



Aspectos Atuais da Tecnologia do Concreto, seu Controle de Qualidade e Avaliação Estrutural

DISCIPLINA DE IGDITC – Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil

Prof. José Orlando Vieira Filho
Dr. em Eng^a Civil e Urbana pela EPUSP

e-mail: jov@jovengenharia.com.br

✓ **SUMÁRIO**

- 1 – QUALIDADE, OBJETIVO E FASES DO CONTROLE DA QUALIDADE**
- 2 - QUALIDADE NA CONTRUÇÃO CIVIL**
- 3 – CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO ESTRUTURAL**
- 4 – CONTROLE DE QUALIDADE DAS ARMADURAS DE AÇO PARA CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO**
- 5 – AVALIAÇÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL**
- 6 – ACOMPANHAMENTO DE OBRAS E CONTROLES ESPECIAIS**

✓ INTRODUÇÃO

- **Ciência:** saber teórico verificado na prática.
- **Técnica:** saber fazer com base na ciência.
- **Tecnologia** (técnica + “logia”): ciência aplicada ou técnica conjugada com a teoria científica.
- **Controle tecnológico** : controle de qualidade aplicado a uma tecnologia. Exemplo : controle tecnológico do concreto

- “**Qualidade é adequação ao uso**”. (Juran, 1962)
- “Qualidade é o conjunto de melhores características de um produto ou serviço, *para certas condições de consumo ou utilização*”. (Calegare, Prof^o Poli-USP).
- “A qualidade de um produto ou serviço está diretamente ligada à *satisfação total do consumidor* e consta dos fatores: qualidade ampla, custo e atendimento, que são igualmente importantes num relacionamento comercial.
- “**basicamente qualidade se faz não acontece por acaso**”.
- **O CONTROLE TECNOLÓGICO DE QUALIDADE EXIGE A NECESSIDADE DA EXISTÊNCIA DE NORMALIZAÇÃO.**

✓ OBJETIVOS E FASES DO CONTROLE DE QUALIDADE

Objetivos

- **Garantir um *nível pré-estabelecido de qualidade*** de um determinado produto.
- Possibilitar a ***tomada de decisões***.

Fases do controle de qualidade

a) controle de produção

Processos utilizados pelo *produtor (fabricante ou construtor)* para obter o produto de acordo com as especificações estabelecidas, com o menor custo possível.

b) controle de aceitação

Efetuada pelo *consumidor, fiscal* ou seu *representante* credenciado, com o objetivo de verificar a *conformidade do produto* com as especificações pré-estabelecidas.

Garantia de qualidade depende de:

- **Material: qualidade**
- Procedimentos (Pessoal):
 - **Formação;**
 - **Informação;**
 - **Motivação;**
- Equipamento;
- Sistema de controle de qualidade;
- **Treinamento de supervisão;**
- **Equipamento adequado e eficiente.**

Controle

- **Controle do produto**
- **Acompanhamento** do produto (assistência e manutenção)
- **Informações** para o projeto e para a produção

Obs. No Brasil: “o código de defesa do consumidor” (Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990)

✓ **CÓDIGO DE HAMURÁBI 1772 a.C.**



(Fonte: www.ebanataw.com.br/roberto/pericias/codigohamurabi.htm)

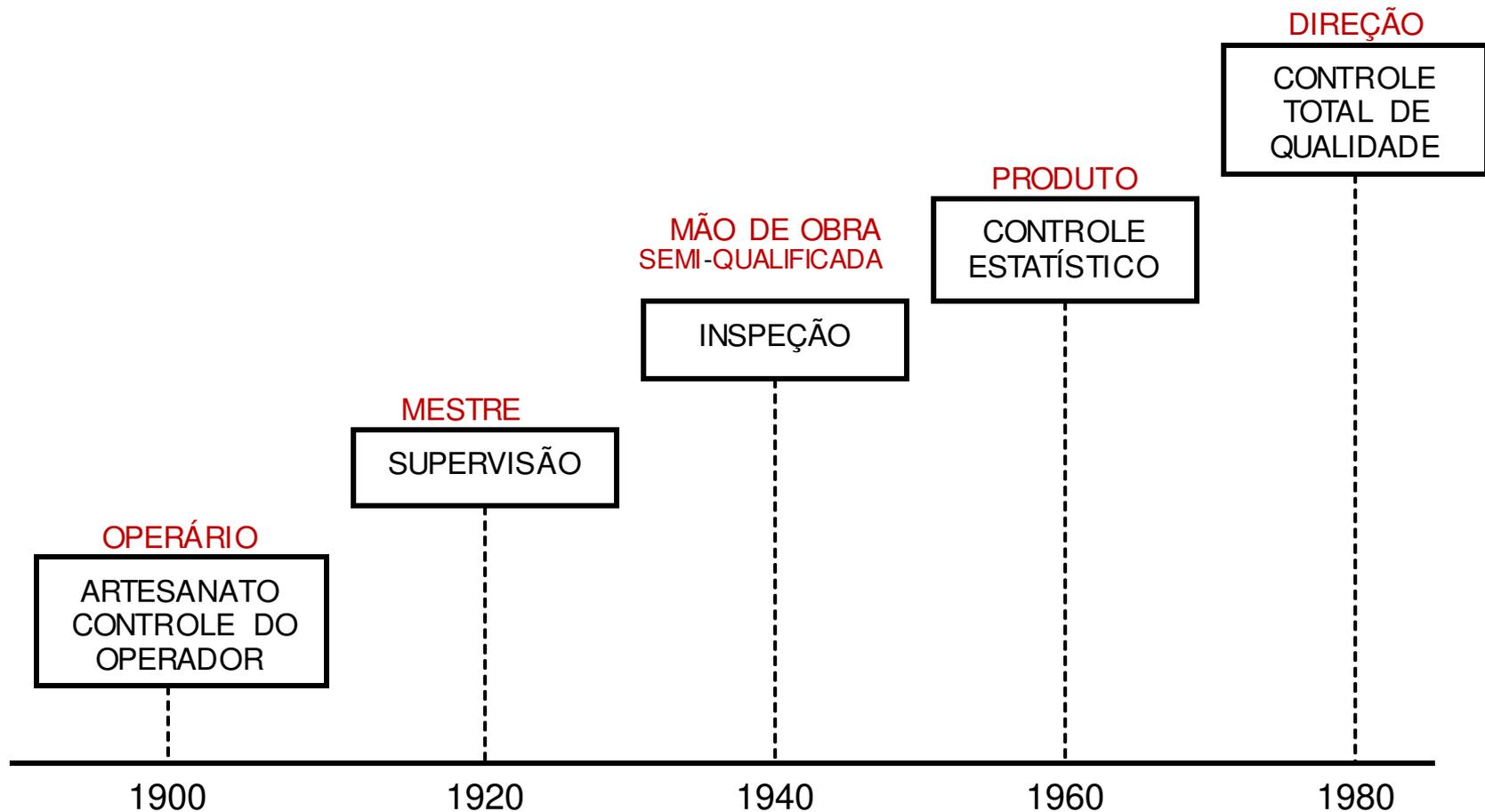
Art 229 – Se um construtor construir uma casa para outrem, e não a fizer bem feita, e **se a casa cair e matar seu dono**, então o construtor **deverá ser condenado à morte**. Se **morrer o filho do dono** da casa, o **filho do construtor** deverá ser condenado à morte.

Art 230 – Se **morrer o escravo** do proprietário, o construtor **deverá pagar por este escravo** ao dono da casa.

Art 231 – Se **perecerem mercadorias**, o construtor deverá **compensar o proprietário** pelo que foi arruinado, pois ele não construiu a casa de forma adequada, devendo reerguer a casa às suas próprias custas.

Art 232 – Se um construtor construir uma casa para outrem, e mesmo a casa não estando completa, as **paredes estiveram em falso**, o construtor deverá às suas próprias custas fazer as **paredes da casa sólidas e resistentes**.

✓ O CONTROLE DE QUALIDADE X EVOLUÇÃO INDUSTRIAL (Bauer)



	FATORES INTERVENIENTES NA QUALIDADE	CONSEQUÊNCIAS
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	<ul style="list-style-type: none">Deficiências no Planejamento das obras, no detalhamento dos projetos e nas especificações.	<ul style="list-style-type: none">Baixa qualidade como um todo.
	<ul style="list-style-type: none">Falta de previsão nos projetos de um programa de controle de qualidade.	<ul style="list-style-type: none">Vida útil reduzida.
	<ul style="list-style-type: none">Deficiências na qualificação da mão-de-obra em todos os níveis.	<ul style="list-style-type: none">Prazos não cumpridos.
	<ul style="list-style-type: none">Deficiências no acompanhamento técnico e fiscalização.	<ul style="list-style-type: none">Dificuldades para a tomada de decisões

	FATORES INTERVENIENTES NA QUALIDADE	CONSEQUÊNCIAS
	<ul style="list-style-type: none">Utilização de materiais de baixa qualidade e sem normalização.	<ul style="list-style-type: none">Número elevado de acidentes.
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	<ul style="list-style-type: none">Deficiências na execução dos controles tecnológicos .	<ul style="list-style-type: none">Retrabalhos
	<ul style="list-style-type: none">NomadismoDescontinuidade nas obrasAlta rotatividade da mão de obra	<ul style="list-style-type: none">Enormes desperdícios de materiais

✓ QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: FATORES INTERVENIENTES

Fases de uma obra de engenharia:

1^a Fase: planejamento / projetos

2^a Fase: fabricação / execução

3^a Fase: utilização / operação e manutenção

A importância da fase de planejamento/ projetos:

- a) A necessidade da compatibilização dos projetos (a figura do gerente de projetos);
- b) A necessidade da normalização (procedimentos e especificações);
- c) O estabelecimento de um programa de controle de qualidade.

