíndricos serão preenchidos com 2 camadas iguais e
sucessivas**

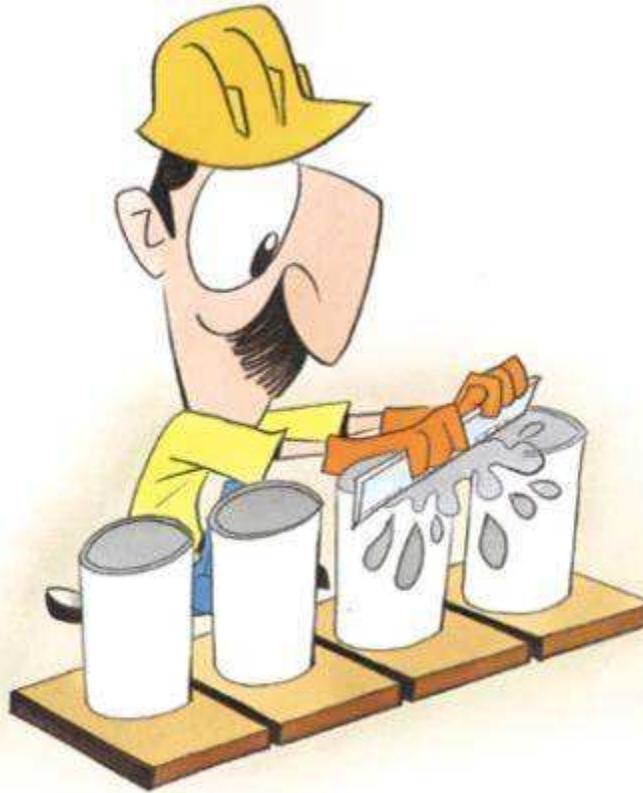
Moldagem de Corpo de Prova de 10 x 20 cm



Em cada camada, são aplicados 12 golpes com a haste. Estes golpes são aplicados da maneira mais uniforme possível

Ao aplicar cada camada, deve-se fazer o adensamento com a haste somente nesta camada.

Moldagem de Corpo de Prova de 10 x 20 cm



Ao aplicar a última camada, o excesso de concreto é retirado com uma régua

Armazenamento do Corpo de Prova



Os corpos-de-prova ficam descansando nos moldes por 24 horas, em temperatura ambiente, protegidos da ação direta do sol e chuva e devem ficar imóveis neste período

Armazenamento do Corpo de Prova



ARMAZENAMENTO INCORRETO: CERTEZA DE RESULTADOS BAIXOS

Controle de Qualidade: Cura dos Corpos de Prova



Até a idade de ensaio, os corpos de prova devem ser mantidos em cura úmida ou saturada.

Controle de Qualidade: Descarte de Cp's



Falta de critérios para moldagem de CP
compromete sua qualidade e interfere nos resultados

