

Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio

Departamento de Arquitetura

Sistemas Estruturais na Arquitetura III

Notas de aulas - Concreto Armado

Conceitos e Funcionamento

Icléa Reys de Ortiz



# 1 Vantagens e Desvantagens do Concreto Armado - CA

## 1.1 Vantagens

- Economia

O material básico – brita e areia – em geral é encontrado próximo à obra e também a mão de obra utilizada não necessita de especialização.

- Forma

O concreto pode ser moldado nas mais diferentes formas, adequando-se aos diferentes projetos arquitetônicos e técnicas construtivas.

*“E tudo começou quando iniciei os estudos de Pampulha – minha primeira fase - desprezando deliberadamente o ângulo reto tão louvado e a arquitetura racionalista feita de régua e esquadro, para penetrar corajosamente nesse mundo de curvas e formas novas que o concreto armado oferece” – Oscar Niemeyer – ‘Niemeyer’ – editado por ocasião da exposição ‘Uma Homenagem a Oscar Niemeyer’ – Centro de Arquitetura e Urbanismo do Rio de Janeiro – novembro de 1998.*

- Estrutura Monolítica

Sendo uma estrutura monolítica, é em geral de alto grau de hiperestaticidade e por esta razão tem grandes reservas de segurança. Em contrapartida não é aconselhável quando desejamos uma estrutura desmontável.

- Manutenção

São estruturas de grande durabilidade e que praticamente não exigem grande trabalho de manutenção e conservação. Em termos de resistência, esta aumenta com o tempo.

- Grande resistência a:

- efeitos térmicos
- efeitos atmosféricos (grandes massas e portanto pequenas vibrações)
- desgastes mecânicos

## 1.2 Desvantagens

- Grande Peso Próprio

Seu peso específico é da ordem de  $25 \text{ kN/m}^3$  ( $2,5 \text{ t/m}^3$ ) podendo variar um pouco de acordo com os agregados utilizados.

Há também o concreto leve estrutural com peso específico variando de  $12$  a  $20 \text{ kN/m}^3$  ( $1,2$  a  $2,0 \text{ t/m}^3$ ) em que o agregado é a argila expandida. No Brasil esta argila é cara e este tipo de concreto então é utilizado somente em casos especiais - obras especiais de grandes vãos onde o peso próprio é a carga predominante – estruturas pré-moldadas onde a economia no transporte e na montagem justifiquem o gasto com o agregado.

- Pouca Proteção Térmica

Como a pedra, o CA absorve muito calor e o transmite para o interior da estrutura.

- Reformas e Demolições

As reformas e demolições são difíceis e caras.

## 2 Funcionamento do Concreto Armado

Sabemos da resistência dos materiais que a solicitação à flexão é do tipo mostrado abaixo pelo exemplo de uma viga bi-apoiada.