LEMBRETE: O cumprimento de prazos é item da qualidade. Adotam-se diversos sistemas desde os **elementares cronogramas** passando pelos diagramas **CPM / PERT** até os sofisticados **softwares de planejamento** e acompanhamento de execução de obras e de avaliações pós-ocupação.

A qualidade de uma construção, em qualquer época, teve e tem como pontos fundamentais:

1. Um bom projeto (adequado detalhamento e especificações de materiais e serviços)
2. Equipe técnica capacitada em todos os níveis
3. Etapas e métodos construtivos adequados
4. Materiais adequados e de boa qualidade
5. Controle tecnológico de qualidade em todas as fases

✓ **CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO ESTRUTURAL**

Concreto de cimento Portland (CCP)

•Caracterização

Pedra artificial de construção resultante de uma mistura ***racional, homogênea e selecionada*** de um aglomerante (cimento Portland), água (agente endurecedor), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra britada ou outros tipos), constituindo o concreto básico. Podem ainda ser incorporados, com fins específicos: aditivos químicos, adições minerais, fibras e polímeros diversos.

2 (duas) ***fases distintas e sequenciais***
de propriedades específicas

**1ª) Concreto Fresco ou
Recém-misturado**

2ª) Concreto Endurecido

Propriedades relevantes do CCP /Importância para a Construção Civil:

- Elevada resistência mecânica à compressão;
- Baixa deformabilidade;
- Alta durabilidade e baixo custo de manutenção;
- Boa resistência ao calor e a incêndios;
- Facilidade de moldagem (plasticidade) de peças e estruturas das mais variadas formas e dimensões;
- Fácil industrialização e mecanização da produção, com redução de custos e possibilidade de obtenção em série de elementos pré-fabricados e pré-moldados;
- Rapidez na construção;

Propriedades relevantes do CCP /Importância para a Construção Civil:

- Tecnologia acessível (é no entanto de fundamental importância o domínio dessa tecnologia para que se consiga obter, com economia, as características desejadas como resistência mecânica, durabilidade e outras, frente aos agentes ambientais);
- Qualidades estéticas de acabamento e formas (concreto aparente) e possibilidade de uso de diversos materiais de revestimento;
- Dotados de barras e fios de aço, adequadamente calculados e posicionados para absorver os esforços de tração constitui o **concreto armado**;
- Com fios e cordoalhas de aço que são tracionados comprimindo o concreto, formam o **concreto protendido**;
- Possibilita ainda o uso de aditivos químicos, de adições minerais, de fibras e de polímeros, ampliando o seu uso.

1. Aglomerante – diversos tipos adequados ao uso: CP I; CP I-S; CP II-E; CP II-Z; CP II-F; CP III; CP IV; CP V (função aglomerante: “Aglomerar”, “unir”, “colar”, “aglutinar”).

2. Água (Isenta de substâncias nocivas ao concreto) – agente endurecedor

- Função Física (plasticidade/consistência)
 - Função Química (hidratação → “gel” → cristalização → endurecimento)
- Lembrete: a importância da relação água/cimento (ver lei de Abrams).

3. Agregados - Miúdos ou finos (grãos passando na peneira de 4,75mm) – naturais ou artificiais.

4. Agregados - Graúdos ou grossos (grãos passando na peneira 75mm e retido na de 4,75mm) – naturais ou artificiais

5. Aditivos (Para melhorar ou conferir novas propriedades) - diversos tipos e funções: retardadores; aceleradores; incorporadores de ar; plastificantes; superplastificantes; impermeabilizantes; expansores (gasosos / espumosos); corantes/pigmentos; germicidas / fungicidas / algicidas; estabilizadores de hidratação; polifuncionais. NBR 11768:2011.

6. Adições minerais (relativamente inertes ou ativas) (Funções- física: redução da porosidade e química: ação pozolânica exs: sílica ativa, metacaulim, cinzas volantes, cinzas da casca de arroz e outras)

7. Outras adições (com funções específicas):

Fibras: metálicas sintéticas (polipropileno); minerais e vegetais.

Látex, epóxi e outros polímeros.

Exemplos de diversos tipos de concreto :

➤ Quanto ao tipo de emprego / estrutura e à características especiais:

- . concreto magro ou pobre
- . concreto simples ou comum
- . concreto armado/cintado
- . concreto protendido
- . concreto massa (barragens)
- . concreto de alto desempenho (CAD)
- . concreto autoadensável (CAA)
- . concreto para pavimentos
- . concreto pré-moldado/pré-fabricado
- . concreto de alta resistência inicial (com cimento ARI; com aditivos aceleradores de pega e endurecimento; com cura térmica úmida) Lembrete: verificar existência de cloretos nos aditivos aceleradores)
- . concreto impermeável
- . concreto ciclópico
- . concreto pesado
- . concreto leve: poroso, aerado ou celular (gasoso ou espumoso; c/ agreg. leves; c/agreg. sem finos).
- . concreto de consistência seca (pré-moldados/ estacas).
- . concreto refratário (suporta elevada temperatura)
- . concreto aparente (sem revestimento)
- . concreto colorido
- . concreto rústico (com agregado aparente)

Exemplos de diversos tipos de concreto :

➤ Quanto aos processos de fabricação, colocação e cura:

- . concreto fabricado em central (usinado)
- . concreto fluido (autoadensável - CAA)
- . concreto bombeado
- . concreto projetado
- . concreto submerso
- . concreto injetado (coloidal)
- . concreto adensado a vácuo
- . concreto centrifugado
- . concreto compactado a rolo (CCR)
- . concreto curado a vapor
- . concreto autoclavado
- . concreto pré-refrigerado
- . concreto lançado sob baixas temperaturas

Exemplos de diversos tipos de concreto :

➤ Quanto aos constituintes e adições:

- . concreto com aditivos plastificantes e superplastificantes
- . concreto com aditivos “ar incorporado”
- . concreto com aditivos impermeabilizantes
- . concreto com aditivos expansores
- . concreto com aditivos retardadores
- . concreto com adições pozolânicas (exs: sílica ativa, metacaulim, cinzas volantes e outros)
- . concreto reforçado com fibras
- . concreto com adição de polímeros e concreto polímero
- . concreto com aditivos fungicidas, germicidas e algicidas
- . concreto colorido (com pigmentos)

A ABNT NBR 8953: 2015 classifica os concretos:

a) Por classe de resistência em:

- **Grupo I:** C20; C25; C30; C35; C40; C45; C50 ($n^{\circ} = \text{MPa}$)
- **Grupo II:** C55; C60; C70; C80; C90; C100 ($n^{\circ} = \text{MPa}$)

b) Por classe de consistência em:

- **S10** ≤ 10 a < 50
- **S50** ≤ 50 a < 100
- **S100** ≤ 100 a < 160
- **S160** ≤ 160 a < 220
- **S220** ≥ 220

c) Pela massa específica

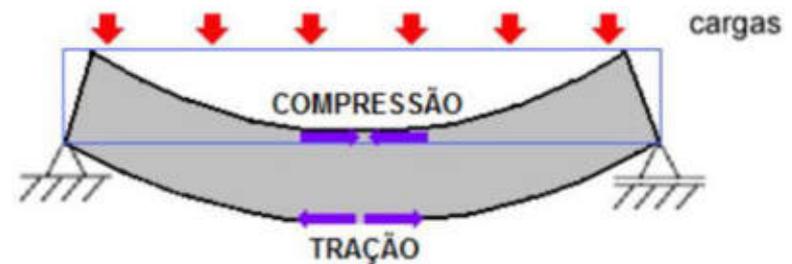
- Concreto normal (C) – massa específica entre 2000kg/m^3 e 2800kg/m^3
- Concreto leve (CL) – massa específica inferior a 2000kg/m^3
- Concreto pesado ou denso (CD) – massa específica superior a 2800kg/m^3

Principais aplicações estruturais do concreto

➤ Concreto simples



➤ Concreto armado: concreto com barras e fios de aço adequadamente calculados e posicionados



Principais aplicações estruturais do concreto

- Concreto protendido: concreto com fios e cordoalhas de aço (o aço é tracionado e o concreto é comprimido)



- Concreto reforçado com fibras



Principais aplicações estruturais do concreto

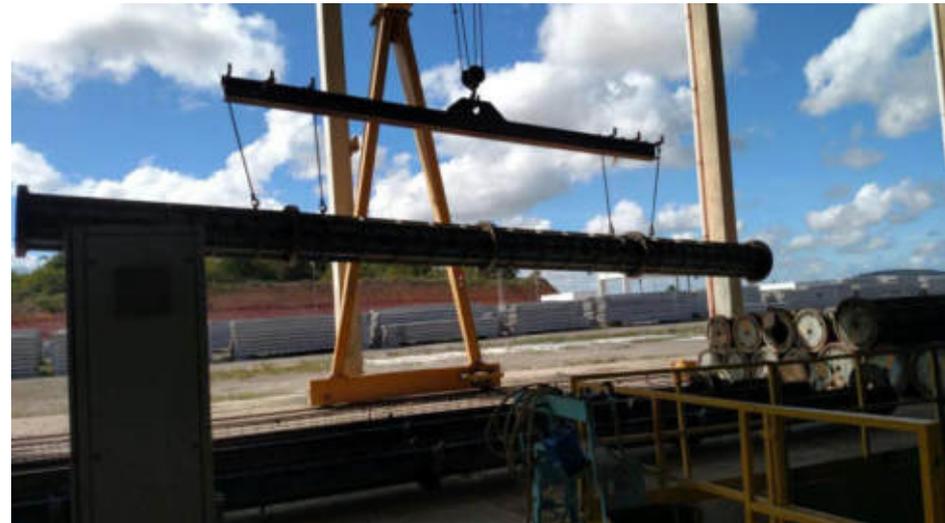
- Concreto com utilização de polímeros



- Estruturas mistas: concreto e aço, concreto e madeira, concreto e outras ligas metálicas.