Capeamento dos Corpos de Prova



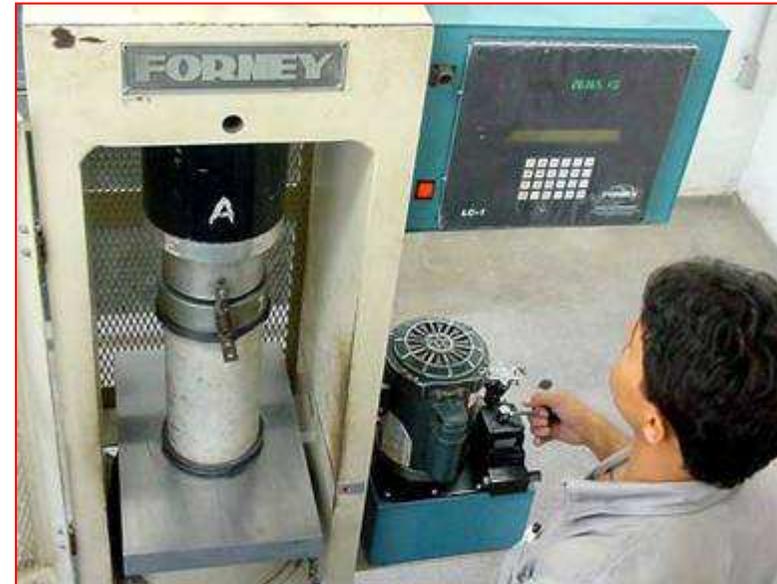
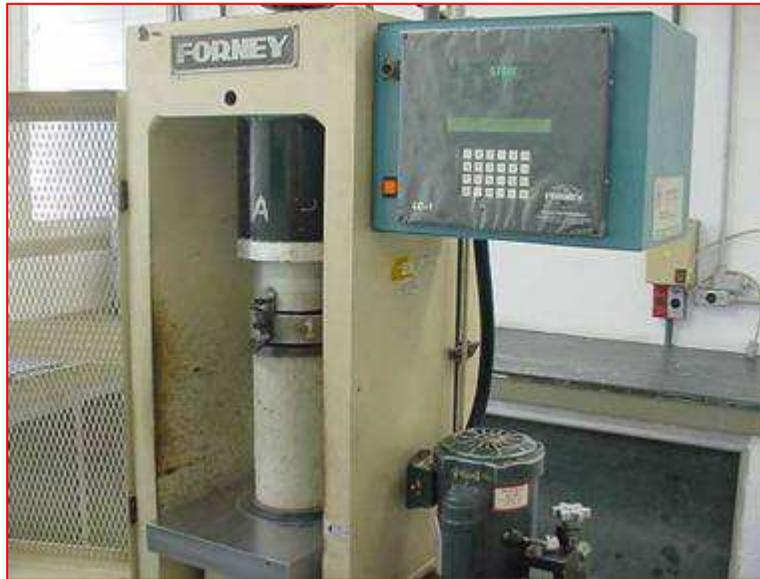
**Mistura de enxofre para capeamento
67,5% de enxofre + 32,5% de filler inerte**

Capeamento dos Corpos de Prova



Pode-se optar por capeamento antecipado dos corpos de prova.

Controle de Qualidade: Rompimento de CP's



A carga de ensaio é controlada eletronicamente aplicada continuamente e sem choques (0,3 a 0,8 MPa/s).

A carga de ruptura é atingida quando o recuo do ponteiro de carga for em torno de 10% da carga máxima alcançada.

Controle de Qualidade: Rompimento de CP's



Tração à Flexão: a carga de ensaio é controlada eletronicamente.



Delegacia Regional BH

Controle Tecnológico do concreto: Análise de Resultados

Definição do lote a julgar

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem ⁽¹⁾	

1) Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de 7 dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

Concreto: Tipos de Controle

- Controle estatístico do concreto por amostragem parcial:
 - ▶ Para este tipo de controle, em que são retirados exemplares de algumas betonadas de concreto, as amostras devem ser de, no mínimo, seis exemplares para os concretos do Grupo I (classes até C50, inclusive) e doze exemplares para os concretos do Grupo II (classes superiores a C50)
- Controle estatístico do concreto por amostragem total:
 - ▶ Consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto
 - ▶ Não há limitação para o número de exemplares do lote.

Concreto: Tipos de Controle NBR 12655

- **Amostragem parcial (lotes: $6 \leq n < 20$)**

$$f_{ck,est} = 2 * \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m$$

$f_{ck,est}$ = resistência característica estimada

f_1, f_2, \dots, f_m = resistência dos exemplares, em ordem crescente

$m = n/2$ (despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar)

- **Amostragem parcial (lotes: $n \geq 20$)**

$$f_{ckest} = f_{cm} - 1,65 sd$$

f_{cm} = é a resistência média dos exemplares do lote, em megapascal

Sd = é o desvio-padrão do lote para $n - 1$ resultados, em megapascal

Controle do concreto por amostragem total (100%)

