

ABCIC ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO
INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO

CURSO
COMO AVALIAR A QUALIDADE DAS ESTRUTURAS
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO.

O CONTROLE TECNOLÓGICO DE CONCRETO APLICADO
AS ESTRUTURAS PRÉ MOLDADAS
DE CONCRETO.

SÃO PAULO, 23 DE AGOSTO DE 2017

Eng.º Luís A. Borin.



Falcão Bauer

Centro Tecnológico de Controle da Qualidade

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO, CONFORME NBR 12655.

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

Pátio de Agregados



AGREGADOS MIÚDOS

- granulometria
- massa específica e unitária
- teor de partículas
- umidade superficial



AGREGADOS GRAÚDOS

- granulometria
- massa específica e unitária
- material pulverulento
- teor de torrões de argila
- abrasão Los Angeles
- coeficiente de forma
- teor de partículas leves



ÁGUA DE AMASSAMENTO

- matéria orgânica
- resíduo sólido
- sulfatos
- cloretos
- açúcar
- ph



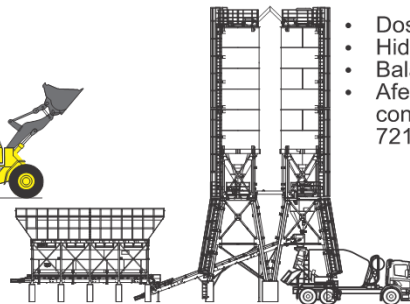
CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO, CONFORME NBR 12655.

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

Pátio de Agregados



CENTRAL DOSADORA



- Dosador
- Hidrômetro
- Balanças
- Aferições trimestrais conforme a NBR 7212

AGREGADOS MIÚDOS

- granulometria
- massa específica e unitária
- teor de partículas
- umidade superficial



AGREGADOS GRAÚDOS

- granulometria
- massa específica e unitária
- material pulverulento
- teor de torrões de argila
- abrasão Los Angeles
- coeficiente de forma
- teor de partículas leves



ÁGUA DE AMASSAMENTO

- matéria orgânica
- resíduo sólido
- sulfatos
- cloretos
- açúcar
- ph



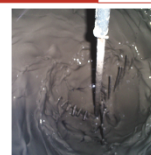
ADITIVOS

- ph
- teor de sólidos
- massa específica
- desempenho no concreto
- compatibilidade entre aditivos



CIMENTO

- finura
- área específica
- tempo de pega
- expansibilidade
- resistência à compressão-calor de hidratação



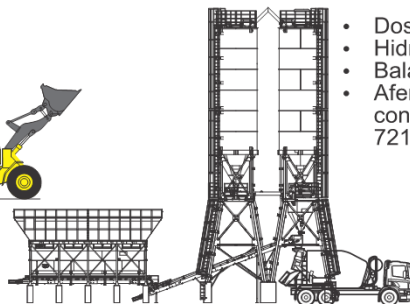
CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO, CONFORME NBR 12655.

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

Pátio de Agregados



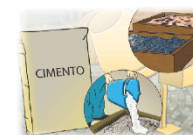
CENTRAL DOSADORA



- Dosador
- Hidrômetro
- Balanças
- Aferições trimestrais conforme a NBR 7212

ESTUDO DE DOSAGEM

- Cálculo da resistência
- Desvio padrão



AGREGADOS MIÚDOS

- granulometria
- massa específica e unitária
- teor de partículas
- umidade superficial



AGREGADOS GRAÚDOS

- granulometria
- massa específica e unitária
- material pulverulento
- teor de torrões de argila
- abrasão Los Angeles
- coeficiente de forma
- teor de partículas leves



ÁGUA DE AMASSAMENTO

- matéria orgânica
- resíduo sólido
- sulfatos
- cloretos
- açúcar
- ph



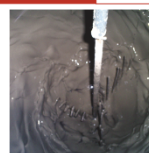
ADITIVOS

- ph
- teor de sólidos
- massa específica
- desempenho no concreto
- compatibilidade entre aditivos



CIMENTO

- finura
- área específica
- tempo de pega
- expansibilidade
- resistência à compressão-calor de hidratação



CONCRETO FRESCO

- consistência
- moldagem dos corpos de prova
- ar incorporado
- temperatura



CONCRETO ENDURECIDO

- resistência à compressão
- controle estatístico
- módulo de deformação
- massa específica
- extração de testemunhos
- ensaios de esclerometria, ultra-som, penetração de água sob pressão, etc.



CONCRETOS ESPECIAIS

- concreto refrigerado

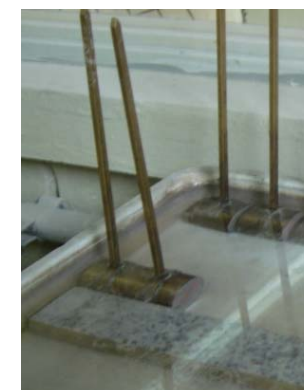


Fonte: ABESC

- ✓ **CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO, CONFORME NBR 12655.**
- ✓ **ESTUDO DE DOSAGEM**
- ✓ **AJUSTE E COMPROVAÇÃO DO TRAÇO**
- ✓ **PREPARO DO CONCRETO**
 - ▶ **PELO EXECUTANTE DA OBRA**
 - ▶ **POR EMPRESA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM – NBR 7212**
- ✓ **ACEITAÇÃO DO CONCRETO**
 - ▶ **CONCRETO FRESCO (PROVISÓRIA)**
 - ▶ **CONCRETO ENDURECIDO (DEFINITIVA)**

Ensaio - Cimento

- ✓ Conforme seu tipo e classe, deve atender aos requisitos constantes das ABNT NBR 5733, ABNT NBR5735, ABNT NBR5736, ABNT NBR5737, ABNT NBR11578, ABNT NBR12989 ou ABNT NBR13116 . Coletadas as amostras de todos os caminhões recebidos, o material deverá ser etiquetado visando identificação do lote, no caso de baixa resistência concreto. As etiquetas deverão conter informações como data e hora de entrega, número da nota fiscal e funcionário responsável pelo recebimento.
- ✓ Finura (método Blaine) ABNT NBR11579;
- ✓ Tempo de Pega ABNT NBRNM65 ;
- ✓ Expansibilidade ABNT NBR11582;
- ✓ Resistência à compressão ABNT NBR7215



Fonte: Falcão Bauer

EXIGÊNCIA FÍSICA DO CIMENTO

Tipos	Classe (MPa)	Finura		Tempo de Pega		Expansibilidade		Resistência à Compressão			
		# 200 (75 um)	Blaine (m ² /Kg)	Início (h)	Fim (h)	A Frio (mm)	A Quente (mm)	01 Dia (MPa)	03 Dia (MPa)	07 Dias (MPa)	28 Dias (MPa)
CP II - E	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
CP II - Z	32	≤ 12,0	≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
CP II - F	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP III	25	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32								≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40								≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0
CP IV	25	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32								≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
CP V - ARI		≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-
CP V - ARI - RS		≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≥ 11,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-

EXIGÊNCIA QUÍMICA DO CIMENTO

Tipos	Resíduo Insolúvel %	Perda ao Fogo %	MgO %	SO ₃ %	CO ₂ %
CP II – E	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0
CP II – Z	≤ 16,0				
CP II – F	≤ 2,5				
CP III	≤ 1,5	≤ 4,5	---	≤ 4,0	≤ 3,0
CP IV	---	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0
CP V – ARI	≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	**	≤ 3,0
CP V - ARI – RS	---	≤ 4,5	≤ 6,5	**	≤ 3,0

** ≤ 3,5% para C₃A ≤ 8,0% e ≤ 4,5% para C₃A > 8,0%

Deve atender aos requisitos conforme ABNT NBR 7211. São retiradas amostras para realização de ensaio. Essas amostras são colhidas por lotes conforme ABNT NBR NM 33 e encaminhadas ao laboratório, para execução de ensaios de controle.