Fotos diversas de concretagem de elementos pré-fabricados



Fotos diversas de concretagem de elementos pré-fabricados



Fotos diversas de concretagem de elementos pré-fabricados





✓ Importância da normalização para o controle de qualidade

- Os **programas de controles tecnológicos de qualidade** nas obras têm como referência básica a **normalização**.
- Quanto **maior o grau de normalização** dos materiais utilizados, métodos de cálculo e projetos e dos processos construtivos utilizados, **mais fácil** é o estabelecimento dos **níveis de qualidade** desejados, **dos critérios mínimos de segurança** para as obras, bem como a **interpretação dos resultados** dos controles a serem efetuados.
- Na ausência de normalização brasileira apela-se para a normalização internacional.

✓ Natureza das obras / controles tecnológicos diversos

	NATUREZA E MAGNITUDE DAS OBRAS, ETAPAS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS
CONTROLES TECNOLÓGICOS (ELEMENTOS E CONDICIONANTES):	
. Tipos e fases (planos de concretagem).	. Edificações (estruturas em concretos armado e protendido, estruturas metálicas e em madeira, instalações diversas). . Fundações , paredes diafragma e cortinas. . Muros de arrimo e estruturas de contenção. . Obras de arte correntes e especiais .
. Parâmetros a serem controlados.	. Barragens e obras de terra. . Barragens de concreto (concreto massa).
. Ensaios ou testes e frequências dos mesmos.	. Rodovias (terraplenagem e pavimentação) e ferrovias . Túneis
. Níveis de exigências / especificações.	. Obras hidráulicas (reservatórios) e de saneamento
. Existência de normalização	. Portos, cais , canais e obras de drenagem . Obras com concretos especiais : de alto desempenho, autoadensáveis (fluidos), compactados a rolo, projetados, etc

✓ Etapas da Produção do Concreto

ESTUDOS PRELIMINARES:

- . Seleção adequada dos materiais
- . Estudos de dosagens em laboratório
- . Estabelecimento dos traços

FABRICAÇÃO:

. ESTOCAGEM DOS MATERIAIS

. MEDIÇÃO

- . volumetrica
- . gravimetrica

. MISTURA

- . manual
- . mecânica

- . cimento
- . agregados
- . água
- . aditivos químicos e
adições minerais
- . fibras
- . polímeros

✓ Etapas da Produção do Concreto

COLOCAÇÃO:

. TRANSPORTE

- . manual (pequenas obras)
- . mecânico
 - . betoneiras estacionárias
 - . caminhões betoneiras

. LANÇAMENTO

- . por ejeção / projeção
- . por injeção
- . por deposição

. ADENSAMENTO

- . Manual (pequenas obras)
- . mecânico
 - . por vibração
 - . por pressão
 - . por centrifugação

✓ Etapas da Produção do Concreto

CURA:

. POR MOLHAGEM

- . aspensão
- . submersão

. POR VAPOR SATURADO

- . contínuo/ intermitente
- . a frio / a quente

. RECOBRIMENTO
COM PELÍCULAS

- . removível
- . aderente

✓ A IMPORTÂNCIA DA ORGANIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS

Um **canteiro de obras bem organizado** e uma administração eficiente contribuem para a **execução racional e econômica dos serviços** e para a obtenção da qualidade desejada. Devem ser planejados:

- Fácil **acesso externo** ao canteiro;
- **Disposição adequada** dos barracões, escritórios, depósitos, laboratório e áreas para preparação de formas, armaduras, concreto pré-moldado, etc;
- Fácil **circulação interna** de veículos;
- **Escolha racional** dos tipos de transportes horizontal e vertical de materiais e da localização dos equipamentos;
- A **localização e o armazenamento** corretos dos aglomerantes, dos agregados e da água para fabricação do concreto.

São fatores de dispersão da qualidade dos materiais, resultantes do armazenamento, e manuseio e conservação incorretos, a **contaminação** e a **degradação**.

- **Contaminação** é a incorporação de substâncias nocivas à qualidade final do concreto, ocorrendo frequentemente com os **agregados e a água**.
 - **Degradação** é a alteração das propriedades ou características dos materiais e podem ocorrer **nos agregados**, no **aglomerante** e na **água**.
- (Vasconcellos, 1983)

✓ **CONTROLE TECNOLÓGICO DE EXECUÇÃO (PRODUÇÃO)**

Efetuada na fase do concreto não endurecido.

1) **Controle de qualidade dos materiais (por meio de ensaios de laboratório)**

. **Cimento**: finura (por peneiramento e área específica- Blaine) / pega/ expansibilidade/ resistência à compressão/ calor de hidratação/ ensaios especiais.

PRINCIPAIS ENSAIOS:

. **Agregados**: granulometria/ massa específica e aparente / absorção / teor de argila em torrões/ teor de cloretos e sulfatos/ teor de materiais pulverulentos/ teor de partículas leves.

a) DE SELEÇÃO
b) DE RECEPÇÃO

. **Água**: ensaio de qualificação ABNT NBR 15900 – Partes 1 a 11 (sulfatos; cloretos; mat. Organ.; Sólidos dissolv., Em suspensão, totais; ph) / ensaios comparativos em pasta e argamassa (início e fim de pega e resist. à compressão)

. **Aditivos**: (NBR-10908:2008; NBR-11768:2011) são realizados ensaios para verificação da compatibilidade

. **Adições minerais** : usadas com base em estudo experimental prévio em laboratório

. **Fibras e polímeros**: usadas com base em estudo experimental prévio em laboratório

2) Controle do Canteiro de Serviços

- Qualidade da mão-de-obra
- Quantidade/ capacitação / organização
- ✓ Condições dos Equipamentos:
 - **Qualidade** (tipo/ quantidade/ capacidade de produção);
 - **Manutenção** (conservação/ aferição)

3) Controle de Fabricação

a) Controle da Composição:

- Processo direto (durante as medições); traço (1:a:b) : fator **água/cimento**, consumo de cimento, dosagem dos aditivos;
- Processo indireto: reconstituição do traço NBR-9605 (ensaio em desuso)

b) Controle da Consistência:

- Ensaio de **abatimento** (“slump test”) - NBR NM 67:1998 .
- Ensaio de espalhamento NBR 15823:2010 parte 1 a 6 .



4) Controle de Colocação e Cura

Efetuada nas fases de :

- Transporte
- Lançamento
- Adensamento
- Cura.

✓ **CONTROLE TECNOLÓGICO DE VERIFICAÇÃO (ACEITAÇÃO)**

Efetuada na fase do Concreto Endurecido.

a) Verificação da **Composição** (reconstituição do traço).

Por análise química (ataque pelo HCl): pelo resíduo insolúvel/ pela sílica solúvel/ pelo teor de CaO.

b) Verificação da **Resistência Mecânica**: (individual / por lotes/ e do conjunto)

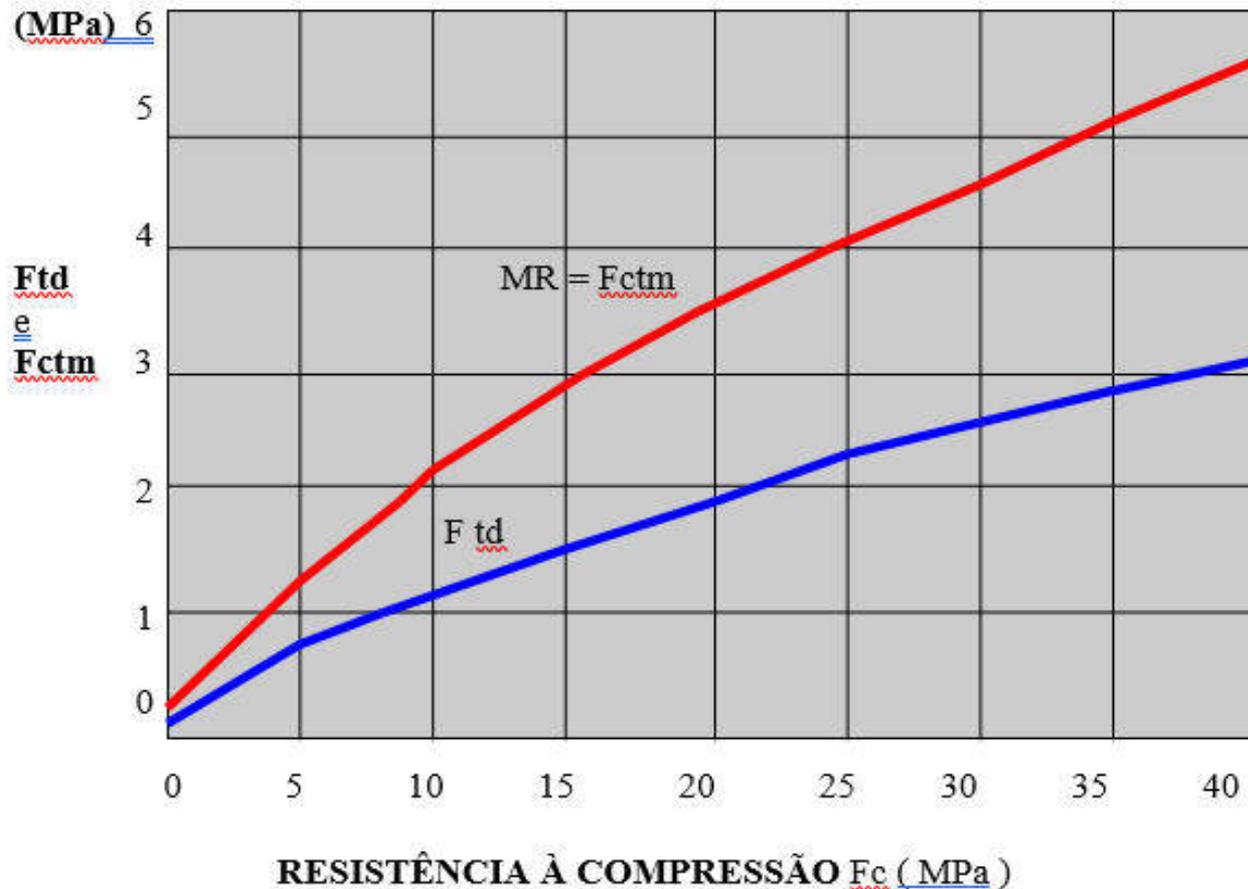
✓ Por meio de **Ensaio Destrutivo**: (indiretos: por amostragem)

- Corpos-de-prova: **moldados/ extraídos**;
- Ensaio: **à compressão/ à tração por compressão diametral e na flexão**



RESIST. À TRAÇÃO POR COMP. DIAM. (F_{td}) —

RESIST. À FLEXÃO OU MÓDULO DE RUPTURA (F_{ctm}) —



✓ Por meio de **Ensaios Não Destrutivos**: (diretamente sobre as peças em exame)

- de dureza superficial: **esclerometria** (ABNT NBR 7584:2012);
- dinâmicos: ensaios **ultra-sônicos** (ABNT NBR 8802:2013);
- radiográficos: **raio x**, **raio γ** (gamametria);
- por penetração: **penetração de um projétil** (ASTM C-803);
- arrancamento: **extração de um dispositivo** padronizado (ASTM C-900);
- nucleares/ **densímetros**: p/ avaliação da massa específica;
- elétricos/ **magnéticos (pacometria)**: p/ avaliação do recobrimento e armaduras.