- Neste caso não há limitação para o número de exemplares do lote e o valor f_{ckest} é dado por:

$$\text{para } n \leq 20, f_{ckest} = f_1$$

$$\text{para } n > 20, f_{ckest} = f_i$$

f_1 = valor mais baixo, ordem crescente, para n exemplares

$i = 0,05n$. Quando o valor de i for fracionário, adota-se o número inteiro imediatamente superior;

n = número de exemplares

Casos excepcionais

- Pode-se dividir a estrutura em lotes correspondentes a, no máximo, 10 m³ e amostrá-los com número de exemplares entre 2 e 5. Nestes casos, denominados excepcionais, o valor estimado da resistência característica é dado por:

$$f_{ckest} = \Psi_6 f_1$$

onde:

f_1 = valor mais baixo, ordem crescente, para n exemplares

Ψ_6 = dado pela tabela abaixo, para os números de exemplares de 2 a 5.

Condição	n=2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

Aceitação do concreto

- Os lotes de concreto devem ser aceitos, quando o valor estimado da resistência característica satisfazer a relação:

$$F_{ck,est} \geq F_{ck}$$

Fundamental:

Fazer controle!





CAD – Concreto de Alto Desempenho

Conceito CAR x CAD

Co-relação entre CAR e CAD

- **CAR :**
 - Maior resistência à compressão.

- **CAD :**
 - Maior resistência à compressão,
 - Fluidez mais elevada,
 - Módulo de elasticidade mais alto,
 - Maior resistência à flexão,
 - Menor permeabilidade,
 - Melhor resistência à abrasão,
 - Maior durabilidade.

Classes de CAD

Resistência à Compressão (MPa) *	$50 < F_{cj} \leq 75$	$75 < F_{cj} \leq 100$	$100 < F_{cj} \leq 125$	$125 < F_{cj} \leq 150$	$F_{cj} > 150$
Classe de CAD	I	II	III	IV	V

* Resultados médios para 28 dias, com CP's cilíndricos de 10 x 20 cm, com cura normal

Aplicação em concretos de performance SUPERIOR

Novas exigências comportamentais das estruturas

- Durabilidade
- Necessidade de peças esbeltas
- Projetos compatibilizados entre:
resistência x dimensionamento x durabilidade
- Evolução contínua dos materiais constituintes do concreto

Contribuição para obtenção de DURABILIDADE

- Microestrutura do concreto mais homogênea
- Maior resistência química da pasta hidratada
- Menor retração:
 - ▶ Consumo de cimento compatibilizado para maiores resistências
 - ▶ Baixo calor de hidratação
- Maior desenvolvimento das resistências em todas as idades

Fatores que influenciam a **DURABILIDADE** das estruturas

- **FATORES FÍSICOS:**

- ▶ Desgaste superficial: abrasão, erosão e cavitação
- ▶ Fissuração
 - Mudanças de volume
 - Carga estrutural
 - Exposição à extremos de temperatura

- **FATORES QUÍMICOS:**

- ▶ Fluido agressivo provocando troca de íons na pasta de cimento
- ▶ Hidrólise e lixiviação de produtos da pasta de cimento
- ▶ Formação de produtos expansivos

Permeabilidade do concreto atua como acelerador do processo de degradação

Fatores que influenciam a **PERMEABILIDADE** do concreto

- Relação água / aglomerante
- Teor total de água no concreto
- Níveis de fissuração
- Resistência química do concreto ao ataque por agentes agressivos (sulfatos, reações álcali-agregado,etc)
- Cura
- Tempo de hidratação

Concreto de qualidade superior – concreto mais impermeável possível com a maior resistência química possível.

Principais características do cimento para CAD

- Microestrutura do concreto mais homogênea
- Maior resistência à compressão em todas as idades
- Menor retração
- Baixo calor de hidratação
- Curva granulométrica mais homogênea
- Menor índice de “vazios”
- Adequados ao tipo de ambiente ao qual a estrutura estará exposta
- Evitar ações deletérias ao concreto (RAA)

Qual a importância na escolha dos agregados ?

