

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil
Departamento de Estruturas

Concreto

Notas de aula da disciplina

AU414 - Estruturas IV- Concreto armado

Prof. Msc. Luiz Carlos de Almeida

Agosto/2002

Índice

1.	Materiais que compõem o concreto	3
2.	Fatores que influem na qualidade do concreto	3
3.	Classificação dos concretos	4
4.	Cimento	5
5.	Agregados	5
6.	Água de amassamento	6
7.	Aditivos para concreto	6
8.	Propriedades do concreto fresco	7
8.1.	Consistência e trabalhabilidade	7
8.2.	Exudação	8
9.	Propriedades do concreto endurecido	8
9.1.	Peso específico	8
9.2.	Deformações	9
9.2.1.	Retração	9
9.2.2.	Influência da temperatura	10
9.2.3.	Deformação imediata	10
9.2.4.	Deformação lenta	10
9.3.	Diagrama tensão-deformação	11
9.4.	Módulo de deformação longitudinal	13
9.5.	Coefficiente de Poisson	14
9.6.	Resistência à compressão	14
9.7.	Resistência à tração	18
10.	Bibliografia	24

Concreto

1. Materiais que compõem o concreto

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre aglomerante e água. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar:

- As propriedades de cada um dos materiais componentes;
- As propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las;
- O proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura;
- O modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento.

Denomina-se de pasta a mistura do cimento com água, e de argamassa a mistura da pasta com agregado miúdo. Considera-se concreto a argamassa à qual foi adicionado agregado graúdo.

2. Fatores que influem na qualidade do concreto

Para obterem-se as características essenciais do concreto, como a facilidade de manuseio quando fresco, boa resistência mecânica, durabilidade e

impermeabilidade quando endurecido, é preciso conhecer os fatores que influem na sua qualidade.

- **Qualidade dos materiais**
Materiais de boa qualidade produzem concreto de boa qualidade;
- **Proporcionamento adequado**
Deve-se considerar a relação entre as quantidades: de cimento e de agregados, de agregados graúdo e miúdo, água e o cimento.
- **Manipulação adequada**
Após a mistura, o concreto deve ser transportado, lançado nas formas e adensado corretamente.
- **Cura cuidadosa**
A hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto.

3. Classificação dos concretos

- **Conforme o modo de fabricação:**
Fabricação no local;
Pré-misturado
- **Campo de aplicação:**
Concreto massa – utilizado em barragens.
Concreto estrutural – utilizado em edifícios e pontes.

- **Peso específico:**

Concreto pesado	$\gamma_c = 2,8$ a $5,0$ tf/m ³
Concreto normal	$\gamma_c = 2,0$ a $2,8$ tf/m ³
Concreto leve	$\gamma_c = 1,2$ a $2,0$ tf/m ³
Concreto leve para isolamento térmico	$\gamma_c = 0,7$ a $1,6$ tf/m ³

4. Cimento

O cimento é obtido aquecendo-se calcário e argila até a sintetização (clinker de cimento). Depois se mói a mistura até obter-se um produto de textura fina. Os cimentos como aglomerantes hidráulicos determinam as características do concreto.

5. Agregados

Como agregados podem ser utilizados materiais naturais e artificiais, que apresentem resistência suficiente e que não afetem o endurecimento do concreto. Os agregados devem por isso ser isentos de impurezas (terra, argila, humus) e de componentes prejudiciais (no máximo 0,02% de cloretos e 1% de sulfatos). O açúcar é especialmente perigoso, porque impede a pega do cimento.

A forma dos grãos e a conformação superficial influenciam muitas a trabalhabilidade e as propriedades de aderência do concreto: agregados redondos e lisos facilitam a mistura e o adensamento do concreto; agregados com superfícies ásperas aumentam a resistência à tração.

Utilizam-se predominantemente agregados naturais: areia e cascalho de rio, pedra ou cascalho britado e areia de britagem, obtidos de pedreiras. Estes

agregados dão origem ao concreto normal. Como agregados artificiais citam-se a escória de alto-forno para concreto leve e normal; argila expandida ou sintetizada para concreto leve.

6. Água de amassamento

Quase todas as águas naturais são apropriadas para amassamento. É necessário precaução quanto às águas de pântano e as de rejeito industrial. A água do mar é inadequada para estruturas de concreto armado e protendido devido à corrosão provocada pelo teor de sal.

O teor de água do concreto fresco é dado pelo fator água-cimento, isto é, pela relação em peso água-cimento. Esta relação varia geralmente entre 0,3 e 0,6. Quanto menor for o teor de água, maior é a resistência do concreto e menor é a trabalhabilidade.

7. Aditivos para concreto

Podem-se considerar como aditivos a incorporação de menos de 5% do peso de cimento, denominando-se adições àqueles produtos acrescentados ao concreto em quantidades maiores que 5%.

Os principais tipos de aditivos são: plastificantes, incorporadores de ar, retardadores de pega, aceleradores de pega, aceleradores de endurecimento, colorantes, impermeabilizantes

8. Propriedades do concreto fresco

8.1. Consistência e trabalhabilidade

A consistência traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionada com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto.

As operações de transporte, lançamento e adensamento do concreto devem permitir a obtenção de uma massa homogênea e sem vazios.

A trabalhabilidade não é apenas uma característica inerente ao próprio concreto, mas envolve também as considerações relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados.

Outro aspecto que deve ser considerado no estudo da trabalhabilidade do concreto é a segregação. A ausência de segregação é essencial para que se consiga a conveniente compacidade da mistura.

A segregação compreende a separação dos constituintes da mistura, impedindo a obtenção de um concreto com características de uniformidade satisfatórias.

A segregação pode ocorrer também como resultado de uma vibração exagerada. Um concreto em que isso venha a ocorrer será um concreto mais fraco e sem uniformidade.