- **Potencial de corrosão** (avaliação do risco decorrente) das armaduras;
- **Resistividade elétrica** (avaliação da velocidade de corrosão das armaduras);
- Ensaio de **reatividade potencial** (RAA)
- **Reconstituição** do traço do concreto endurecido
- Ensaio especiais para verificação da ocorrência de **etringita tardia**



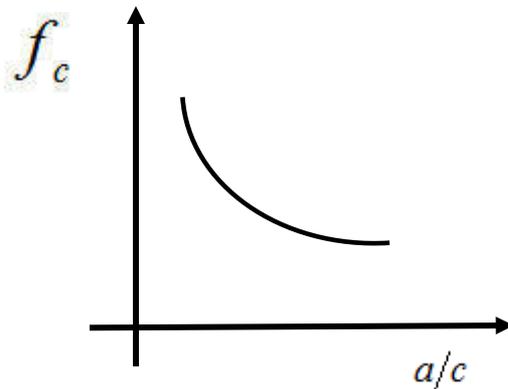
c) **Análise dos Resultados**

- Tratamento estatístico dos resultados dos ensaios com determinação dos estimadores ($f_{ck_{est}}$ de acordo com a ABNT NBR 12655:2015), valor médio, desvio padrão, coeficiente de variação, resistência média estatisticamente necessária, etc. (norma do ACI- 214R/11);
- São também efetuados gráficos de controle e avaliação do padrão de qualidade do laboratório (norma ACI-214R/11).

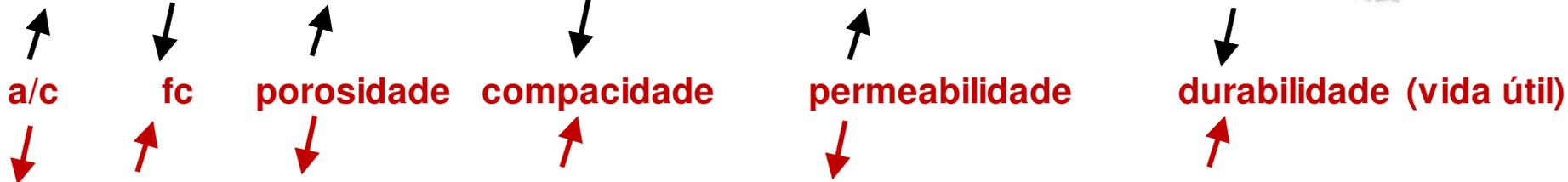
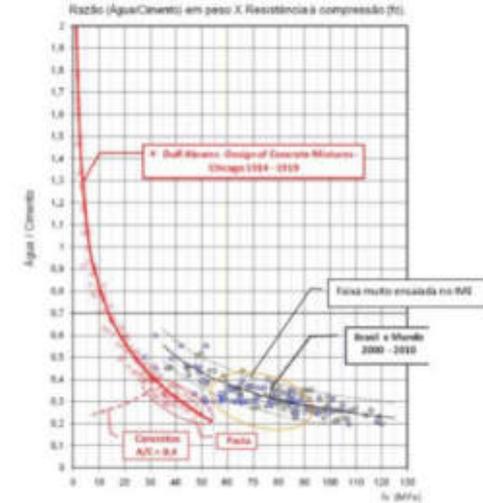
✓ DOSAGEM RACIONAL E EXPERIMENTAL DOS CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

1) Fundamentos

a) Relação água/cimento x resistência à compressão (Lei de Abrams 1918)



$$f_c = \frac{A}{B^{a/c}}$$



b) Constância da quantidade de água aproximada para uma dada consistência (Lei de Lyse)

Relação água/materiais secos $A\% = \frac{\text{massa da água}}{\text{massa dos materiais secos}} \times 100$

T. U. M (traço unitário em massa)
cimento : areia : brita : água

$$1 : a : b : x$$

$$m = \text{agregado total} = a + b$$

$$A\% = \frac{100x}{1+m}$$

$$C_c = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{m}{\gamma_{agreg}} + x} \quad (\text{kg/m}^3)$$

2) Escolha do Tipo de Cimento

- Condicionantes:
 - ✓ **Meio ambiente de exposição** das peças (ex: águas agressivas)
 - ✓ **Tipo e características da peça** / estrutura (ex: pré-fabricados com necessidade de alta resistência inicial; concreto massa de baixo calor de hidratação)
 - ✓ **Requisitos especiais** (ex: concretos refratários; peças ornamentais)

3) Fixação da Relação Água / Cimento e da Tensão Média e Dosagem

✓ Condicionantes:

- Resistência mecânica (Lei de Abrams)
- Durabilidade e requisitos especiais
- Tipo de concreto

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		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 (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

ABNT NBR 12655:2015

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

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

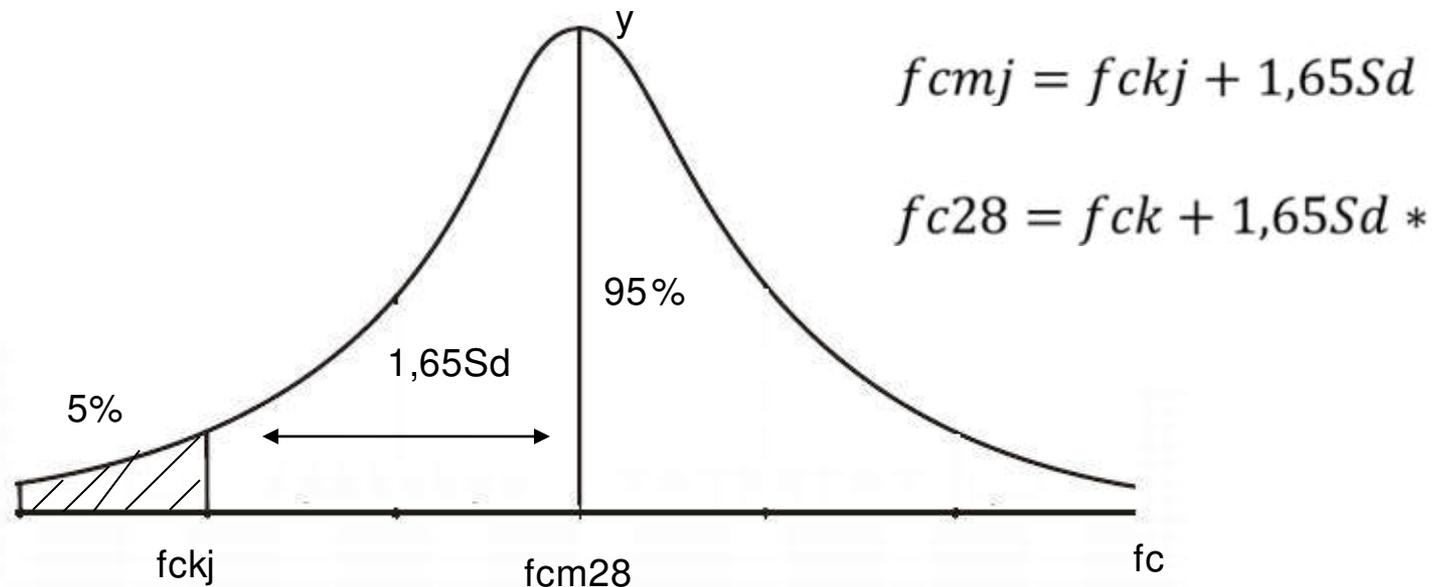
^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ³ 15 mm.