- A seleção de agregados deve ser feita cuidadosamente porque, à medida que a resistência à compressão projetada aumenta, os agregados podem se tornar o elo mais fraco, onde a ruptura será iniciada.
- É necessário um controle mais rigoroso da qualidade do agregado com relação à granulometria e ao tamanho máximo, uma vez que é de suma importância a manutenção da demanda de água tão baixa quanto possível.
- Devem ser observadas diferenças entre o coeficiente de dilatação térmica da pasta e agregado para se evitar fissurações.

Agregados miúdos para CAD

- Agregados miúdos devem demandar a menor quantidade possível de água sem comprometer plasticidade e fluidez
- Preferir areia mais grossa (módulo de finura de 2,7 a 3,0) devido existência de finos no material cimentício
- São preferíveis areias de grãos arredondados
- Areia deve ser limpa e livre de argila e silte

Agregados graúdos para CAD

- Devem apresentar elevada resistência à compressão, baixo índice de abrasão Los Angeles, baixo índice de materiais friáveis e boa aderência à pasta de cimento
- Devem ser sãos e não-reativos com os álcalis do cimento
- Dimensão máxima característica de 25 mm, reduzindo os efeitos negativos da zona de transição pasta/agregado
- Deve-se evitar cascalhos devido superfície lisa (ação polidora das partículas de silte e areia) e nem sempre limpa (fina camada de argila ou silte): aumento na demanda de água e diminuição de aderência com a pasta de argamassa
- Preferir agregados de forma cúbica. Partículas lamelares e alongadas devem ser evitadas pois são fracas e tendem a produzir misturas ásperas exigindo água adicional ou maior teor de aditivos.

Principais adições:

- **Sílica Ativa:** sub-produto da fabricação do silício metálico. Seus grãos são cerca de cem vezes menores que os do cimento e preenchem os espaços vazios existentes na zona de transição entre cimento e agregado.
- **Cinza Volante:** são partículas pequenas coletadas pelos sistemas antipó das usinas termoelétricas. São muito variáveis e menos reativas. Possui atividade pozolânica.
- **Escória de alto forno:** sub-produto da fabricação do ferro gusa. Possui atividade pozolânica.
- **Metacaulim:** constituído principalmente por compostos à base de sílica e alumina na fase amorfa, proporcionando alta reatividade com o hidróxido de cálcio presente no concreto e resultante dos compostos do cimento.

Atividade Pozolânica: Pozolana + Cal + Água → Silicato de cálcio hidratado

Conclusões:

- A produção do CAD não é uma operação ao acaso, mas um processo que envolve rigorosa seleção dos melhores materiais disponíveis numa região e o estabelecimento de programas que assegurem a otimização da qualidade destes materiais.
- A produção de CAD exige :
 - ▶ um agregado muito resistente, limpo, áspero e cúbico,
 - ▶ um cimento com desempenho notavelmente bom, tanto reologicamente como em termos de resistência,
 - ▶ materiais cimentícios suplementares para reduzir custo do concreto e permeabilidade e fornecer respostas rápidas para perda de trabalhabilidade,
 - ▶ excelente base química (superplastificantes),
 - ▶ controle tecnológico para garantir as características do concreto.



CAC – Concreto Auto-Compactante

Conceito: CAA x CAC

▪ Concreto Auto-Adensável

- Flow de 45 a 60 cm
- Produzidos com superplastificantes adicionados na planta
- Pode necessitar de *mínima* vibração
- Normalmente não segrega
- Produzido com **ALTOS** teores de finos

▪ Concreto Auto-Compactante

- Flow de até 75 cm
- Reologia controlada com superplastificantes e VMA
- Menos sensível às variações dos materiais
- Estabilidade assegurada
- Não necessita de vibração
- Muito coesivo
- Durabilidade estrutural