Reação Álcali-Agregado:

- ✓ Deve atender aos requisitos da ABNT NBR15577-1.



Fonte: internet

✓ **Aditivos**

- ✓ Deve atender aos requisitos da ABNT NBR11768.
- ✓ ph;
- ✓ Teores de sólidos;
- ✓ Massa específica;
- ✓ Desempenho;
- ✓ Compatibilidade entre aditivos;

✓ **Água**

- ✓ Deve atender aos requisitos da ABNT NBR15900-1

✓ **Sílica Ativa**

- ✓ Deve atender aos requisitos da ABNT NBR13956-1

✓ **Metacaulim**

- ✓ Deve atender aos requisitos da ABNT NBR15894-1

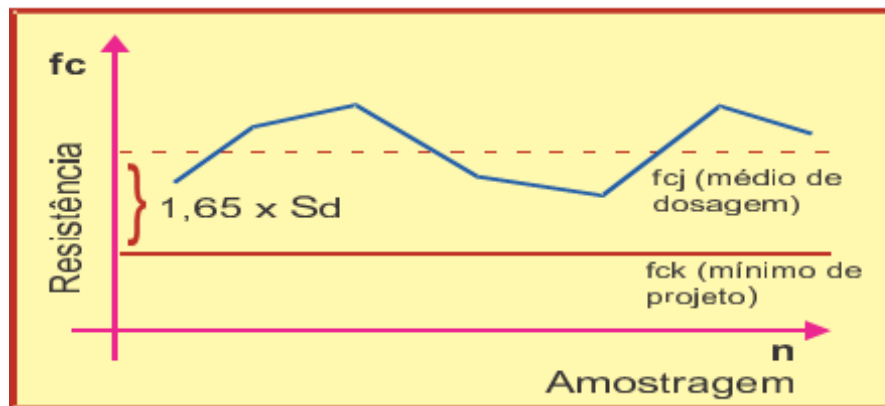
➤ Dosagem de concreto

Espaçamento entre as armaduras

Dimensão máxima característica ($D_{m\acute{a}x}$)

Inferior a:

- 1/4 da menor distância entre faces formas
- 1/3 da espessura da laje
- 5/6 da distância entre duas barras horizontais
- 1/2 da distância entre barras verticais
- 1/4 do diâmetro da tubulação de bombeamento



f_{cj} = Resistência do Concreto

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d$$

f_{cj} - resistência média do concreto à compressão, para j dias.

f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão.

S_d - desvio padrão.

S_d (MPa)	Condição
3,5	Desvio padrão conforme ABNT NBR 9062.

- ✓ Para atendimento às especificações em situações transitórias dos elementos Pré-Moldados (desforma, manuseio transporte) a dosagem é elaborada para atendimento a estes parâmetros.

✓ Concreto Extrusado

Concreto capaz de suportar vibro-compactação.

✓ Características:

- consistência seca,
- relação água/cimento (a/c) no intervalo de 0,30 a 0,40.
- resistência à compressão entre 50 a 75MPa e resistência a tração de 4 a 7MPa
- Na composição do traço, também são empregados aditivos incorporadores de ar, plastificantes e superplastificantes (policarboxilatos).



Fonte: ABCIC



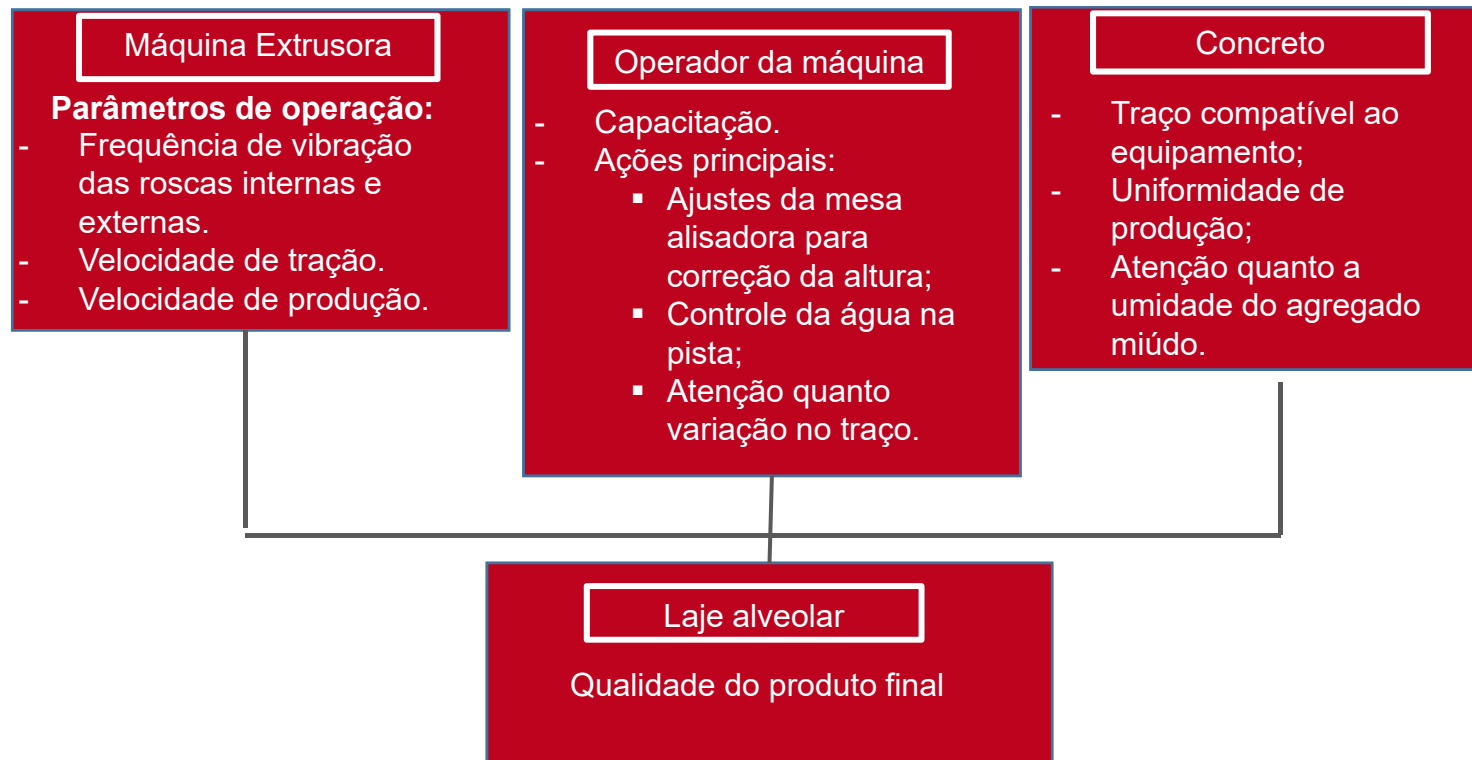
Fonte: ABCIC

Mizuto, Camilo, et al "Aspectos técnicos referentes a sistemática de controle e produção da laje alveolar de concreto pré-fabricado", 3º EN PPP CPM, São Carlos/SP, 2013.

➤ Dosagem de concreto

✓ Concreto Extrusado

✓ Fatores de interferência durante a produção da laje pela máquina extrusora.



Mizuto, Camilo, et al "Aspectos técnicos referentes a sistemática de controle e produção da laje alveolar de concreto pré-fabricado", 3º EN PPP CPM, São Carlos/SP, 2013.

✓ **Concreto Extrusado**



Fonte: ABCIC

➤ Requisitos de Durabilidade

- ✓ Conforme estabelecido na ABNT NBR6118:2014, a estrutura deve apresentar segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil de projeto.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

➤ Requisitos de Durabilidade

- ✓ Correspondência entre classe de agressividade e classe do concreto
ABNT NBR 12655

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m^3	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA	Componentes e elementos estruturais de concreto armado.				
CP	Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.				