^c Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ³ 45 mm.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

4) O conceito da f_{ck} e da f_{cmj}



* S_d determinado com no mínimo 20 resultados consecutivos no intervalo de 30 dias em período imediatamente anterior (S_d sempre > 2 MPa)

Em caso de não se conhecer o desvio padrão, adota-se:

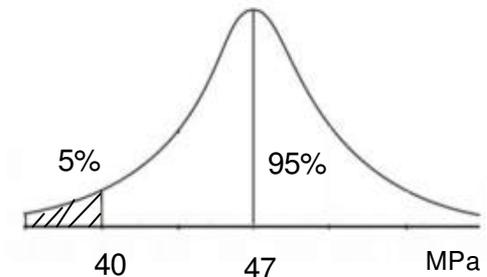
Tabela 6 – Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

- **Condição A** (para todas as classes): **Materiais medidos em massa** e controle da umidade da areia
- **Condição B** (Classes C10 a C20): **Cimento em massa** e agregados em massa combinada com volume, água com dispositivo dosador
- **Condição C** (Classes C10 a C20): **cimento em massa**, agregados e água em volume e umidade da areia estimada

Ex: para $f_{ck}=40\text{MPa}$ e condição A

$$f_{c28} = 40 + 1,65 \times 4,0 = 46,6\text{MPa} \rightarrow 47\text{MPa}$$



✓ ENSAIOS DE CONTROLE DE RECEBIMENTO E ACEITAÇÃO

a) Ensaio de Consistência ([abatimento ou espalhamento](#))

- Na primeira **amassada**;
- Ao **reiniciar após interrupção** maior que 2h;
- Na **troca de operadores**;
- Cada vez que forem **moldados corpos-de-prova**;
- **A cada betonada para concreto fornecido em betoneira móvel.**



b) Moldagem e Ruptura de Corpos de Prova

- para cada lote de concreto produzido:
- nº mínimo de seis exemplares para concretos do grupo I (classes: C20 a C50);
- nº mínimo de doze exemplares para concretos do grupo II (classes: C55 a C100);
- cada exemplar é constituído por dois corpos-de-prova da mesma amassada, moldados no mesmo ato, para cada idade de rompimento;
- toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois resultados.



c) Formação dos Lotes

A amostragem do concreto para ensaios de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes. De cada lote deve ser retirada uma amostra, com número de exemplares de acordo com o tipo de controle (conforme 6.2.3).

Tabela 7 – Valores máximos para a formação de lotes de concreto ^a

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples ^b
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	três dias de concretagem ^c	

^a No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote, conforme 6.2.3.1
^b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas
^c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

d) Controle Estatístico da Resistência do Concreto

✓ Por Amostragem Parcial

- para $6 \leq n < 20$ ($n = n^{\circ}$ de exemplares)

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

onde

m é igual a $n/2$. Despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Não se pode tomar para $f_{ck,est}$ valor menor que $\psi_6 \cdot f_1$, adotando-se para ψ_6 os valores da Tabela 8, em função da condição de preparo do concreto e do número de exemplares da amostra, admitindo-se interpolação linear.

Tabela 8 – Valores de ψ_6

Condição de preparo	Número de exemplares (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

NOTA Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (conforme 6.2.3.3).

- **para $n \geq 20$ exemplares**

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times s_d$$

sendo

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}$$

onde

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, expressa em megapascals (MPa);

s_d é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, expresso em megapascals (MPa)

✓ Por Amostragem Total

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

✓ Casos Excepcionais

- Para lotes com volumes $< 10\text{m}^3$
- N^o de exemplares (n): $2 \leq n \leq 5$
- Sem amostragem total

Permite-se adotar:

$$f_{ck,est} = \Psi_6 \times f_1$$

Ψ_6 é dado pela Tabela para os números de exemplares de 2 a 5.

✓ Conformidade dos Lotes de Concreto

Tanto para a amostragem parcial como para a amostragem total (exemplares das betonadas), os lotes serão aceitos quando:

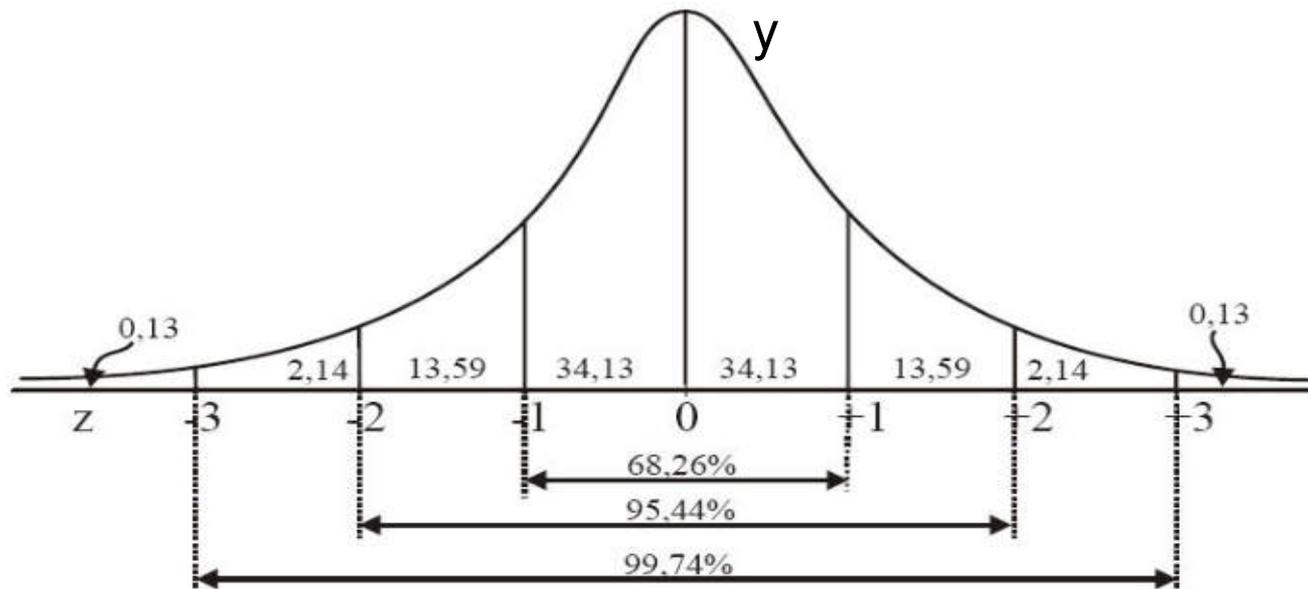
$$f_{ck_{est}} \geq f_{ck}$$

LEMBRETE: moldar e romper corpos de prova somente, não é fazer controle de qualidade do concreto

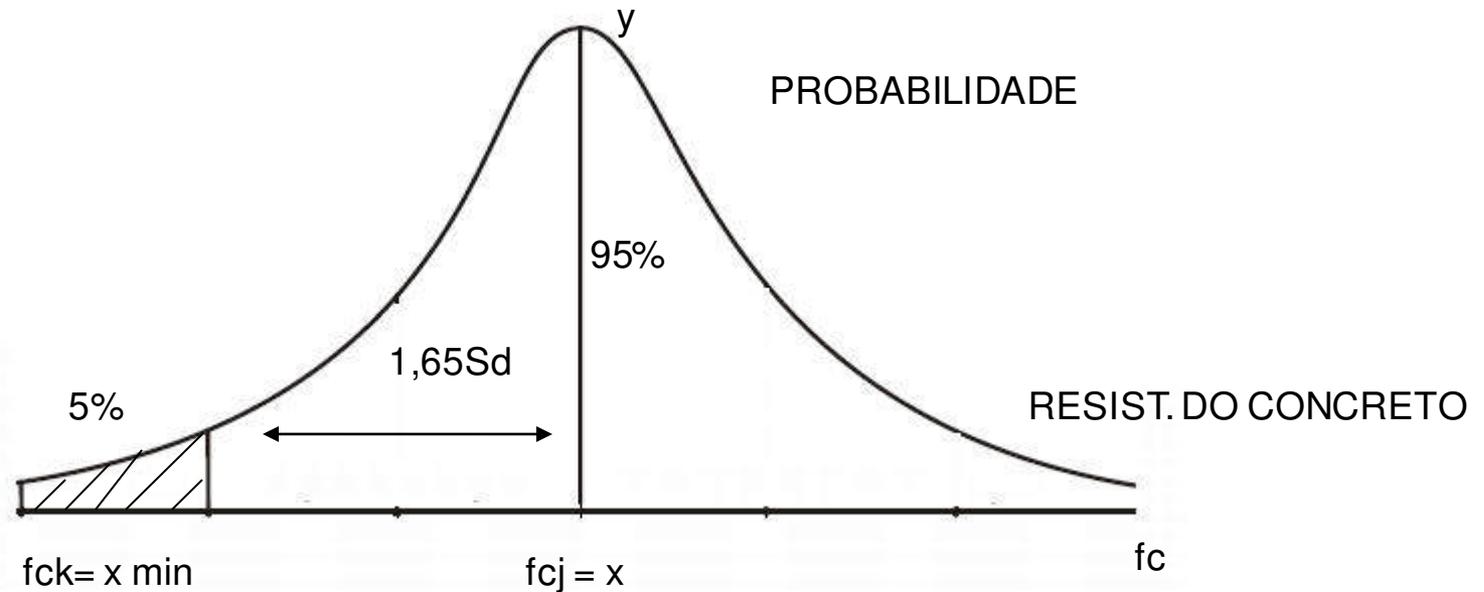
O modelo probabilístico considerado para a distribuição aleatória da resistência à compressão do concreto é o modelo gaussiano