8.2. Exudação

Exudação é a tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém lançado. Em conseqüência, a parte superior do concreto torna-se excessivamente unida, produzindo um concreto poroso e menos resistente.

A água, ao subir à superfície, pode carregar partículas finas de cimento, formando uma pasta, que impede a ligação de novas camadas de material e deve ser removida cuidadosamente.

A exudação pode ser controlada pelo proporcionamento adequado de um concreto trabalhável, evitando-se o emprego de água além do necessário. Às vezes corrige-se a exudação adicionando-se grãos relativamente finos, que compensam as deficiências dos agregados.

9. *Propriedades do concreto endurecido*

9.1. Peso específico

O peso específico do concreto endurecido depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulométrica e do método de compactação empregado. Será tanto maior quanto maior for o peso específico dos agregados usados e tanto maior quanto mais quantidade de agregado gráúdo contiver.

A variação do peso específico, contudo, é pequena, podendo-se tomar para o concreto simples um valor de 2,3 tf/m³ e para o concreto armado de 2,5 tf/m³.

9.2. Deformações

As deformações do concreto podem ser de duas naturezas:

- Deformações causadas por variação das condições ambientes: retração e deformações provocadas por variações de umidade e temperatura ambiente;
- Deformações causadas pela ação de cargas externas: deformação imediata, deformação lenta, deformação lenta recuperável e fluência.

9.2.1. Retração

A retração é a diminuição de volume do concreto desde o fim da cura até atingir um estado de equilíbrio compatível com as condições ambientes. A Figura 01 ilustra a variação da retração ao longo do tempo. É representada por ε_{cs} .

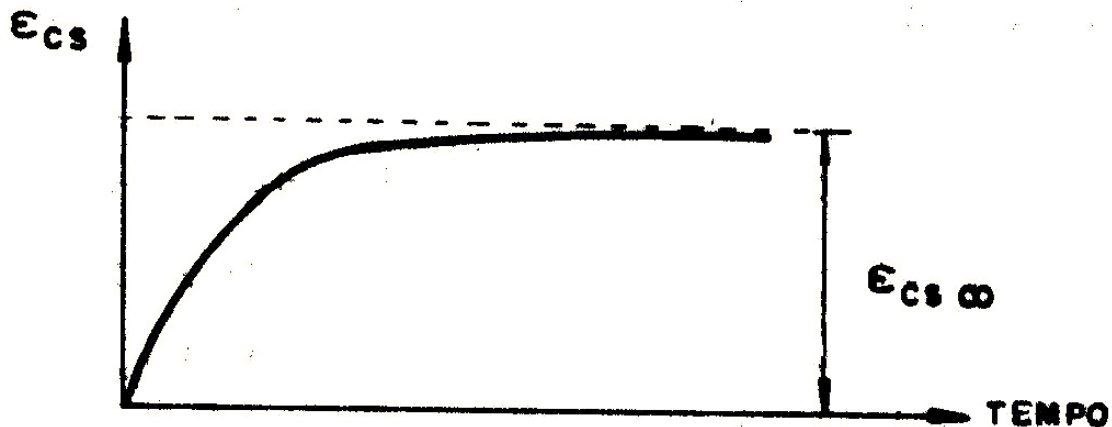


Figura 01

A retração se processa mais rapidamente até uns 3 a 4 meses e depois mais lentamente. Pode-se admitir que, para as dimensões usuais, um quarto da retração se dá aos 7 dias, um terço aos 14 dias e metade em 1 mês, três quartos em 6 meses.

9.2.2. Influência da temperatura

A variação da temperatura ambiente não se transmite instantaneamente ao concreto, mas tem uma ação retardada sobre a variação da temperatura deste, sendo de amplitude tanto menor quanto mais afastado da superfície exposta ao ar estiver o ponto considerado.

O coeficiente de dilatação térmica para o concreto armado, segundo a NBR 6118, é considerado igual a $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, salvo quando determinado especificamente para o concreto a ser usado.

Em peças permanentemente envolvidas por terra ou água e em edifícios que tenham, em planta, dimensão ou juntas de dilatação não superior a 30,00 m, dispensa-se à consideração da influência da variação da temperatura.

9.2.3. Deformação imediata

Deformação imediata é aquela observada por ocasião da aplicação da carga. É representada por ε_{co} .

9.2.4. Deformação lenta

Deformação lenta é o acréscimo de deformação que ocorre no concreto se a solicitação for mantida, e com a manutenção da carga ao longo do tempo. É representada por ε_{cc} .

Na Figura 02 apresenta a curva da variação das deformações com o tempo, para um corpo de prova exposto ao ar, indicando a retração e as deformações imediata e lenta.