➤ Requisitos de Durabilidade

- ✓ Correspondência entre classe de agressividade de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta_c = 10\text{mm}$
ABNT NBR 6118

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

➤ PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO NO BRASIL

COBRIMENTO

PARA CONCRETOS DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS, OS VALORES RELATIVOS AO COBRIMENTO MÍNIMO DAS ARMADURAS DEVEM ATENDER ÀS NORMAS TÉCNICAS DA ABNT.

ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS
ABNT NBR 6118

➔ **COBRIMENTO** ➔
 $C_{NOM.} = C_{MIN.} + 05 \text{ mm}$

**TOLERÂNCIA DE
EXECUÇÃO DE 05 mm**

ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS
ABNT NBR 9062

OS COBRIMENTOS MÍNIMOS A SEREM ATENDIDOS DEVERÃO SER ESTABELECIDOS MEDIANTE ENSAIOS COMPROBATÓRIOS DE DESEMPENHO DA DURABILIDADE DO ELEMENTO PRODUZIDO, FRENTE AO NÍVEL DE AGRESSIVIDADE PREVISTO EM PROJETO.

➤ PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO NO BRASIL

COBRIMENTO

ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS ABNT NBR 9062

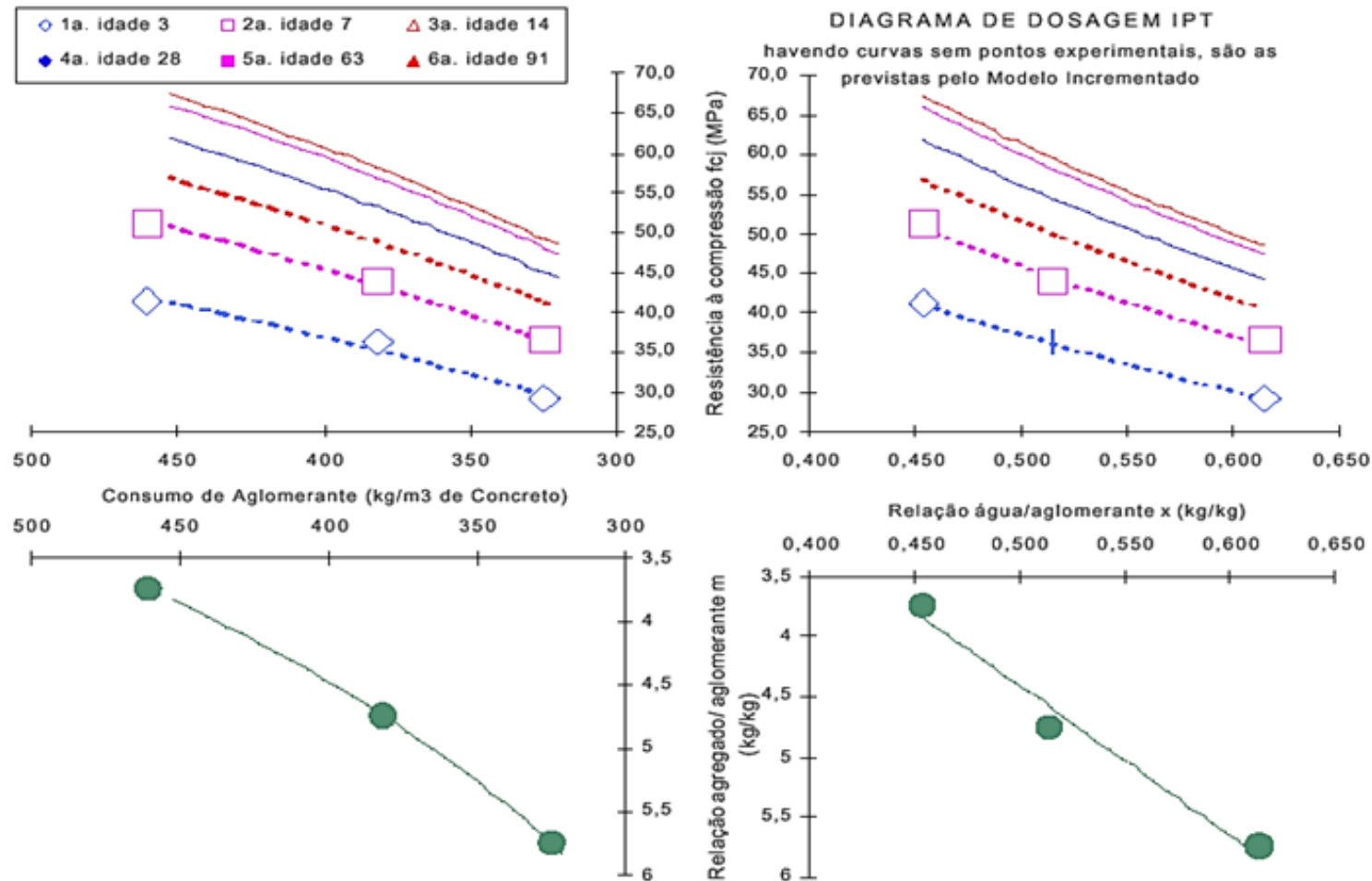
NA FALTA DE ENSAIOS, DESDE QUE SEJA UTILIZADO CONCRETO COM $f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$, E $A/C \leq 0,45$, OS COBRIMENTOS PODEM SER REDUZIDOS

EM MAIS 5mm, OU SEJA $C_{NOM.} = C_{MIN.}$ NÃO SENDO PERMITIDO

COBRIMENTOS MENORES QUE:

- LAJES EM CA $\geq 15 \text{ mm}$;
- DEMAIS PEÇAS EM CA (VIGAS/PILARES) $\geq 20 \text{ mm}$;
- PEÇAS EM CP $\geq 25 \text{ mm}$;
- PEÇAS DELGADAS PROTENDIDAS (TELHAS / NERVURAS/TERÇAS) $\geq 15 \text{ mm}$;
- LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS $\geq 20 \text{ mm}$.

➤ Diagrama de estudo de dosagem



Exemplo de diagrama de dosagem IPT com antecipação das curvas relativas às idades acima de 7 dias.

A norma ABNT NBR 7212 fornece as diretrizes que regem essa atividade. Contempla todas as etapas e cuidados a serem tomados para que o fornecimento de concreto ocorra sem transtornos, incluindo, a obrigatoriedade dos fornecedores informarem a quantidade de cada material nas notas fiscais.