- Distribuição Normal de Probabilidades**

(Curva de Gauss) (normal 0;1 / média = 0 / desvio padrão = 1)



$$y = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}$$

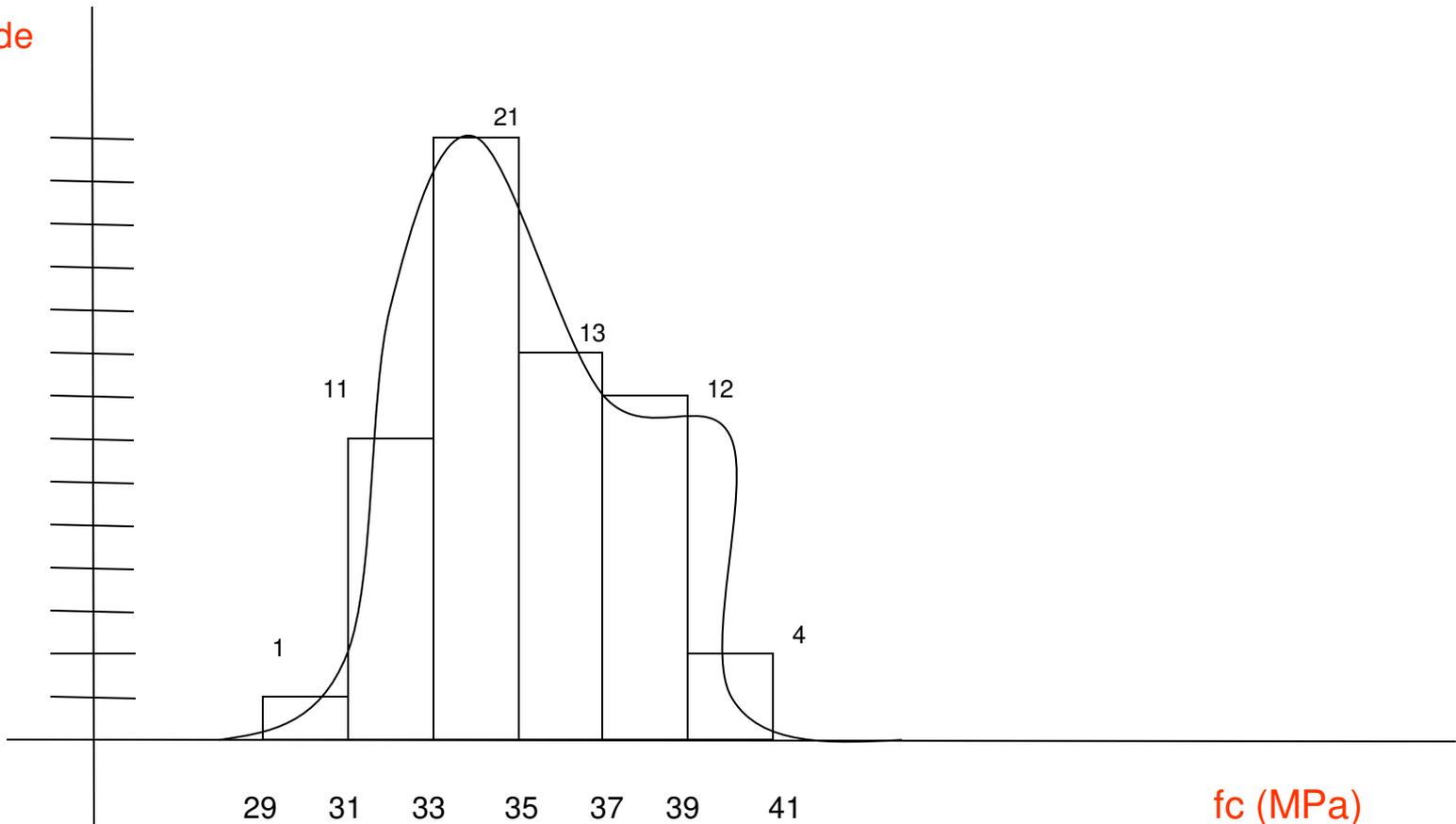


$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65S_d$$

(TENSÃO MÉDIA DE DOSAGEM)

ANÁLISE DE UM CASO REAL

Frequência de
resultados



RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS

Nº de resultados

$N = 62$

Valor médio

$X = 35,2 \text{ MPa}$

Desvio padrão

$s = 2,4 \text{ MPa}$

Coeficiente de variação

$V\% = 6,8\%$

% de valores no intervalo $x \pm 1s$

$32,8 < P\% < 37,6$ $(42/61) \times 100 = 66,13\%$

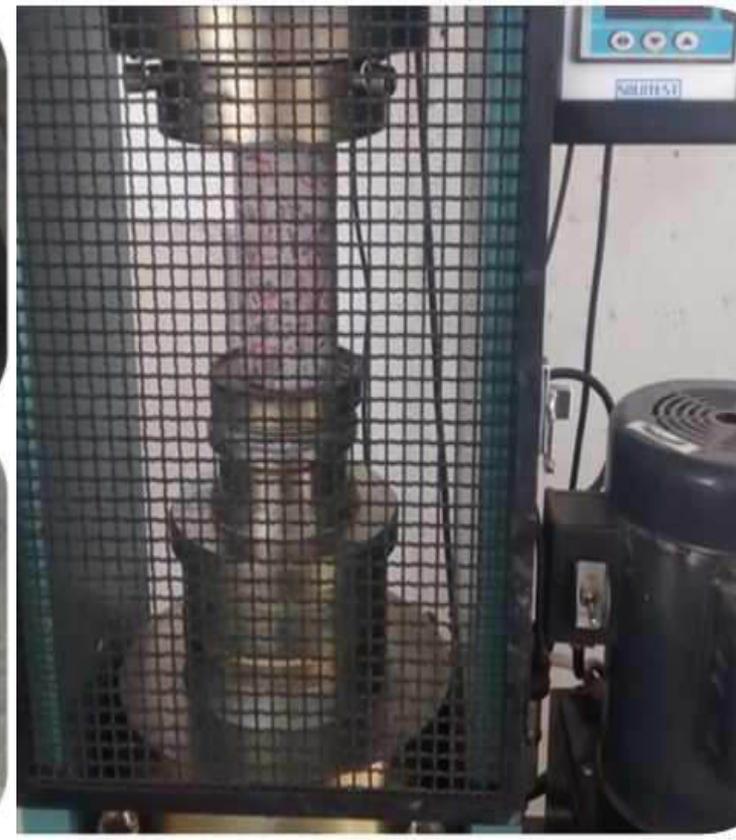
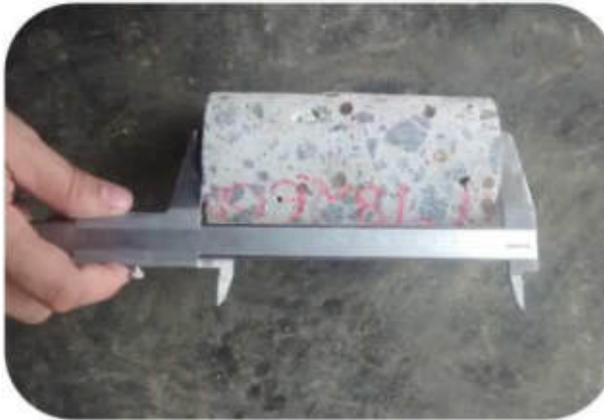
% de valores no intervalo $x \pm 2s$

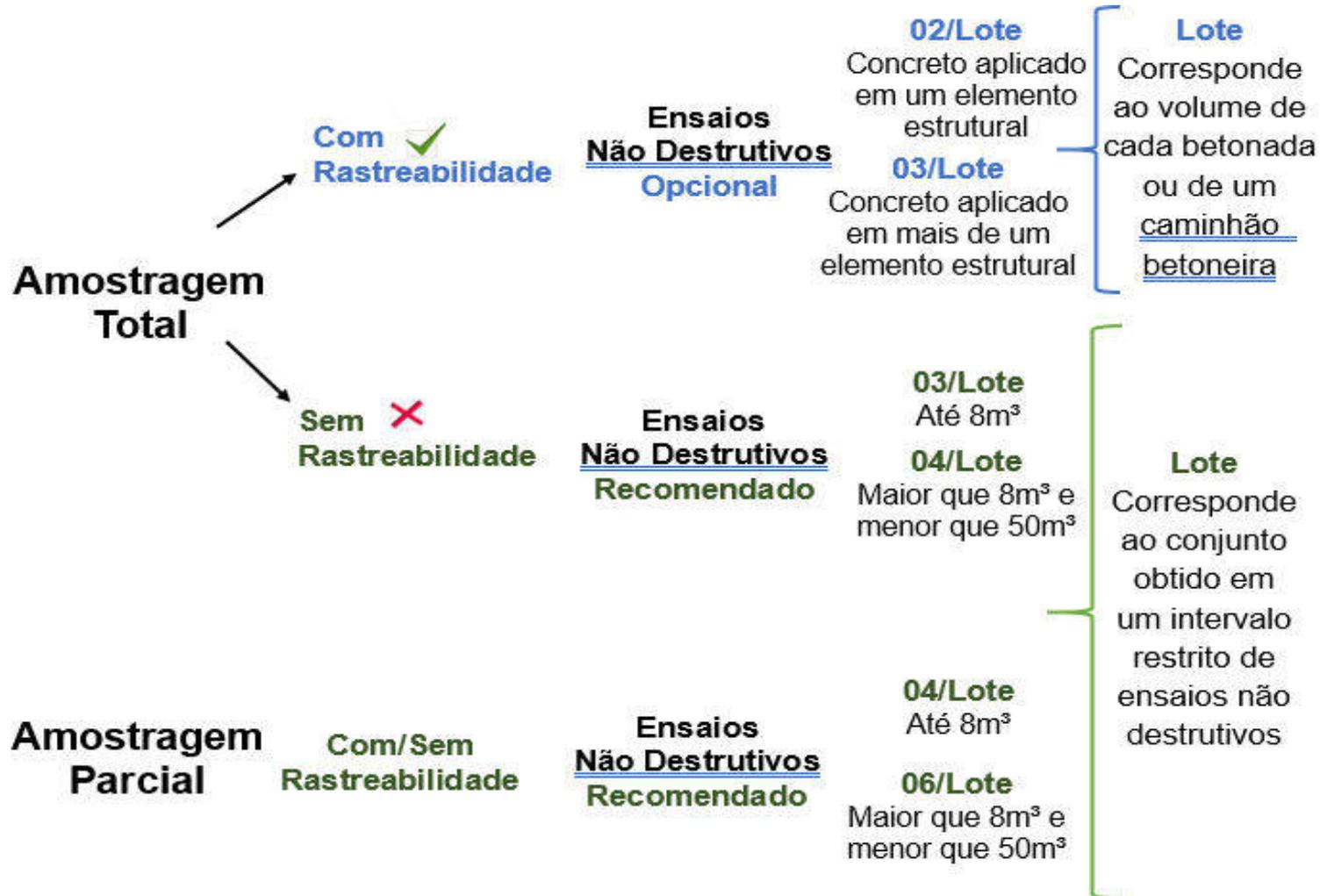
$30,4 < P\% < 40,0$ $(59/62) \times 100 = 95,16\%$

➤ Em Caso de Não Conformidade

- a) Realizar ensaios não destrutivos (de dureza esclerométrica e ultrassônicos) como avaliação preliminar da homogeneidade do concreto;
- b) Extração de testemunhos - amostragem:
 - Extração de Testemunhos (ABNT NBR 7680-1:2015) – Critérios de Amostragem







Para testemunhos de Ø50mm o número de testemunhos deverá ser o dobro.