Concreto Auto-Compactante

VANTAGENS PARA CONSTRUTORES

- Não requer vibração
- Maior velocidade de lançamento
- Menor trabalho de acabamento especialmente em lajes (sem contra-piso)
- Equipamentos por menos tempo na obra
- Problemas com armaduras congestionadas se reduzem
- Superfícies de concreto mais homogêneas se traduzem em redução de custos (não apresenta falhas ou vazios por segregação)
- Adequado para pequenos e grandes trabalhos de reparos
- Drástica redução de ruído

Concreto Auto-Compactante

VANTAGENS PARA CONCRETEIRAS

- Diferenciação da concorrência
- Maior produtividade dos caminhões betoneiras
- Facilidade no bombeamento (menor manutenção das bombas)
- Aumento de vida útil dos equipamentos



Concreto Auto-Compactante

VANTAGENS PARA INDÚSTRIAS DE PRÉ-FABRICADOS

- Maior velocidade de concretagem com maior capacidade de produção
- Produção de elementos mais esbeltos e de formas difíceis
- Processo de produção mais rápido e econômico (lajes e paredes podem ser produzidos numa só etapa)
- Superfícies mais homogêneas
- Aumento da durabilidade dos elementos produzidos (> impermeabilidade)
- Elementos com armações congestionadas podem ser moldados facilmente
- Redução de custos de operação por eliminação de vibradores e sua manutenção
- Em plantas novas não se requer investimentos em equipamentos de vibração
- Drástica redução de ruído

Concreto Auto-Compactante

VANTAGENS PARA PROJETISTAS

- Estruturas com alta precisão nos detalhes arquitetônicos
- Incremento na durabilidade da estrutura :
 - ▶ Sem danos por segregação ou por defeitos causados por vibração
 - ▶ Recobrimento homogêneo
 - ▶ REDUÇÃO de permeabilidade
- Elementos e estruturas podem ser produzidos economicamente
 - ▶ Maior esbeltez
 - ▶ Maior resistência à compressão
 - ▶ Maior módulo de deformação

Concreto Auto-Compactante: cuidados!!

- A relação a/c deve ser mantida dentro dos limites requeridos, já que a água afeta a qualidade do concreto endurecido (resistência, porosidade, permeabilidade e durabilidade) e para evitar segregação.
- A alta superfície específica das misturas de Concreto Auto-Compactante requer aditivos muito poderosos para alcançar a trabalhabilidade requerida, bem como manter uma adequada coesão e homogeneidade



Principais Utilizações do CAC usinado.

Estágio Atual:

- **Utilização do Concreto CAC em Obras Moldadas “*In Loco*” restringe-se a confecção de peças estruturais onde não se aplica concretos Bombeados normais.**
 - ▶ Local com armadura densa;
 - ▶ Tubulação extensa;
 - ▶ Difícil acesso a vibração;
- **O potencial de utilização do CAC.**
 - ▶ Todas as etapas das obra.



Principais dificuldades no uso do CAC.

- **Falta sincronismo entre a tecnologia de concreto com o desenvolvimento do empreendimento na etapa de projeto:**
 - ▶ Projeto Estrutural;
 - ▶ Projeto de Formas;
 - ▶ Logística de aplicação;
 - ▶ Disponibilidade de Matéria prima;

- **Manutenção Restrita da Trabalhabilidade;**

- **Mão de obra qualificada;**



Comercial – Custos

- **O CAC deve ser analisado na etapa de projeto;**
 - Redução Altura de Viga
 - Redução Seção e Número de pilares
 - Redução Cronograma de execução da estrutura, etc...

- **O CAC deve ser analisado como solução técnica sempre que forem encontradas dificuldades no uso do concreto convencional / bombeável.**

- **O não desenvolvimento do planejamento para o uso do CAC eleva seu custo, limitando sua utilização.**

Controle de Qualidade - Laboratório

- **O controle de qualidade do Concreto CAC requer :**
 - ▶ Verificação da capacidade de transporte da brita durante seu estado fluído;
 - ▶ Dosagem correta do aditivo policarboxilato para que não ocorra segregação;
 - ▶ Liberação rápida do caminhão betoneira.