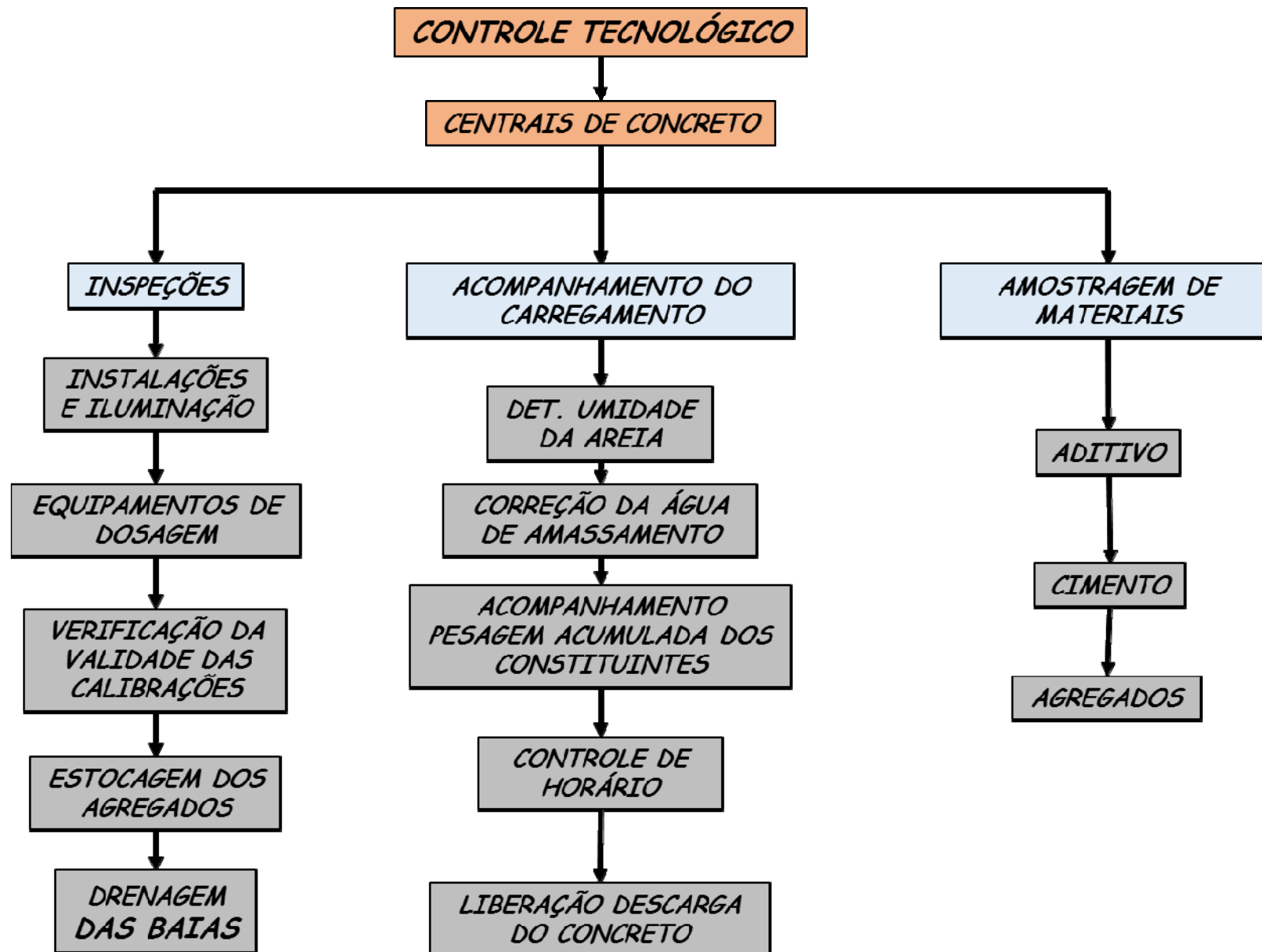
(Livro Concreto: Ciência e Tecnologia
Editor: Geraldo C. Isaia)



Fonte: ABCIC



Fonte: ABCIC



➤ Armazenamento do cimento – Granel

Estocagem - Recomendações

- Silos estanques
- Cada silo munido de identificação, contendo : tipo, classe e marca do cimento
- Prazo máximo de estocagem \leq 06 meses



Fonte: ABCIC

➤ Armazenamento dos Agregados

Estocagem - Recomendações

- Separados em baias, em função da graduação granulométrica, com drenagem
- Evitar contaminação após estocagem (contato com terra, serragem, matéria orgânica)



Fonte: internet

➤ Armazenamento de Aditivos



Fonte: internet

**Estocagem -
Recomendações**

Reservatórios (caixa de água com tampa)

Evitar o tambor "multi-uso" da obra

➤ Armazenamento de Água

**Estocagem -
Recomendações**

Reservatórios (caixa de água com tampa)

Evitar o tambor "multi-uso" da obra

➤ Amostragem – Controle de Produção

Condição	Frequência de amostragem
Operação inicial da central de concreto (até serem obtidos, ao menos, 32 resultados)	uma amostra a cada 20 m ³ e, no mínimo, duas amostras por dia de operação
Operação contínua (após serem obtidos, ao menos, 32 resultados)	uma amostra a cada 50 m ³ e, no mínimo, uma amostra por dia de operação

➤ Formação de amostra

Critério	Especificação	Exemplo	Número mínimo de exemplares
A ^a	Diversas famílias de concreto e suas classes de resistência	C30 S100 D19 e C25 S160 D12,5	32
B	Uma família de concreto específica e suas classes de resistência	C30 S100 D19 e C25 S100 D19	24
C	Uma única classe de resistência de uma determinada família de concreto	Somente C30 S160 D19	16
^a Diversas famílias de concreto (ver ABNT NBR 12655), com diferentes classes de resistência, de consistência e diâmetros de agregados diferentes, por exemplo: concreto classe de resistência C30, classe de consistência S100 e dimensão máxima característica do agregado graúdo de 19 mm (D19), avaliado juntamente com concreto de classe C25, abatimento S160 e preparado com agregado graúdo de dimensão máxima característica de 12,5 mm (D12,5).			

➤ Cálculo de desvio padrão

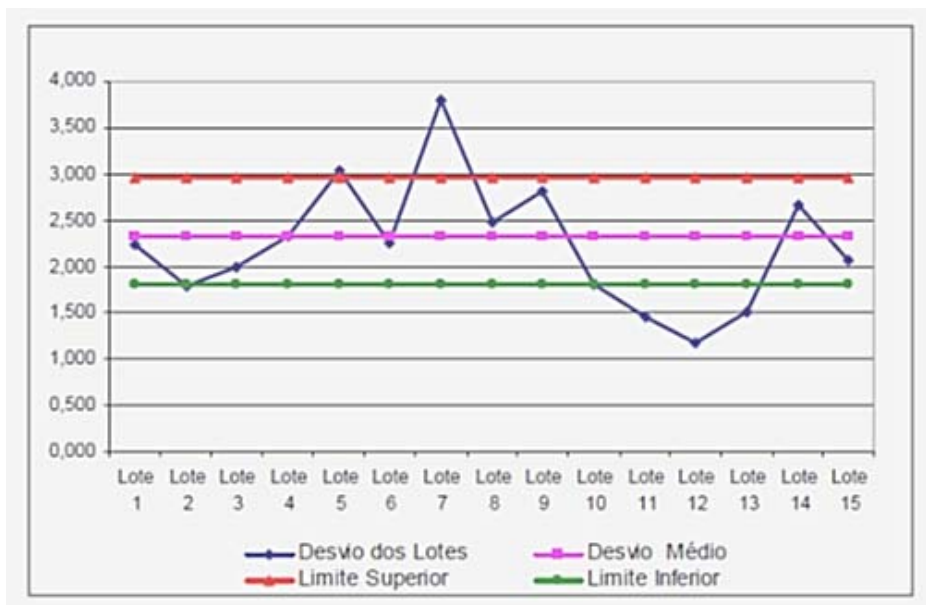
$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_i - f')^2}{n-1}}$$

➤ Análise do desvio padrão

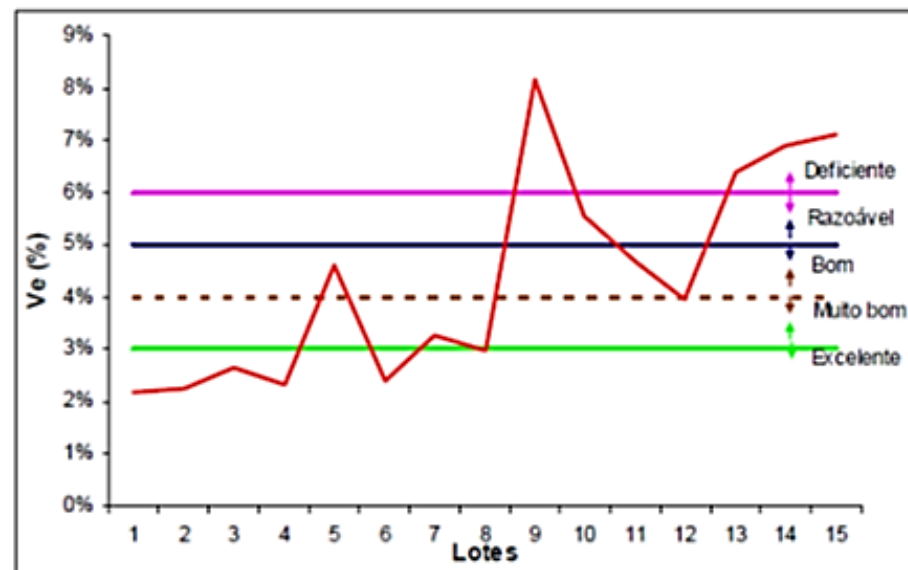
Local de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	$S_n < 3,0$	$3,0 < S_n < 4,0$	$4,0 < S_n < 5,0$	$S_n > 5,0$

Desvio Padrão máximo de 3,5MPa, ABNT NBR 9062, exceto concreto extrusado, admitindo desvio maior.