Cálculo

$$f_{ci,ext} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] \times f_{ci,ext,inicial}$$

K1 - Relação h/d

Valores de k_1

<i>h/d</i>	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
k_1	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14

K2 - Efeito do broqueamento em função do diâmetro

Diâmetro do testemunho (d_t) mm	≤ 25	50 ^a	75	100	≥ 150
k_2	Não permitido	0,12	0,09	0,06	0,04

^a Neste caso, o número de testemunhos deve ser o dobro daquele estabelecido na Tabela 1.

K3 - Direção da extração em relação ao lançamento do concreto

Para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (como pilares, cortinas e paredes moldados no local), $k_3 = 0,05$. Para extrações realizadas no mesmo sentido do lançamento (como lajes), $k_3 = 0$.

K4 - Efeito da umidade do testemunho

Os corpos de prova devem ser rompidos saturados (neste caso, $k_4 = 0$). No caso de ensaio do testemunho seco ao ar, $k_4 = -0,04$. Esta correção deve ser aplicada ao resultado de ruptura e informada no relatório do ensaio.

✓ Em Caso de Não Conformidade

- Aceitação e Avaliação Final

A estimativa da resistência característica do lote **para fins de verificação da segurança estrutural** é dada pela média dos resultados individuais daquele lote, conforme a equação a seguir:

$$f_{ck,ext,seg} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci,ext,seg}}{n}$$

A resistência de projeto f_{cd} a ser usada na verificação da estrutura deve ser calculada, utilizando-se a minoração de γ_c prevista na ABNT NBR 6118.

Para a avaliação da qualidade do concreto entregue, devem ser considerados todos os resultados emitidos pelo laboratório de ensaios, já corrigidos pelos coeficientes k_1 a k_4 , conforme a equação a seguir:

$$f_{ci,ext,pot} = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) \times f_{ci,ext}$$

Deve ser considerado para comparação com f_{ck} , o maior valor de resistência dos testemunhos extraídos de cada lote, $f_{c,ext,pot}$, corrigidos pelos coeficientes estabelecidos nesta Norma. O concreto deve ser aceito quando se obedecer à seguinte relação:

$$f_{c,ext,pot} \geq f_{ck}$$

✓ Ensaio de prova de carga da estrutura

- Quando indicada deve ser realizada conforme a ABNT NBR 9607:2012
- No caso de possibilidade de **ruptura frágil**, a prova de carga não é um recurso recomendável. Deve ser feito um **monitoramento continuado** do carregamento e da resposta da estrutura, de modo que esta **não seja danificada durante a execução do ensaio**.

✓ Não conformidade final

Constatada a não conformidade final de parte ou do todo da estrutura, deve ser escolhida e aplicada uma das seguintes alternativas:

- a) **determinar as restrições de uso da estrutura**;
- b) **providenciar o projeto de reforço**;
- c) **decidir pela demolição** parcial ou total da estrutura.

✓ ABNT NBR 7212:2012 – Execução de concreto dosado em central - procedimento

a) Pedido do concreto

Pela resistência característica à compressão. Especifica-se: **fck**, o **D_{máx}** do agregado e o **abatimento** do concreto fresco (“slump”) ou **espalhamento**.

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

Classe	Espalhamento mm	Método de ensaio
SF1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
SF2	660 a 750	
SF3	760 a 850	

b) Mistura parcial na central e complementação na obra

- Os materiais componentes do concreto são colocados no caminhão betoneira, com parte da água, que é complementada na obra imediatamente antes da mistura final e descarga. Deve haver um rigoroso controle e registro da quantidade de água adicionada na central e a ser complementada na obra, para que não ultrapasse a quantidade prevista no traço.
- Parte dos materiais componentes do concreto (tais como **fibras, aditivos, gelo, etc**) **pode ser adicionada na obra** imediatamente antes da mistura final e descarga, desde que previamente acordado entre as partes e especificado na formulação.

c) Adição suplementar de água (que ultrapassa a prevista na dosagem)

- **Não é permitida a adição suplementar de água antes da descarga.** Caso este fato ocorra por exigência do contratante, deve ser registrado no documento de entrega, eximindo a empresa de serviços de concretagem de qualquer responsabilidade quando às características do concreto constante do pedido.

d) Adição suplementar de aditivo

- **Admite-se a adição suplementar de aditivo superplastificante** antes do início da descarga, desde que a consistência final não ultrapasse a faixa prevista.

e) Tempo de transporte

O tempo decorrido entre o início da mistura a partir do momento da 1^a adição da água até a entrega do concreto deve ser:

- Fixado de forma que o fim do adensamento não ocorra após o início da pega do concreto lançado e das camadas ou partes contíguas a essa remessa (evitando-se a formação de “junta fria”);
- Inferior a 90min para veículos dotados de equipamentos de agitação (caminhões betoneira);
- Inferior a 40min, para veículos não dotados de equipamento de agitação (caminhões basculantes)*;

(*) Desde que devido as características da mistura e às condições de transporte, fique garantida a não separação das partes componentes do concreto e o abatimento seja igual ou inferior a 40mm.

f) Período de tempo para as operações de lançamento e adensamento do concreto

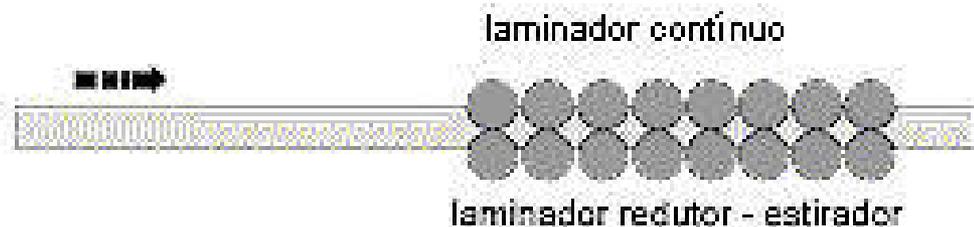
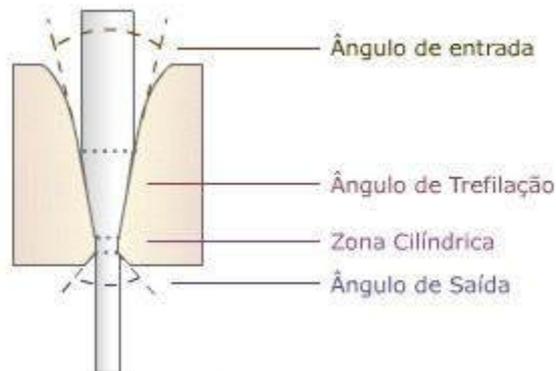
1. **Iniciados em até 30min** após a chegada do caminhão betoneira na obra. Em situações excepcionais, o contratante deve avaliar previamente a melhor solução técnica junto a empresa prestadora de serviços de concretagem.
2. **Realizados em até 150min**, contados a partir da primeira adição de água. Após este prazo fica a empresa prestadora de serviços de concretagem eximida da responsabilidade do concreto aplicado.
3. **Realizados em tempo inferior a 60min**, contados a partir da primeira adição de água, no caso de **veículo não dotado de equipamento de agitação**.

g) Temperatura de lançamento do concreto

- Entre 5°C e 30°C, conforme a ABNT NBR 14931:2004. Fora desses limites devem ser tomados cuidados especiais acordado entre as partes. A temperatura do concreto por ocasião do seu lançamento deve ser fixada de modo a **evitar a ocorrência de fissuração de ordem térmica.**
- **Devem ser verificadas as experiências anteriores e condições especiais,** tais como temperatura e umidade relativa do ambiente, propriedades do cimento, características dos materiais, peculiaridades da obra, uso de aditivos retardadores, refrigeração e outras, em função das quais podem ser alterados os tempos (prazos) de transporte e descarga do concreto.

✓ Controle tecnológico das armaduras

- **ABNT NBR 7480:2007** - Barras e fios destinados a armadura para concreto armado.
- **Fios $2,4 \leq \varnothing \leq 10\text{mm}$** obtidos por trefilação
(2,4; 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5,0; 5,5; 6,0; 6,4; 7,0; 8,0; 9,5; 10,0mm)
- **Barras $6,3 \leq \varnothing \leq 40\text{mm}$** obtidos por laminação a quente
(6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 22,0; 25,0; 32,0; 40,0mm)
- **Categorias:** CA-25 , CA-50 , CA-60;