- **Ensaio para CAC:**
 - ▶ CAIXA L;
 - ▶ CAIXA U;
 - ▶ SLUMP FLOW;
 - ▶ FUNIL V;
 - ▶ J RING - ENTRE OUTROS.



Controle de Qualidade “In Situ”

- **Falhas na determinação das características resultam em:**
 - ▶ Entupimento da bomba;
 - ▶ Falta de homogeneidade do concreto e da estrutura;
 - ▶ Fissuração por retração;
 - ▶ Bicheiras;
 - ▶ Insatisfação do Cliente
- **O concreto CAC encontra-se no limite de segregação dos materiais, por este motivo a determinação correta da fluidez é fundamental para o sucesso da aplicação.**





Concretos especiais:

Concreto de Alto Desempenho
Cidade Administrativa - MG

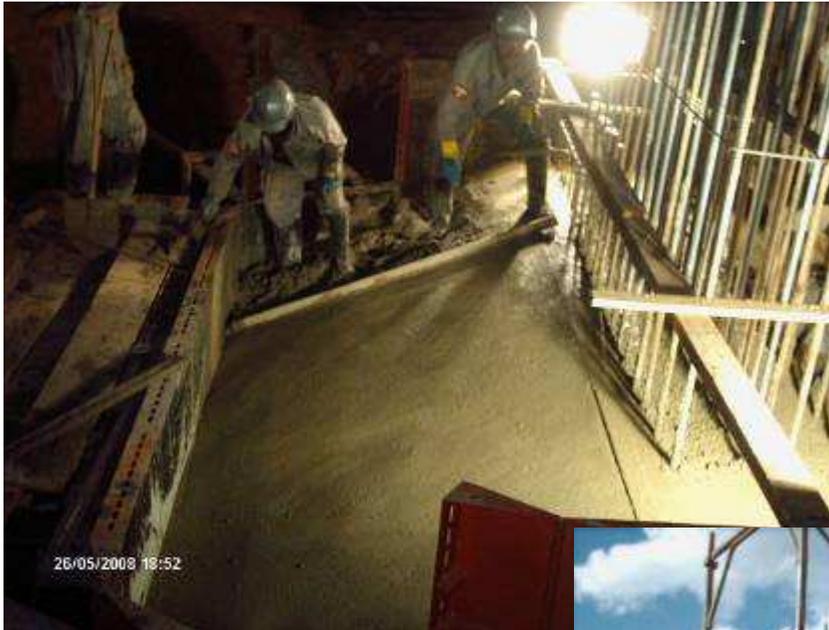
Características do Concreto

- Solução Tecnológica Holcim: como a maioria dos elementos estruturais era dimensionada para concreto protendido e com elevada taxa de armação, a Holcim desenvolveu vários concretos especiais, com alta resistência inicial e elevada fluidez.
- Especificações dos concretos:
 - ▶ **Para estruturas de Fundações:**
 - $F_{ck} = 25 \text{ MPa}$; $A/C = 0,55$; $C \geq 350 \text{ Kg / m}^3 \rightarrow R_{28} = 40 \text{ MPa}$
 - ▶ **Para Lajes, Vigas e Paredes:**
 - $F_{ck} = 35 \text{ MPa}$; $E_3 = 25 \text{ GPa}$; $A/C = 0,50$; $C \geq 360 \text{ Kg / m}^3 \rightarrow E_3 = 35 \text{ GPa}$; $R_{28} = 50 \text{ MPa}$
 - ▶ **Para Pilares até nível + 17,75 m:**
 - $F_{ck} = 50 \text{ MPa}$; $A/C = 0,45$; $C \geq 400 \text{ Kg / m}^3 \rightarrow R_{28} = 60 \text{ MPa}$
 - ▶ **Para Pilares acima do nível + 17,75 m:**
 - $F_{ck} = 35 \text{ MPa}$; $A/C = 0,50$; $C \geq 360 \text{ Kg / m}^3 \rightarrow R_{28} = 50 \text{ MPa}$