➤ Cartas de controle



Carta de controle da qualidade da produção baseada nos resultados individuais de resistência à compressão.



Coeficiente de variação dentro do ensaio ABNT NBR 5739.

Transporte, lançamento e adensamento – ABNT NBR14931

➤ Transporte

✓ Interno na obra

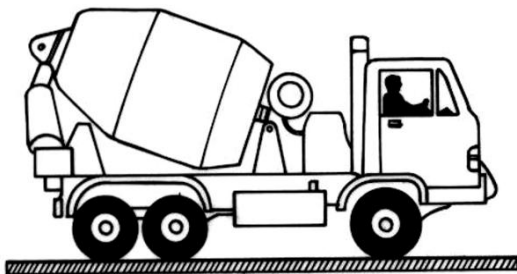
- ✓ Carrinho de mão;
- ✓ Girica;
- ✓ Caminhão Betoneira.



Fonte: ABCIC



Fonte: internet

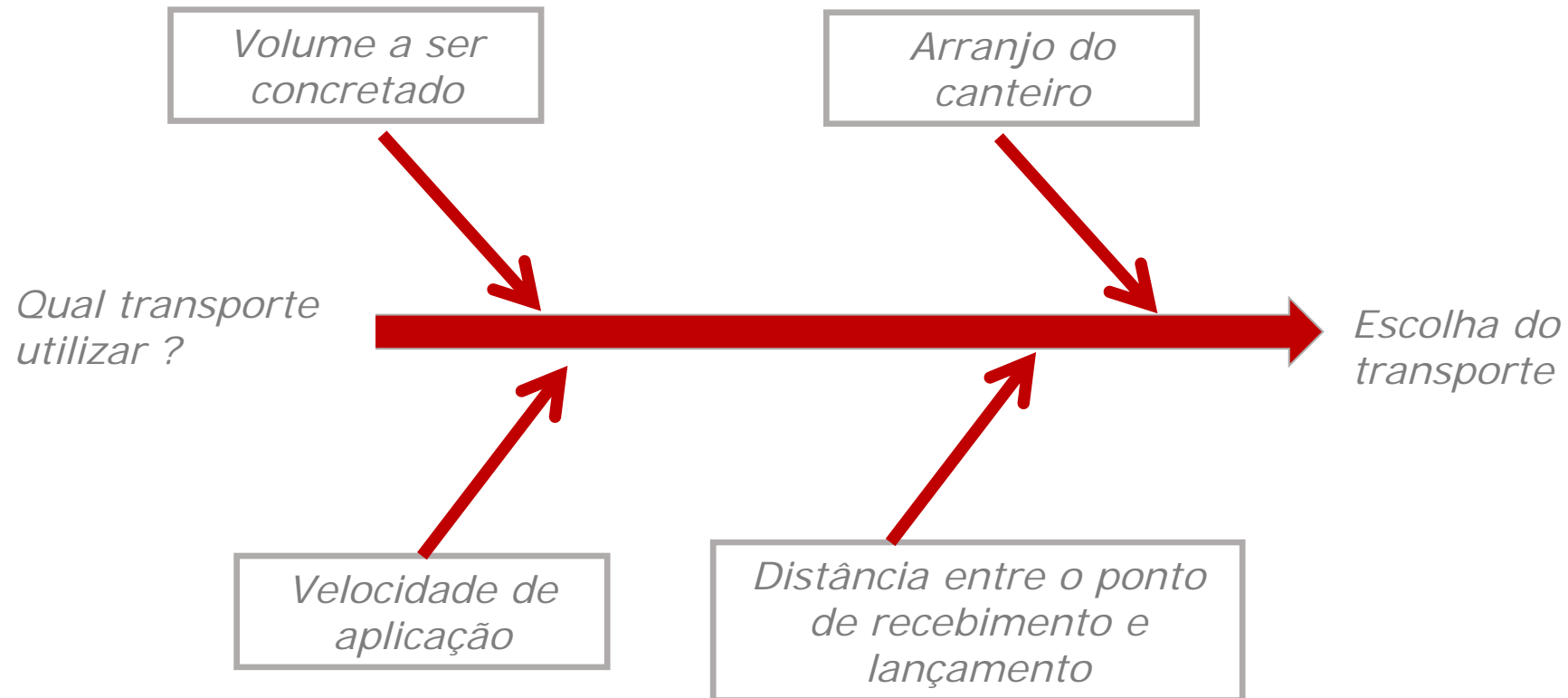


Fonte: ABCIC



Fonte: ABCIC

➤ Qual sistema utilizar no transporte interno????



Para peças pré-fabricadas (produzidos industrialmente), importante layout da fábrica, visando otimizar tempo de distribuição no concreto na planta, e as condições do piso (segregação)

➤ Lançamento

 **É a operação de colocação do concreto nas formas**



Fonte: internet

Cuidados

Formas

- **Deverão estar isentas de detritos e outros contaminantes.**
- **Deverão estar estanques e os travamentos e escoramentos posicionados corretamente**
- **Quando utilizado formas de madeira, deve-se saturar a superfície da forma de modo a evitar que exista absorção de água do concreto pela madeira; Cuidado para não empoçar água no fundo**

➤ Cura

- ✓ Manter o ambiente úmido;
- ✓ Evitar perda de água de amassamento pelo emprego de produtos selantes.

Peças mantidas em local protegidas do sol e evaporação excessiva com temperatura na ordem de 23°C e umidade relativa acima de 90%.

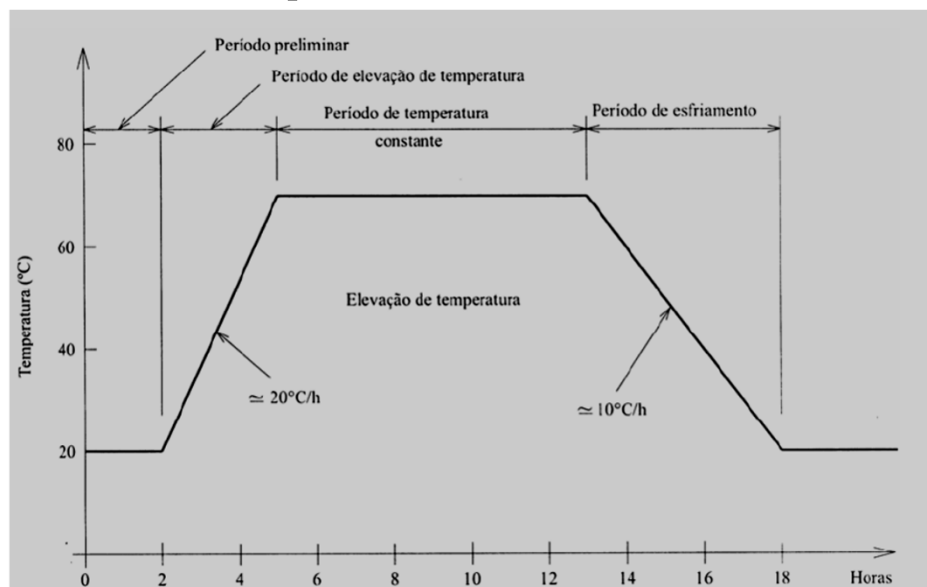


Fonte: internet

➤ Métodos de Cura

✓ Cura térmica a vapor

Processo de aceleração da resistência inicial para permitindo a movimentação e transporte das peças em tempo menor.