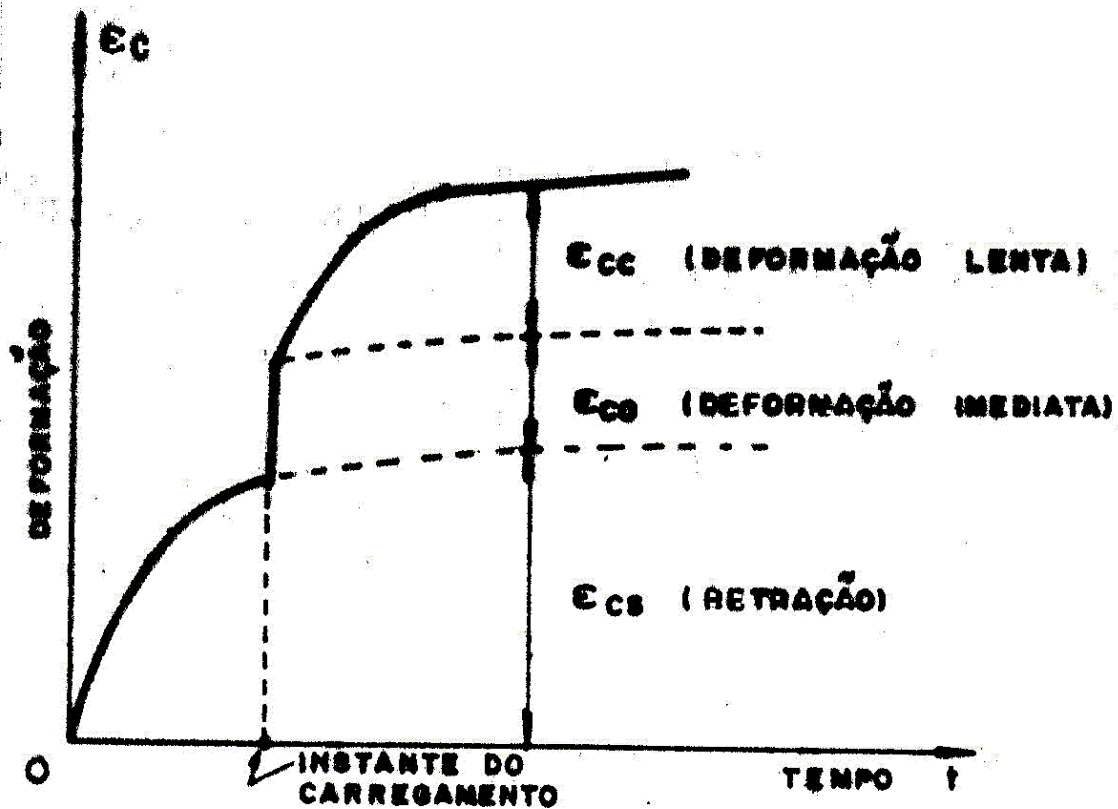


Figura 02

9.3. Diagrama tensão-deformação

O diagrama tensão – deformação do concreto é obtido em ensaio à compressão axial de um corpo de prova cilíndrico com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura.

A Figura 03 mostra apresenta diagramas de tensão – deformação do concreto para diferentes resistências.

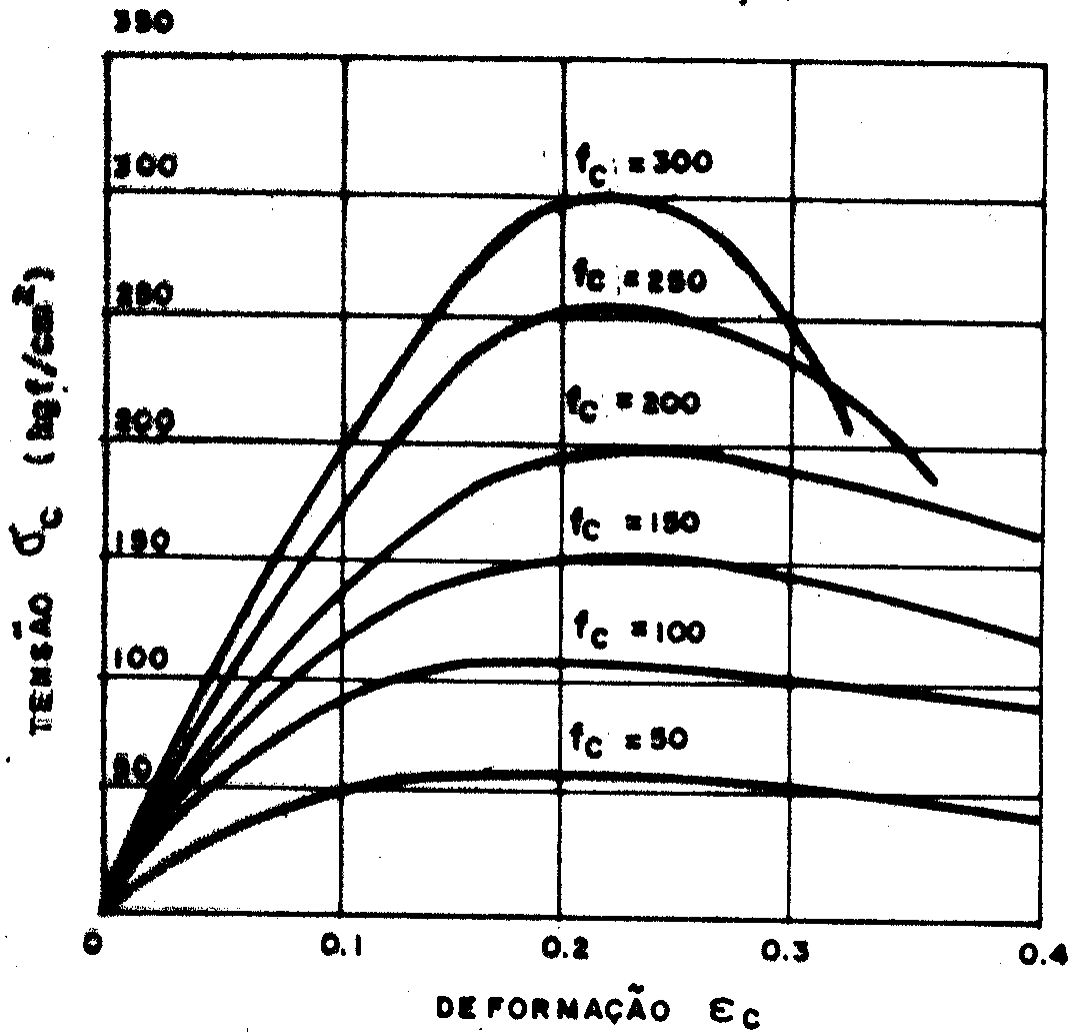


Figura 03

Todas as curvas são de características similares. Consistem de um trecho inicial relativamente reto, correspondendo a um comportamento elástico do concreto para tensões baixas, onde deformação é linearmente proporcional à tensão. Depois o diagrama começa a curvar, passando por um ponto de máxima tensão, que corresponde à resistência do concreto à compressão na sua idade, apresentando no final um ramo decrescente.