Concretos Especiais: CAD – CA (Holcim)



Concretos Especiais: CAD – CA (Holcim)



Concretos Especiais: CAD – CA (Holcim)



Concretos Especiais: CAD – CA (Holcim)





Delegacia Regional BH

Concretos especiais:

**Concreto Auto-compactante para Empenas
Cidade Administrativa - MG**

Informações Técnicas:

- O que são empenas?
 - ▶ São lajes verticais, nas bordas dos prédios do Centro Administrativo, com 25 m de largura, mais de 80 m de altura e espessura de 15 cm.



Informações:

- Para o perfeito preenchimento de toda a fôrma, sem o surgimento de brocas, uma vez que o concreto não poderia sofrer nenhuma intervenção posterior, o cliente (Codemig – Consórcio OAS / Queiróz Galvão / CNO) especificou um concreto extremamente fluido e com adição de elevado teor de fibras de polipropileno, para minimizar efeitos de retração e maximizar proteção contra fogo;
- O concreto (500 m³) deveria apresentar elevada fluidez (flow > 75 cm) e coesão compatível com bombeamento, levando-se em consideração as características de altura de lançamento (panos de 8 m), pequena espessura da peça (15 cm), alta taxa de armação e a largura de concretagem (25 m), com somente um ponto de lançamento;
- Ou seja, o concreto deveria “caminhar” por cerca de 25 m, sem nenhum ponto de vibração e apresentar reologia própria para este tipo de aplicação (concreto auto-compactante);
- A adição de 1,6 Kg / m³ de fibras de polipropileno, reduzia a trabalhabilidade do concreto, impedindo o total preenchimento das fôrmas;
- Estudos de dosagem (153 traços) realizados pela equipe de Assessoria Técnica MG da Holcim, no Laboratório de Concreto em Pedro Leopoldo.

Concretos Especiais: CAC Empenas – CA (Holcim)

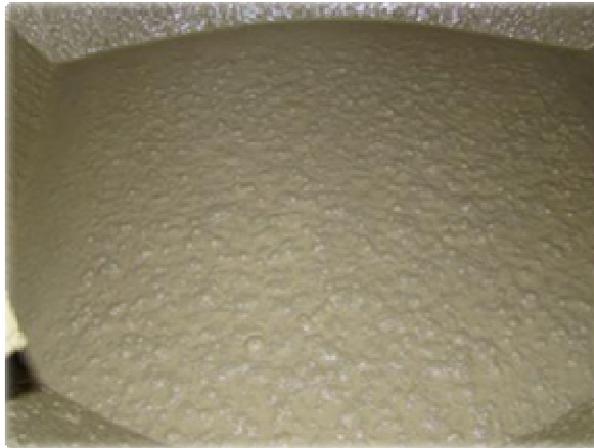
■ Informações Técnicas:

- ▶ $F_{ck} = 35 \text{ MPa}$
- ▶ $A/C = 0,50$
- ▶ Cimento: Duracem ($490 \text{ Kg} / \text{m}^3$)
- ▶ Aditivos: Basf Glenium 51 ($5,88 \text{ L} / \text{m}^3$)
- ▶ Fibra de Polipropileno = $1,6 \text{ Kg} / \text{m}^3$

■ Resultados:

- ▶ Fluidez (funil V): 10,1 s
- ▶ Fluidez (funil V, após 5 min de repouso): 9,8 s
- ▶ Flow: 78 x 76 cm
- ▶ M.E. = $2,871 \text{ Kg} / \text{m}^3$
- ▶ Resistência 1 dia = 25 MPa
- ▶ Resistência 28 dias = 55 MPa
- ▶ Módulo 3 dias = 35 GPa