Ciclo clássico da cura térmica a vapor El Debs (2000)



Corpos de prova no mesmo local da cura

Fonte: internet

➤ **ABNT NBR 9062:2017**

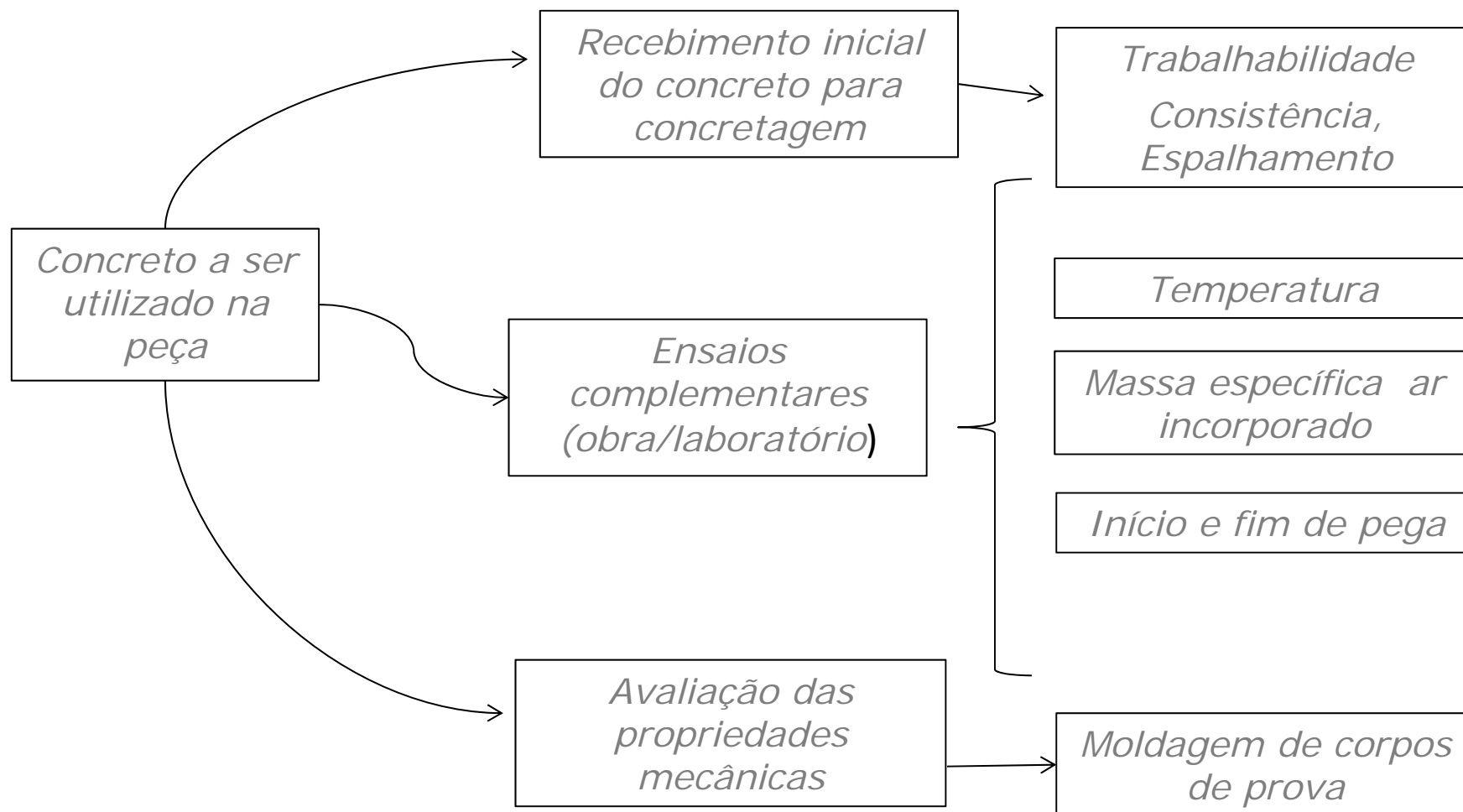
➤ **Concreto**

No controle tecnológico do concreto, aplica-se o disposto nesta Norma e na ABNT NBR 12655, verificando os seguintes requisitos:

- ✓ **do teor de umidade dos agregados;**
- ✓ **da massa específica;**
- ✓ **das condições de armazenamento dos materiais componentes do concreto;**
- ✓ **da sequência e tempo da mistura da trabalhabilidade**
- ✓ **da resistência do concreto e do módulo de elasticidade para liberação da protensão ou para levantamento e manuseio do elemento.**

➤ Propriedades

✓ Estado Fresco



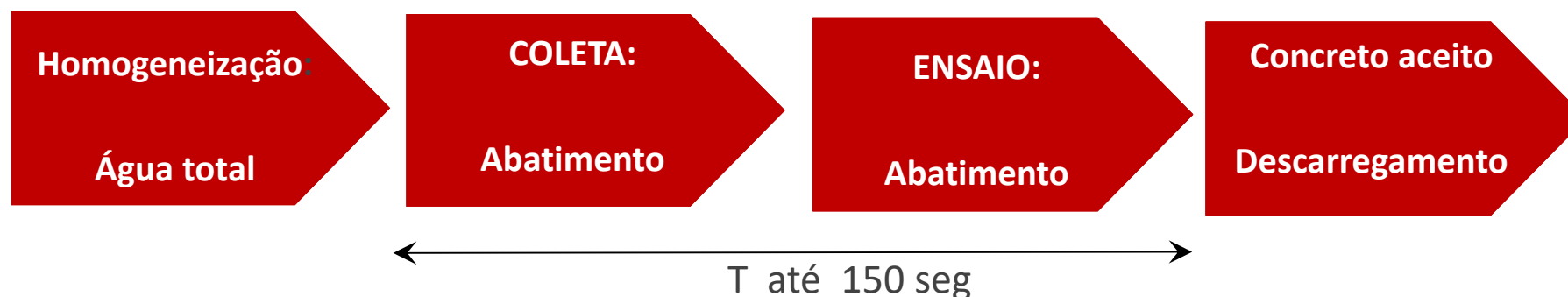
➤ **Consistência**

- Abatimento do tronco de Cone – ABNT NBR NM 67;
- Local de Ensaio:
- Superfície rígida, plana, horizontal e livre de vibrações.