A deformação de ruptura do concreto, ε_{cc} , está na maioria dos casos entre 0,3% e 0,6%. A deformação correspondente à tensão máxima é da ordem de 0,2%, como pode ser observado na Figura 03.

9.4. Módulo de deformação longitudinal

O módulo de deformação longitudinal é dado pela relação tensão-deformação. Pelo fato dessa relação não ser linear, exceto no trecho inicial, o módulo de deformação longitudinal do concreto não é constante, mas nem por isso não é um número característico do concreto.

Há diferentes maneiras de se determinar o módulo de deformação do concreto que são: módulo de deformação tangente na origem, módulo de deformação secante e módulo de deformação tangente.

Tendo em vista o projeto de estruturas de concreto armado, a NBR 6118 permite que, quando não determinado experimentalmente, o módulo de deformação longitudinal à compressão, no início da curva tensão-deformação efetiva correspondente ao primeiro carregamento, seja calculado por:

$$E_{coj} = 21000\sqrt{fck + 35} \rightarrow em \text{ kgf} / cm^2$$

Na determinação de deformações para as cargas de serviço, quando a deformação lenta for nula ou desprezível, o módulo de deformação E_c a adotar é o módulo secante do concreto, suposto igual a 0,9 do módulo de deformação na origem, que poderá ser obtido por:

$$E_{cj} = 19000\sqrt{fck + 35} \rightarrow em \text{ kgf} / cm^2$$

Onde:

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

9.5. Coeficiente de Poisson

Toda a força ou tensão provoca, ao mesmo tempo, deformação no seu sentido de aplicação e também uma deformação no sentido transversal. A relação entre os valores absolutos da deformação transversal e da longitudinal é o coeficiente de Poisson ν .

A experiência tem demonstrado que o coeficiente de Poisson do concreto varia entre 0,11 a 0,21. A NBR 6118 admite para o concreto um coeficiente de Poisson relativo às deformações elásticas igual a 0,2.

9.6. Resistência à compressão

A resistência à compressão simples é a característica mais importante de um concreto. É determinada em corpos de prova padronizados para possibilitar que resultados de diferentes concretos possam ser comparados.

Observa-se que resultados da tensão ruptura (f_{cj}) obtidas no ensaio de diversos corpos de prova são mais ou menos dispersos em torno da resistência média (f_{cm}), conforme o rigor com que se confeccione o concreto.

Colocando-se uma série de valores de resistências de corpos de prova do mesmo concreto em um gráfico de distribuição, com as tensões medidas no eixo horizontal e as freqüências de ocorrência de um dado valor (ou intervalo de valor) no eixo vertical, obtém-se uma curva de distribuição normal, conforme mostrado na Figura 04. A área entre a curva e o eixo horizontal é igual a 1. Um valor qualquer da resistência divide esta área nas probabilidades de ocorrência de valores menores e maiores do que este valor. O valor de resistência que

tenha 95% de probabilidade de ser ultrapassado denomina-se *resistência característica à compressão do concreto, f_{ck}* .

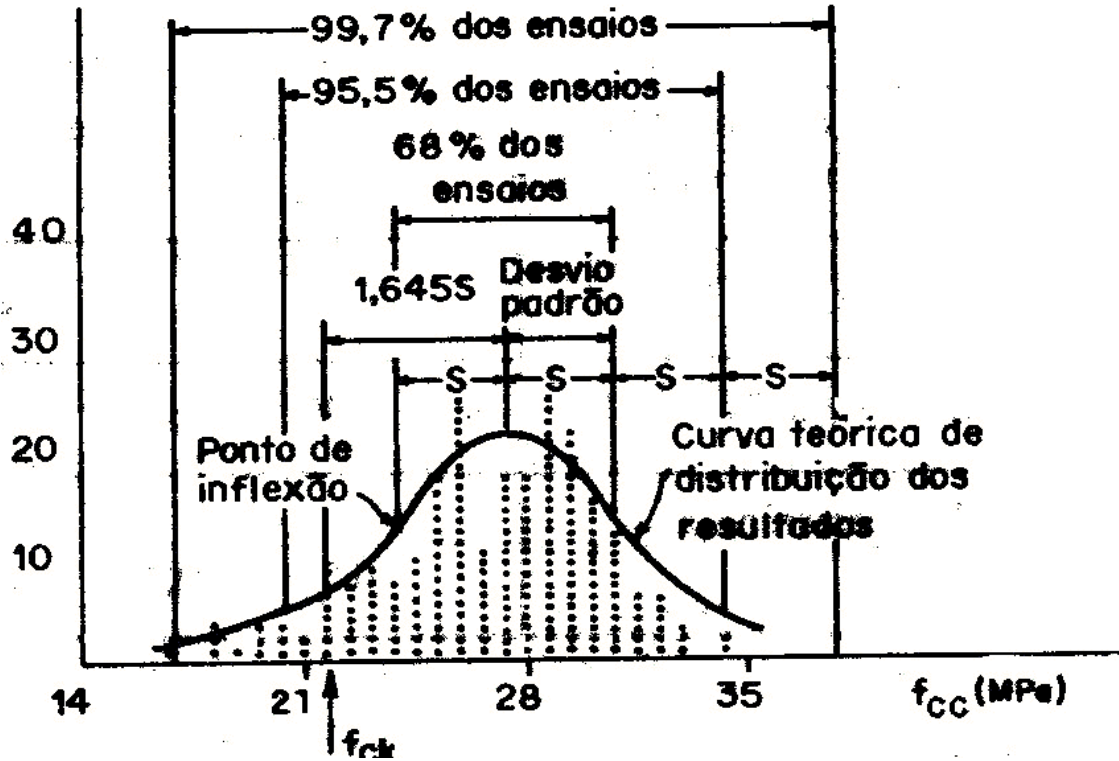


Figura 04

O valor de f_{ck} pode ser obtido em função do valor modal f_{cj} e do desvio padrão s :

$$f_{cj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_c$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_c - f_{cj})^2}{n-1}}$$

$$f_{ck} = f_{cj} - 1,645s$$

O valor do desvio padrão s pode ser estimado em função da qualidade de execução:

EXECUÇÃO	s (kgf/cm ²)
Ótima	25
Boa	40
Regular	55
Sofrível	70

A resistência do concreto à compressão, para um mesmo cimento, sofre influência de alguns fatores, como: fator água/cimento, idade do concreto, forma e dimensão do corpo de prova e qualidade dos materiais.

- **Fator água / cimento**

A lei que liga a resistência do concreto com o fator água cimento é representada pela curva da Figura 05.

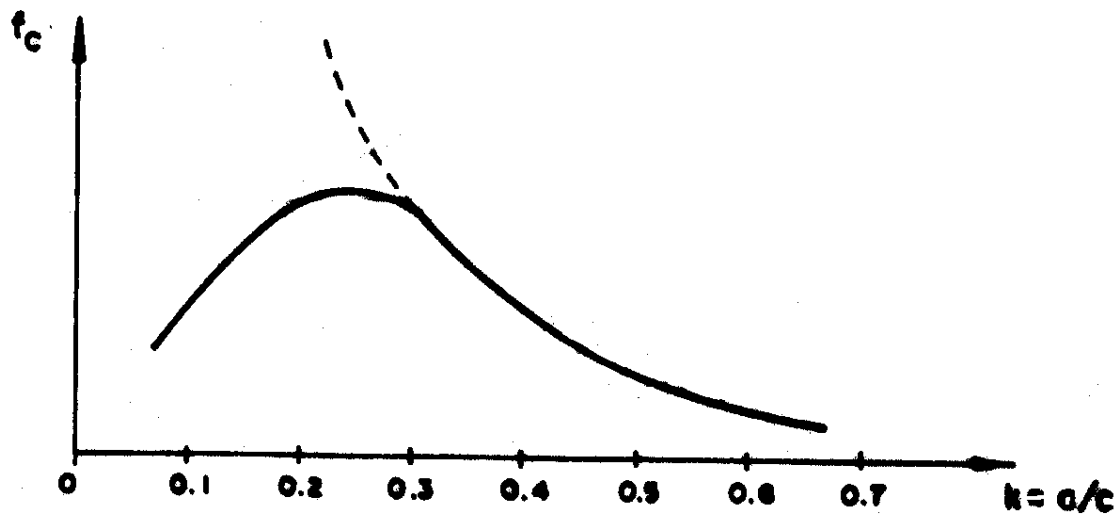


Figura 05

- **Idade do concreto**

A resistência do concreto aumenta com sua idade, conforme se observa na Figura 06.

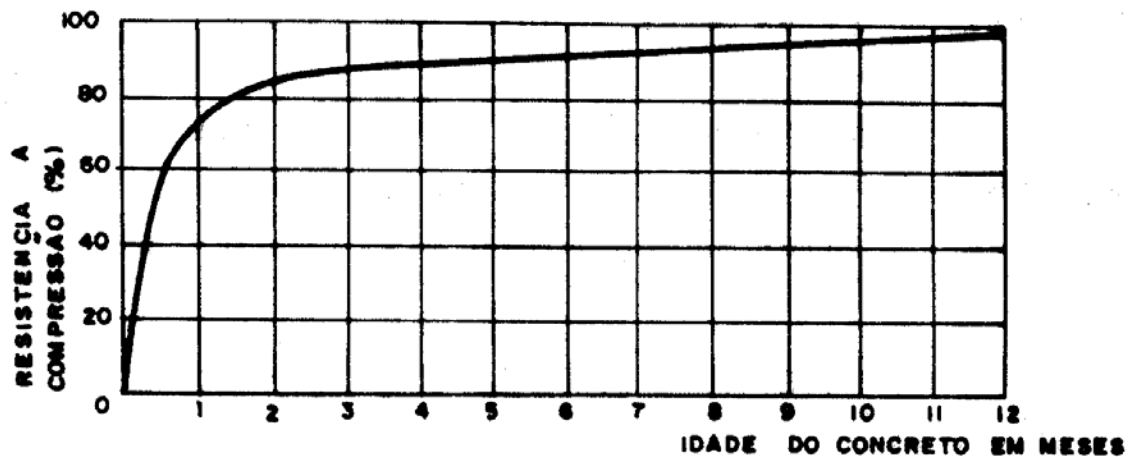


Figura 06

- **Forma e dimensão do corpo de prova**

Com a aplicação da carga, o corpo de prova encurta e dilata transversalmente. Teoricamente a deformação seria como apresentada na Figura 07-a. Entretanto, o atrito impede que a deformação do corpo de prova na proximidade dos pratos da máquina de ensaio acompanhe aquela da região central, resultando numa deformação como a indicada na Figura 07-b. Por essa razão o corpo de prova rompe com uma tensão mais elevada.