Concretos Especiais: CAC Empenas – CA (Holcim)



Concretos Especiais: CAC Empenas – CA (Holcim)





Delegacia Regional BH

Concretos especiais:

Concreto Auto-compactante e Submerso

Recuperação do Pier II – Porto Tubarão – Vitória - ES

Desafio

- Bombeamento de Concreto para as estacas do bloco do Pier II, no Porto Tubarão – Vitória – ES, à uma distância média de 450 metros e máxima de 487 metros da margem.
- Lançar nas estacas um concreto de resistência característica de 40,0 MPa, com propriedades de auto-adensamento, coesão, homogeneidade, resistente à ambiente agressivo, com temperatura e hidratação controladas, com consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³.
- Resultados: $R_1 = 13 \text{ MPa}$; $R_{28} = 50 \text{ MPa}$

Foto de Satélite



Dados da obra: 24 estacas de 44 m³ cada, sendo a primeira distante 448,2m e a última a 487m e 2 blocos de 250m³ cada um.

Local da recuperação



Estacas



Bloco do Dolfim

Slump Test na obra



Argamassa para lubrificação da tubulação: slump 23 cm.



Concreto: O slump inicial de 4,5 cm se mostrou mais eficiente.



Concreto: O slump-flow 65cm como definido em laboratório.

Medida de fluidez e resist. a segregação no laboratório



V-Funnel
(resistência à segregação)

Fotos da Obra



Estudo de Perda de Trabalhabilidade

tempo (min.)	horário	abatim. (cm)	umid. rel. ar (%)	temp amb. (°C)	temp concreto (°C)
t_0	10:24	4,0	58,0%	23,6	17,6
15	10:39	3,5	56,0%	24,3	19,7
30	10:54	3,0	55,0%	24,4	21,1
45	11:09	65,5	56,0%	24,6	22,8
60	11:24	63,0	56,0%	24,6	23,0
75	11:39	60,0	56,0%	24,4	23,7

Teste de Resistência à Segregação (V-Funnel)

Tempo Inicial: **11,7s**

Após 5 minutos: **13,1s**

Adequado.

Traço Utilizado

mcc	descrição / fornecedor	quantidade p/ 1000 litros	unid
cimento	CPIII-40 RS HOLCIM	400	kg
adt. a	DURACEM HOLCIM	70,6	kg
areia 1	SAARA	943	kg
brita 0	BRASITÁLIA	819	kg
água	ÁGUA DA REDE PÚBLICA	78	lts
adt.1	TEC-MULT 499 (Multifuncional)	1412	ml
adt.2	GLENIUM 218 (Policarboxilato)	1647	ml
adt.3	REOMAC VMA 358 (Modificador de Viscosidade)	941	ml
adt. X	GELO	100	kg
adt. y	DELVO STABILIZER (Estabilizador de Hidratação)	941	ml



Concretos especiais:

Falhas nas Aplicações: Especificação e Logística

Aplicação inadequada: logística e descarga



Má Especificação do CAC



Agradecimentos:

- **ABECE – Delegacia Regional BH**

- ▶ Eng. Eduardo Fonseca
- ▶ Associados



- **Holcim (Brasil) S.A**

- ▶ Eng. Sérgio Luis Alvim
- ▶ Eng. Fabrício Carlos França
- ▶ Equipe Assessoria Técnica MG

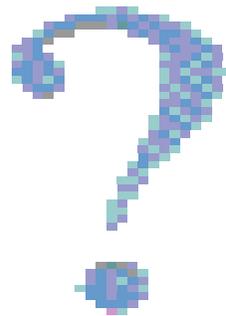


ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE
ENGENHARIA E
CONSULTORIA
ESTRUTURAL



Delegacia Regional BH

Dúvidas / Debates



Eng. Flávio R. P. Capuruço
Tel: (31) 9949-6911
E-mail: flaviorenato@msn.com