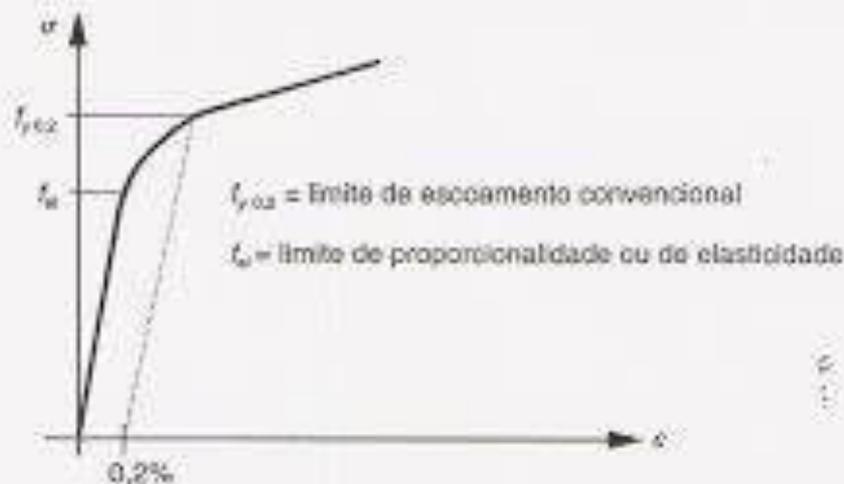
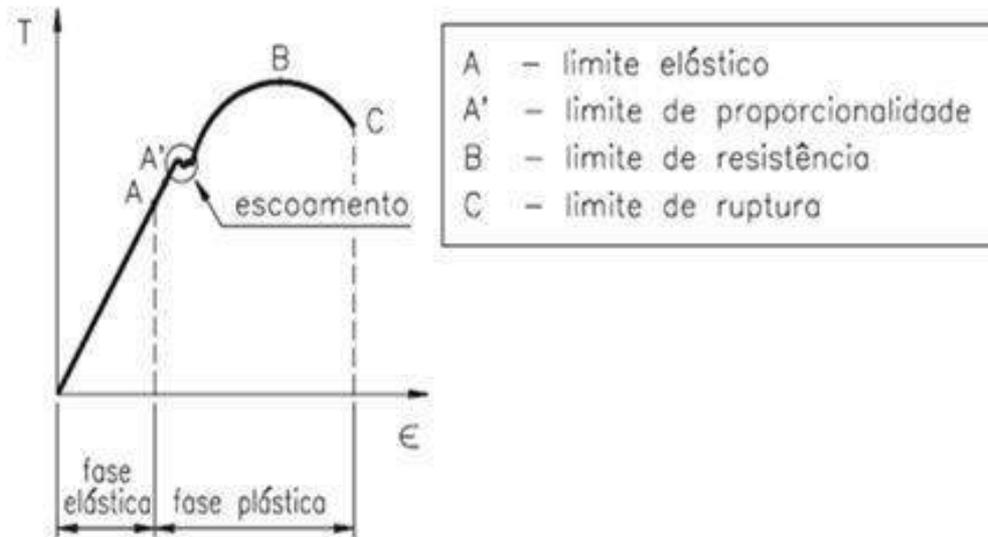


Diagrama convencional tensão x deformação de material sem presença de escoamento;

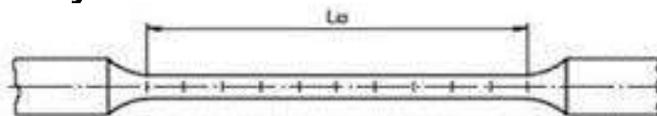
✓ Controle Tecnológico das Armaduras

- **Dimensão nominal:** nº correspondente ao valor em milímetros do diâmetro da seção transversal nominal do fio ou da barra;
- **Lote:** grupo de barras ou fios de procedência identificada, da mesma categoria e com o mesmo diâmetro nominal, mesmos revestimentos e configuração geométrica superficial, cuja massa total não exceda a 30t;
- **Fornecimento** : conjunto de lotes que perfaz a quantidade total da encomenda;
- **Amostragem:** extração aleatória de 03 barras com no mínimo 1,50m de comprimento para lotes identificados e 06 barras para lotes não identificados (nos quais não é possível garantir a sua rastreabilidade até a produção);
- Se a amostra não satisfizer os requisitos especificados deve ser feito uma **contra prova com 06 novos exemplares** para lotes identificados e **12 novos exemplares** para lotes não identificados;

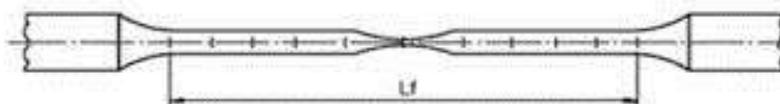
✓ Ensaio de Tração - ABNT NBR ISO 6892-1:2013

- comprimento L_0 igual a 10 diâmetros nominais;
- A resistência de escoamento de barras e fios de aço pode ser caracterizada por **patamar no diagrama tensão-deformação** ou calculada pelo valor da tensão sob a carga correspondente a **deformação permanente de 0,2%** ou sob carga correspondente a deformação de 0,5%. Em caso de dúvida permanece o valor obtido a 0,2%.

EX: para o CA-25 $f_{yk} > 250 \text{ MPa}$ (25 Kgf/mm²)
para O CA-50 $f_{yk} > 500 \text{ MPa}$ (50 Kgf/mm²)
para O CA-60 $f_{yk} > 600 \text{ MPa}$ (60 Kgf/mm²)
 f_{yk} = resistência característica de escoamento



corpo de prova antes do ensaio de tração



corpo de prova depois do ensaio de tração



✓ Ensaio de Dobramento - ABNT NBR ISO 7438:2016

- O corpo-de-prova deve ser dobrado a **180 graus** em um pino com diâmetro especificado **sem ocorrer ruptura ou fissuração** na zona tracionada.



✓ **ABNT NBR ISO 7482:2008 Fios de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação**

4.1 Classificação

4.1.1 Conforme a resistência à tração, os fios classificam-se em:

- a) categoria (CP-145);
- b) categoria (CP-150);
- c) categoria (CP-160);
- d) categoria (CP-170);
- e) categoria (CP-175).

4.1.2 Conforme o comportamento na relaxação, os fios classificam-se em:

- a) relaxação normal - RN;
- b) relaxação baixa - RB.

4.1.3 Conforme acabamento superficial, os fios classificam-se em:

- a) liso - L;
- b) entalhado – E.

NOTA O entalhe não deve ter profundidade superior a 3,5 % do diâmetro nominal do fio.

4.1.4 Os números 145, 150, 160, 170 e 175 correspondem ao limite mínimo de resistência à tração na unidade kgf/mm^2 . Para os efeitos desta Norma, considera-se $1 \text{ kgf} / \text{mm}^2 = 9,81 \text{ MPa}$.

✓ Controle Básico de Execução de Concreto Armado

FASE DE EXECUÇÃO	ITENS QUE SE CONTROLAM
. ANTES DA CONCRETAGEM	. Revisão das plantas de projeto e de obra;
	. Materiais: Cimento , agregados , água, aditivos, aço;
	. Dosagem do concreto;
	. Equipamentos: Betoneiras, equipamento de transporte , vibradores, equipamento de laboratório(formas, "speedy", etc);
	. Dispositivos de segurança;
	. Escoramentos, formas e andaimes;
	. Posição das armaduras ,dobramento e transpasse;
	. Previsão de juntas;
	. Previsão de concretagem em condições especiais : tempo frio , tempo quente, sob chuva.

FASE DE EXECUÇÃO	ITENS QUE SE CONTROLAM
	. Fabricação (preparo), transporte e lançamento do concreto;
. DURANTE A CONCRETAGEM	. Adensamento ou compactação;
	. Juntas;
	. Concretagem em condições especiais: (tempo quente, tempo frio , sob chuva)
	. Cura , retirada de escoramento e desforma;
. APÓS A CONCRETAGEM	. Tolerâncias dimensionais, flechas e contra-flechas, acabamento de superfícies, etc;
	. Transporte e colocação de peças pré-fabricadas. Previsão de ações mecânicas durante a execução;
	. Reparação de defeitos superficiais.

✓ **ACOMPANHAMENTO DE OBRAS E CONTROLES ESPECIAIS**

- 1) “CHECK LIST” DE INSPEÇÃO (Itens sugeridos)
 - a) Dados gerais sobre o projeto e a estrutura
 - b) Organização do canteiro de obras
 - c) Materiais empregados
 - d) Formas e escoramentos
 - e) Armaduras
 - f) Fabricação do concreto
 - g) Transporte, lançamento, adensamento, cura e juntas
 - h) Controle tecnológico
 - i) Acabamentos e reparos
 - j) Avaliação

✓ **ACOMPANHAMENTO DE OBRAS E CONTROLES ESPECIAIS**

2) INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DE OBRAS

- Observações do comportamento de obras referentes à:
 - a) Recalques;
 - b) Pressões;
 - c) Tensões / deformações;
 - d) Fissuras e trincas;
 - e) Aberturas de juntas;
 - f) Variações de temperaturas;
 - g) Deslocamentos;
 - h) Outros itens especiais.

✓ **ACOMPANHAMENTO DE OBRAS E CONTROLES ESPECIAIS**

2) INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DE OBRAS

- Na auscultação de estruturas e de suas fundações, a instrumentação utilizada abrange:
 - a) Medidores mecânicos (“alongômetros”)
 - b) Medidores óticos (clinômetros)
 - c) Medidores pneumáticos (ex.: Piezômetros)
 - d) Medidores elétricos (extensômetros elétricos ou “strain gages”)
 - e) Medidores elétricos embutidos (extensômetros, tensômetros , piezômetros)
 - f) Medidores de temperatura (termômetros)
 - g) Instalação de pêndulos
 - h) Células de cargas, barras instrumentadas
 - i) Acelerômetros, medidores de recalque magnéticos, etc.
 - j) Instalações adequadas de pinos e marcos de referência (“bench-mark”), referenciais de nível, deflectômetros, etc.

✓ **PROVAS DE CARGA**

Objetivo: verificação do comportamento tensão - deformação de elemento estrutural, da estrutura ou do terreno de fundação submetidos a carregamentos adequados e planejados.

Por meio de instrumentação (ex.: extensômetros) adequadamente instalada, verificam-se as deformações do elemento estrutural em análise e obtêm-se diagramas do tipo tensão x deformação ou carga x recalque.

Deve-se programar adequadamente para a **execução da prova de carga**:

- . Os sistemas de referências e leituras;
- . Sistema e velocidade de carregamento;
- . Medições da temperatura (p/ avaliação das deformações térmicas);
- . Sistemas de montagem e reação.

Provas de carga – Normalização:

ABNT NBR 9607:2019 - Prova de carga estática em estruturas de concreto – Requisitos e procedimentos

ABNT NBR 12131:2006 - Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio

ABNT NBR 6489:2019 Prova de Carga Estática em fundação direta