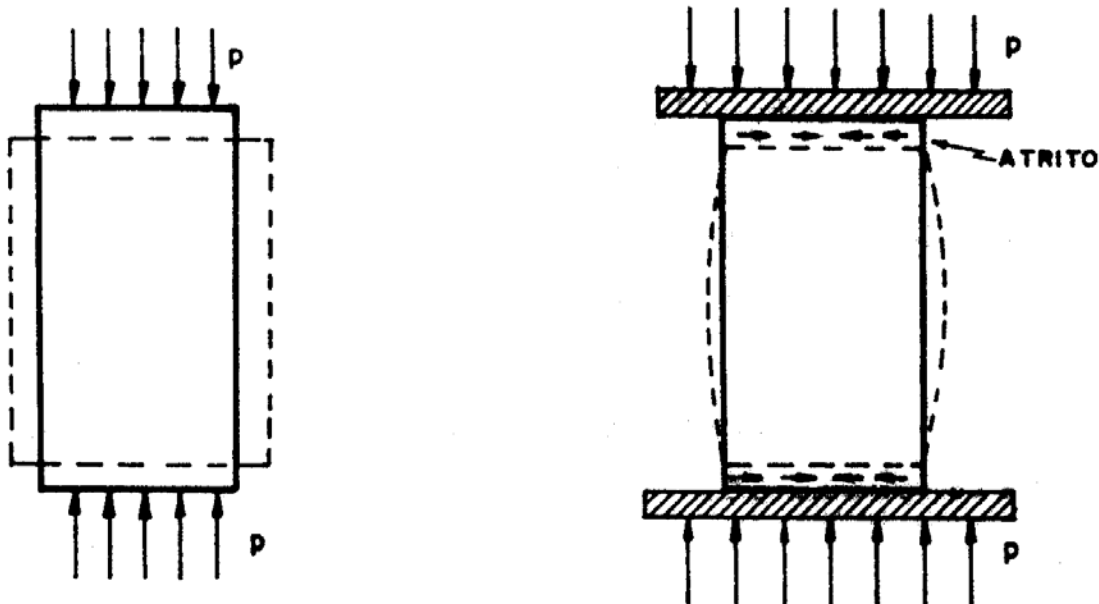


Figura 07

A forma do corpo de prova (cilíndrico, prismático ou cúbico) tem maior influência que as suas dimensões, sobre a resistência obtida para o concreto.

- **Qualidade dos materiais**

Materiais de boa qualidade resultam concretos de boa resistência, ao passo que materiais de qualidade inferior dão concretos de menor resistência.

9.7. Resistência à tração

A resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa.

De acordo com o método de ensaio obtém-s diferentes valores para a resistência à tração axial, resistência à tração na flexão e resistência à tração por compressão diametral.

- **Resistência à tração axial**

O ensaio para determinação direta da resistência à tração axial (f_t) do concreto é de difícil execução porque os resultados são muito influenciados pela forma de se proceder à tração na máquina de ensaio.

Os corpos de prova podem ter diferentes formatos, como indicado na Figura 08.

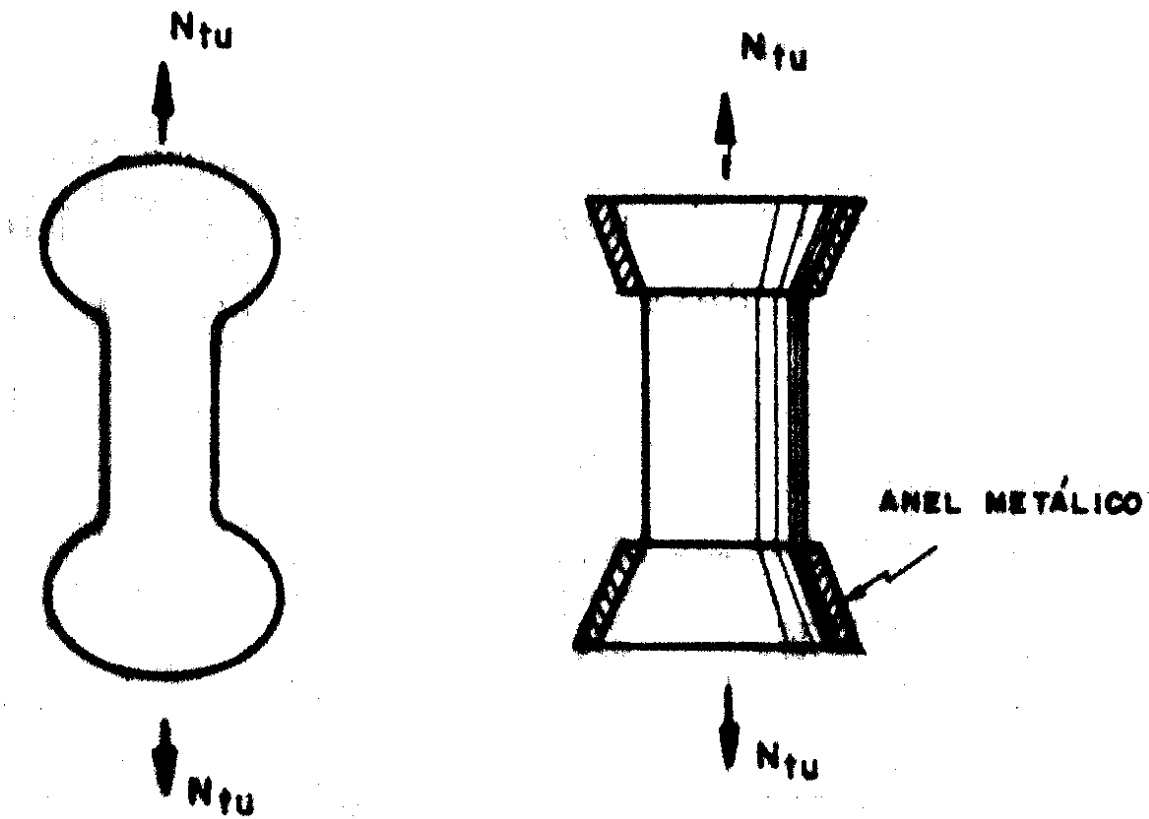


Figura 08

A resistência à tração é obtida por:

$$f_t = \frac{N_{tu}}{A_c}$$

Onde:

f_t = resistência à tração;

N_{tu} = força de tração de ruptura do corpo de prova;

A_c = área da seção transversal do corpo de prova.