Fonte: Falcão Bauer

- Tempo de ensaio



➤ **Consistência**

- Abatimento do tronco de Cone – ABNT NBR NM 67

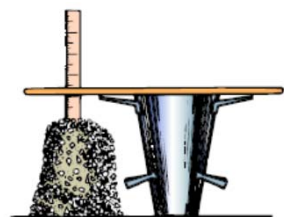


Tirar o excesso de concreto e rasar a superfície



Pressionar as alças do molde com as mãos e retirar os pés

Levantar o molde, de 5 a 10 segundos



Medir o abatimento com a trena

➤ Consistência

- Abatimento do tronco de Cone – ABNT NBR NM 67



Fonte: Falcão Bauer

- ABNT NBR 8953

Classe	Abatimento (A) (mm)
S10	$10 \leq A \leq 50$
S50	$50 \leq A \leq 100$
S100	$100 \leq A \leq 160$
S160	$160 \leq A \leq 220$
S220	$A \geq 100$

- **Concreto Auto adensável – ABNT NBR 15823-1**
- **Ensaios:**

Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre Concreto auto-adensável bombeado Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável	Lajes Revestimento de túneis Estacas e certas fundações profundas
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

Fonte: ABNT NBR 15823

- **Concreto Auto adensável – ABNT NBR 15823-1**
- **Ensaio:**

Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação

Classe de viscosidade plástica aparente	t_{500} s	Funil V s	Aplicação	Exemplo
VS 1/ VF 1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
VS 2/ VF 2	> 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras

Fonte: ABNT NBR 15823

- **Concreto Auto adensável – ABNT NBR 15823-1**
- **Ensaio:**

Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação

Classe de viscosidade plástica aparente	t_{600} s	Funil V s	Aplicação	Exemplo
VS 1/ VF 1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
VS 2/VF 2	> 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras

FUNIL: ABNT NBR 15823

- **Concreto Auto adensável – ABNT NBR 15823-1**
- **Ensaio:**

Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação

Classe de viscosidade plástica aparente	Anel <i>J</i> mm	Caixa <i>L</i> (<i>H2/H1</i>)	Aplicação	Exemplo
<i>PL 1/PJ 1</i>	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	≥ 0,80, com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm	Lajes, painéis, elementos de fundação
<i>PL 2/PJ 2</i>	0 a 25 mm com 16 barras de aço	≥ 0,80, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-moldados

Fonte: ABNT NBR 15823

- **Concreto Auto adensável – ABNT NBR 15823-1**
- **Ensaio:**

Classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação

Classe de resistência à segregação	Coluna de segregação %	Distância a ser percorrida m	Espaçamento entre armaduras mm	Exemplo
SR 1	≤ 20	< 5	> 80	Lajes de pequena espessura Estruturas convencionais de pouca complexidade
SR 2	≤ 15	> 5	> 80	Elementos de fundações profundas
		< 5	< 80	Pilares, paredes e elementos estruturais complexos Elementos pré-moldados

Fonte: ABNT NBR 15823

- **Concreto Auto adensável** - Amostragem ABNT NBR 15823-1
 - **Frequência de ensaios:**
 - Deve ser estabelecida considerando o processo produtivo, de forma a atender às seguintes condições:
 - no caso de elementos **estruturais armados**, os ensaios devem ser realizados **pelo menos uma vez ao dia por traço produzido;**
 - no caso de elementos **estruturais protendidos**, executados em pista de protensão, devem ser realizados com o **concreto destinado à concretagem de cada pista, no início dela;**
 - em ambos os casos um novo ensaio deve ser realizado sempre que **houver alteração no proporcionamento dos materiais, ou paralisação e posterior retomada dos trabalhos.**

Obs.: 66,7% das empresas produzem concreto autoadensável em pelo menos 45,7% da produção.

- **Concreto Autoadensável - Espalhamento**
- Determinação do espalhamento – ABNT NBR 15823-2;
- Execução do ensaio.



Posicionar o tronco de cone no centro da placa rígida.

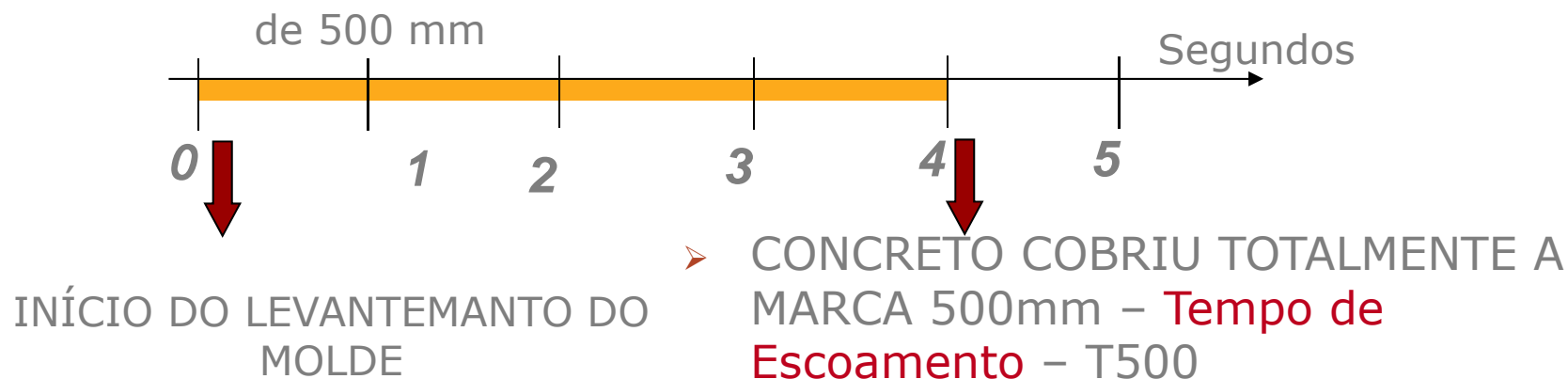


Preencher completamente o cone com o auxílio de um balde.

uniforme e contínua → SEM COMPACTAÇÃO

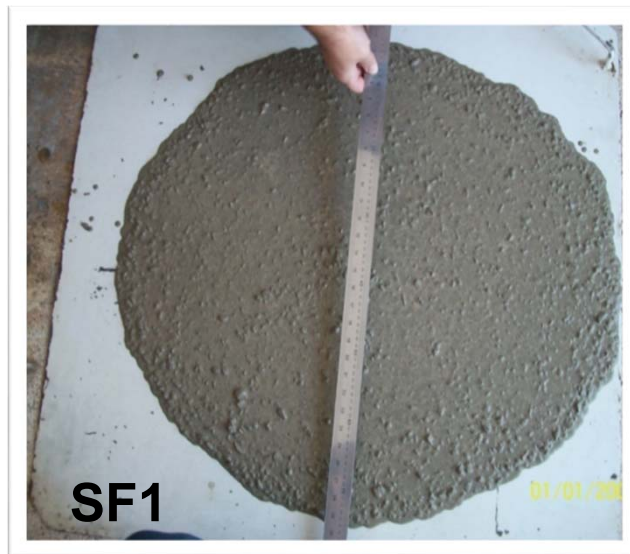
➤ Concreto Autoadensável - Espalhamento

- Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – ABNT NBR 15823-2;
- Execução do ensaio
 - Limpar a placa de base
 - Nivelar a superfície do cone
 - Tirar o funil do tronco-cônico e mover o excesso de concreto
 - Erguer o cone
 - Acionar o cronômetro
 - Medir o tempo necessário para o concreto cobrir totalmente a marca de 500 mm



➤ **Concreto Autoadensável - Espalhamento e Tempo de Escoamento**

- Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – ABNT NBR 15823-2;
- **Execução do ensaio** - Posteriormente, medir 02 (dois) diâmetros do concreto.



Fonte: Falcão Bauer

- O espalhamento será a média dos dois diâmetros

- **Concreto Autoadensável - Habilidade Passante**
 - Determinação da Habilidade Passante – ABNT NBR 15823-3;
 - **Execução do ensaio**

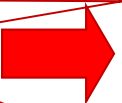


Fonte: Falcão Bauer

➤ Moldagem de corpos de prova




Importância



Necessidade de verificação de propriedades mecânicas, impostas pelo projeto: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de deformação, permeabilidade, densidade, outros.



Tipo dos moldes



Formas cilíndricas: Resistência à compressão, Resistência à tração por compressão diametral e módulo de deformação.

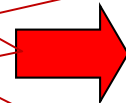


Formas prismáticas: Resistência à tração na flexão.

➤ Moldagem de corpos de prova



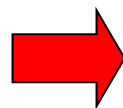
**Quantidade
de corpos de
prova**



Recomenda-se 2 corpos de prova por idade de ensaio para os ensaios de resistência mecânica.