- **Resistência à tração na flexão**

Em vista das dificuldades encontradas na realização do ensaio de tração axial, durante muitos anos a resistência à tração foi determinada através de ensaio de flexão.

Este ensaio é feito com corpos de prova de concreto simples, prismáticos, de seção quadrada e apoiada em dois cutelos, com a aplicação de duas cargas iguais e simetricamente dispostas em relação ao meio da vão, Figura 09.

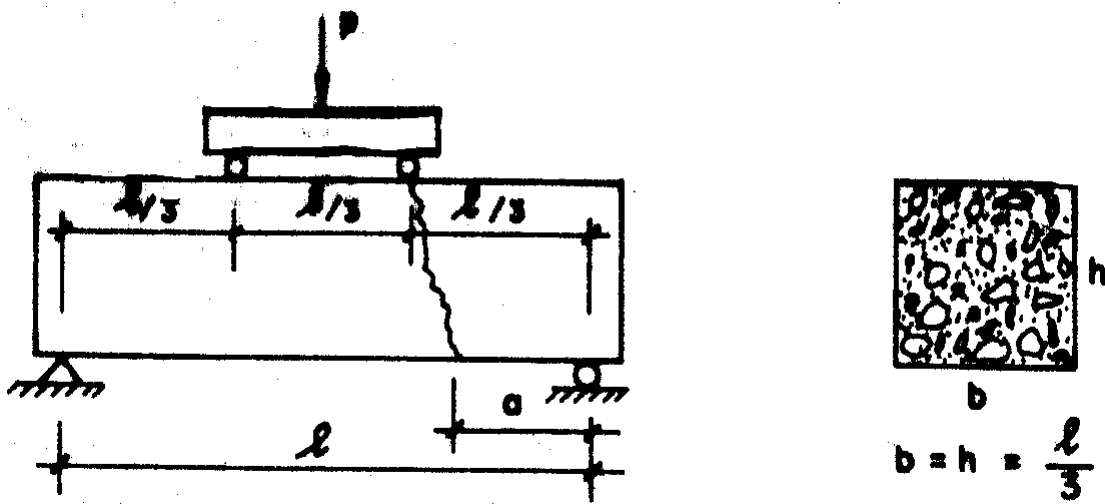


Figura 09

A resistência à tração na flexão, também chamada de módulo de ruptura, é a tensão de ruptura por tração no ensaio de flexão de viga de concreto simples, determinada pelas expressões:

$$f_t = \frac{Pl}{bh^2} \rightarrow \text{ruptura no terço médio}$$

$$f_t = \frac{3Pa}{bh^2} \rightarrow \text{ruptura em uma distância } a \geq 0,28l .$$

Observa-se experimentalmente, que a resistência à tração na flexão, determinada da maneira vista, é aproximadamente o dobro da resistência à tração axial. Isto se explica pelo fato de que, na ruptura da viga de concreto simples, não é verdadeira a hipótese de distribuição linear de tensões (hipótese de Navier), adotada na resistência dos materiais em $\sigma = \frac{M}{W}$, de onde foram obtidas as duas expressões acima.

Mesmo admitindo-se que as seções planas permaneçam planas após a deformação (hipótese de Bernouilli), a distribuição de tensão não é linear, mas é a apresentada na Figura 10, assim a tensão de tração que realmente ocorre na fibra mais afastada da linha neutra da peça fletida, no instante da ruptura, é bem menor que a calculada pela expressão anterior.

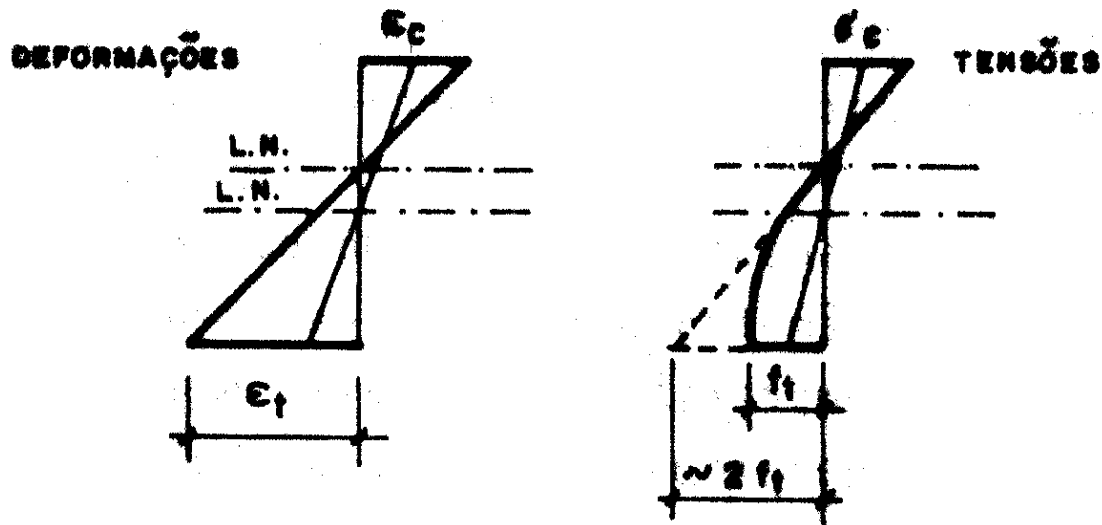


Figura 10

Por isso, quando a resistência do concreto a tração é determinada no ensaio de flexão, admite-se na prática

$$f_t = \frac{f_t \text{ na flexão}}{2}$$

- **Resistência à tração por compressão diametral**

É determinada em um ensaio de um corpo de prova cilíndrico de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura. Submetendo-se o cilindro a esforços de compressão linearmente distribuídos e diametralmente opostos, surgem tensões de tração perpendiculares ao plano do carregamento. A distribuição dessas tensões é praticamente uniforme na região central, conforme a Figura 11, e é dada por:

$$f_t = \frac{2P}{\pi dl}$$

Onde:

P = carga total aplicada diametralmente = pl

d = diâmetro do corpo de prova cilíndrico

l = comprimento do corpo de prova cilíndrico

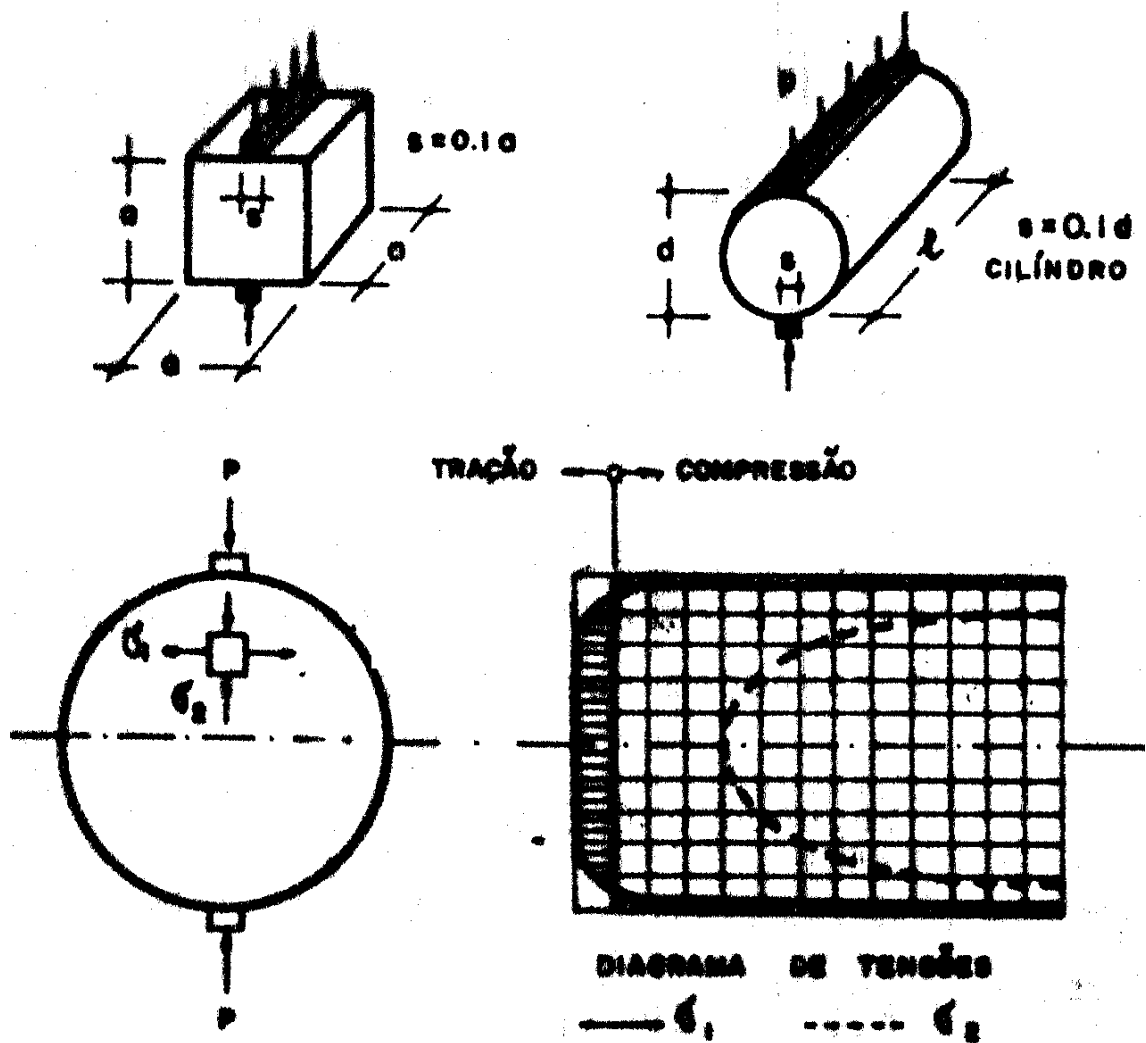


Figura 11

Experimentalmente observa-se que a resistência à tração axial é cerca de 80% a 85% menor que aquela determinada no ensaio de compressão diametral.

- Valores numéricos da resistência do concreto à tração

Na falta de resultados experimentais para a determinação da resistência característica de tração, podem-se empregar expressões que fornecem resultados com boa aproximação, segundo a NBR 6118:

$$f_{tk} = \frac{f_{ck}}{10} - \text{para} - f_{ck} \leq 180,0 - \text{kgf} / \text{cm}^2$$

$$f_{tk} = 0,06f_{ck} + 7\text{kgf} / \text{cm}^2 - \text{para} - f_{ck} \geq 180,0 - \text{kgf} / \text{cm}^2$$

10. Bibliografia

- 1 - Fernandes, G. B., Notas de aula, FEC-Unicamp, Campinas, 1980.
- 2 - Pfeil, W., Concreto Armado, vol 1, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio, 1985.
- 3 - Macgregor, J. G., Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice_Hal, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 1997.
- 4 - Rusch., H., Concreto armado e protendido, Editora Campus, Rio, 1981.