Amostragem



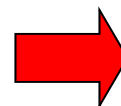
Amostragem

Total

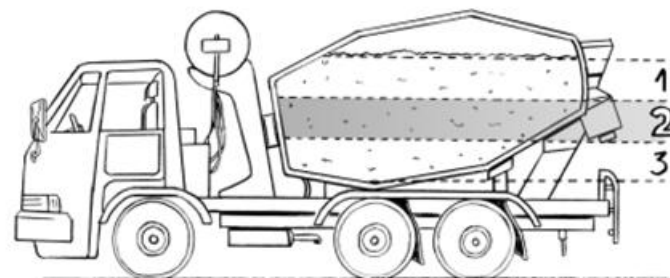
Parcial

➤ Moldagem de corpos de prova

Retirada da amostra



Preferencialmente efetuada após descarga de 0,15 a 0,85 do volume transportado.



Fonte: Falcão Bauer



Fonte: Falcão Bauer

➤ **Moldagem – ABNT NBR 5738**

- ✓ 3 camadas iguais adensadas com 25 golpes cada (150mm x 300mm);
- ✓ 2 camadas iguais adensadas com 12 golpes cada (100 x 200mm);
- ✓ Para abatimento acima de 160mm o número de golpes é reduzido a metade;
- ✓ Identificar;
- ✓ Transportar os corpos de prova após 24h.
- ✓ Autoadensável preencher a forma em uma única etapa, não adensar.

➤ Cura dos corpos de prova – ABNT NBR 5738

- ✓ **Corpos de prova mantidos em câmara úmida com temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa superior a 95%.**



Fonte: Falcão Bauer

- ✓ **Preparo das bases de modo que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova.**



Fonte: Falcão Bauer

- **Ensaio de Resistência à compressão axial ABNT NBR5739**
- **Liberação para desenforma de elementos protendidos por pré-tração – ABNT NBR 9062.**
 - Peça protendida – $f_{ck} \geq 21\text{MPa}$



Fonte: Falcão Bauer



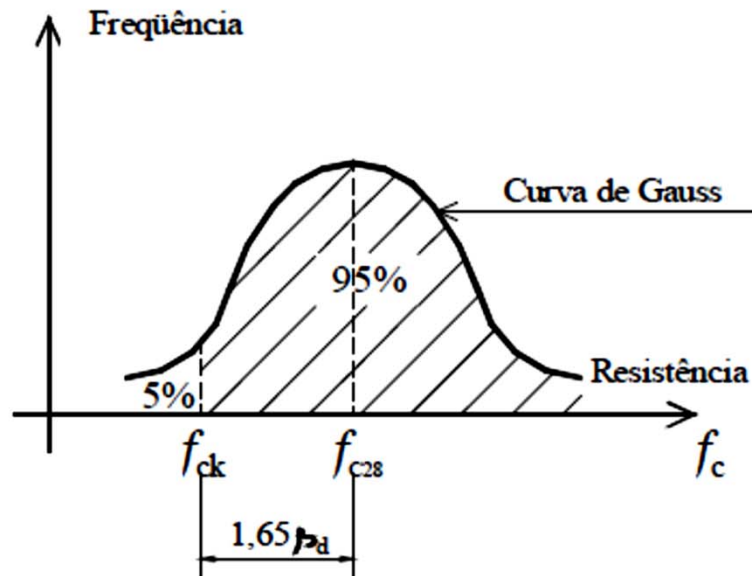
Fonte: ABCIC



Fonte: ABCIC

➤ Resistência à compressão

NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos



onde:

f_{c28} = média aritmética das resistências dos n corpos de prova = resistência média do concreto à compressão aos 28 dias de idade

n = número de corpos de prova ensaiados

f_{ci} = resistência à compressão de cada corpo de prova

s_d = desvio padrão do lote ensaiado

Portanto, pode-se definir f_{ck} como sendo o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado, em ensaios de corpos-de-prova de um determinado lote de concreto.

➤ Formação de lotes – ABNT NBR 9062

Valores máximos para formação de lotes de concreto		
Elementos essencialmente comprimidos - Pilares	Elementos fletidos em uso - Vigas e Lajes	Uma pista concretada
50 m ³	100 m ³	

- Concretagem no período de uma semana, com o mesmo f_{ck} de projeto, mesmo traço e mesmo material. O tamanho mínimo do lote fica a critério de cada caso;
- Sempre que o volume total for inferior a 8m³ deverá ser realizada amostragem total;
- Para cada lote deverá ser amostrado no mínimo 6 exemplares conforme ABNT NBR 12655.

CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Há 2 tipos de controle de resistência do concreto ($f_{ck,est}$) a serem executados:

- Controle por amostragem total
 - ✓ Pode ser aplicado somente para concretos dosado por centrais, e a moldagem dos corpos de prova deve ser feita de todos os caminhões betoneiras.
- Controle por amostragem parcial
 - ✓ Moldagem de corpos de prova de betonadas alternadas e de modo aleatório, para a formação dos lotes. Cada lote deve ser composto por no mínimo 6 exemplares por idade até o $f_{ck} = 50$ MPa e 12 exemplares para $f_{ck} > 50$ MPa

Nota: cada exemplar deve ser composto por no mínimo 2 corpos de prova, e toma-se como resistência do exemplar **o maior dos valores obtidos no ensaio resistência** à compressão do exemplar.

Controle estatístico por amostragem - Total

Consiste na amostragem de 100%, ou seja, todas as betonadas são amostradas e representadas por 1 exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. Neste caso o valor da resistência característica à compressão estimada $f_{ck,est}$ é dada por :

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

onde:

$f_{c,betonada}$ é o valor da resistência à compressão do exemplar que representa o concreto da betonada

Controle estatístico por amostragem parcial

Para lotes com exemplares entre $6 \leq n < 20$ o cálculo da resistência característica estimada ($f_{ck,est}$) é dado por:

$$f_{ck,est} = 2\left(\frac{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{m-1}}{m-1}\right) - f_m \quad \text{onde:}$$

- ✓ $n = n^\circ$ de exemplares
- ✓ $m = n/2$
- ✓ $f_1, f_2, f_3, \dots, f_{m-1}, f_m =$ valor de resistência dos exemplares em ordem crescente

Não se tomara para valor de $f_{ck,est}$ valor menor que $\Psi_6 \times f_1$

Valores de Ψ_6

Desvio Padrão	Número de exemplares										
	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

Os valores de n entre 2 e 5 são utilizados para casos excepcionais

Fonte: Rubens Curti
(ABCP)

Controle estatístico por amostragem parcial

Para lotes com mais com $n \geq 20$ o valor estimado da resistência característica é dado por:

$$f_{ck,est} = f_{cmj} - 1,65 sd$$

onde:

- ✓ f_{cmj} = resistência média dos exemplares do lote, na idade de j dias;
- ✓ 1,65 = valor da variável reduzida “t” de Student, correspondente à probabilidade de 5% dos resultados ocorrerem abaixo da resistência característica f_{ck} ;
- ✓ sd = o desvio padrão do lote, para n-1 resultados;

$$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- Aceitação do concreto

ACEITAÇÃO AUTOMÁTICA

Ocorre quando → $f_{\text{class}} \geq f_{\text{ck}}$

Onde f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão.

ACEITAÇÃO NÃO AUTOMÁTICA

Ocorre quando → $f_{\text{class}} < f_{\text{ck}}$

- O concreto deve ser aceito desde que atendidas todas as condições estabelecidas na ABNT NBR12655. Em caso de não-conformidade, consultar a ABNT NBR7680.

OBRIGADO!

Luis Alberto Borin

Contatos:

lbodin@falcaobauer.com.br

inovacons@falcaobauer.com.br

Fone: 11.3611-0833 Ramal 373