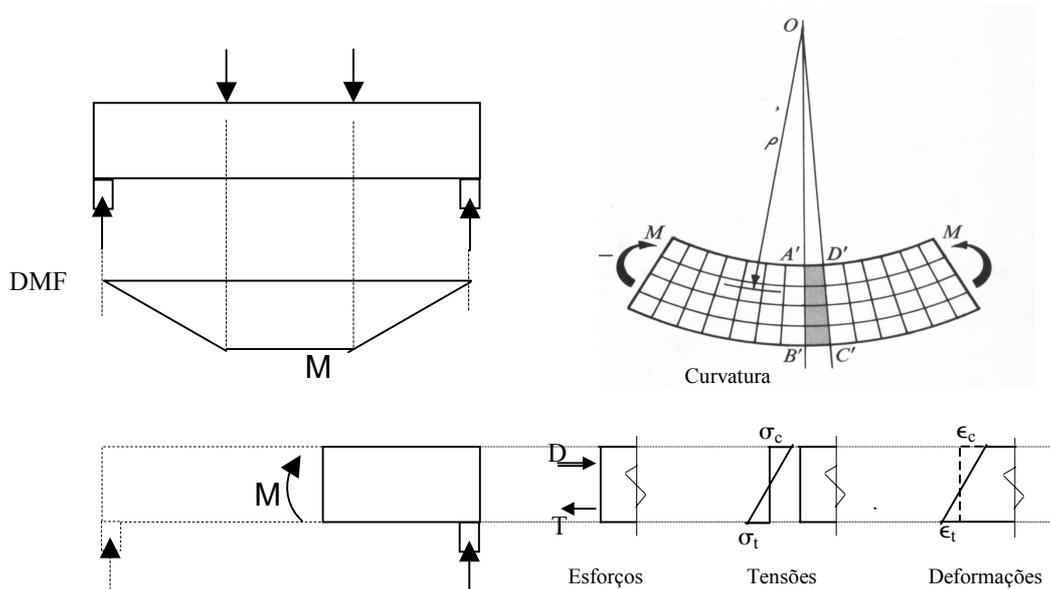


Figura 1 – Efeito do momento fletor na viga flexionada

O concreto tem alta resistência à compressão porém quase não resiste à tração.

Para esta solicitação de momento fletor ele romperia na face tracionada e cada vez mais o braço de alavanca entre D e T diminuiria e estes esforços aumentariam e assim por diante a peça romperia.

Surge então a necessidade de colocação do aço para combater a tração - deverá sempre existir barras de aço no lado das fibras distendidas!!!

Porém, o aço e o concreto deverão trabalhar solidarizados, pois se os materiais não trabalharem como uma única peça, as deformações ficam independentes e o efeito diminui muito. O desenho a seguir mostra duas peças trabalhando soltas e depois trabalhando solidarizadas, apresentando menores deformações.

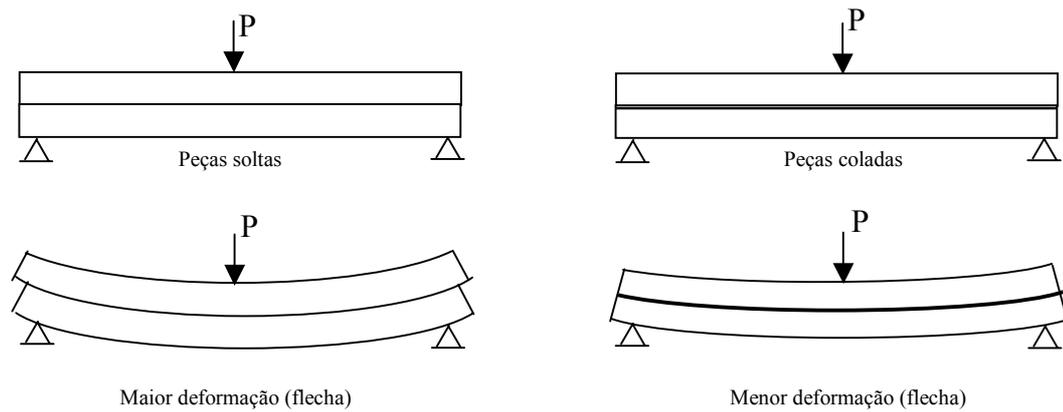


Figura 2 – Trabalho em conjunto

Quando temos duas peças simplesmente colocadas uma em cima da outra seu trabalho é independente e o ganho de resistência é muito pequeno. Quando as duas peças são solidarizadas, obrigando-se a que trabalhem juntas, há um ganho na altura total, aumentando consideravelmente a resistência da peça resultante. Faça uma experiência com um maço de folhas de papel - tente curvar o maço, mantendo as folhas soltas; agora tente curvÁ-lo segurando e pressionando firmemente as bordas das folhas, impedindo que uma deslize sobre a outra.

- Por esta razão o Concreto Armado somente é viável por causa do trabalho em conjunto entre concreto e aço.

### 3 Viabilidade do Concreto Armado

Como vimos no item anterior, a aderência entre o aço e o concreto é que permite transmitir os esforços de um material para o outro. Ao ser solicitado à tração o concreto se deforma, fissa, mas leva consigo o aço, tracionando-o e fazendo a peça trabalhar em conjunto.

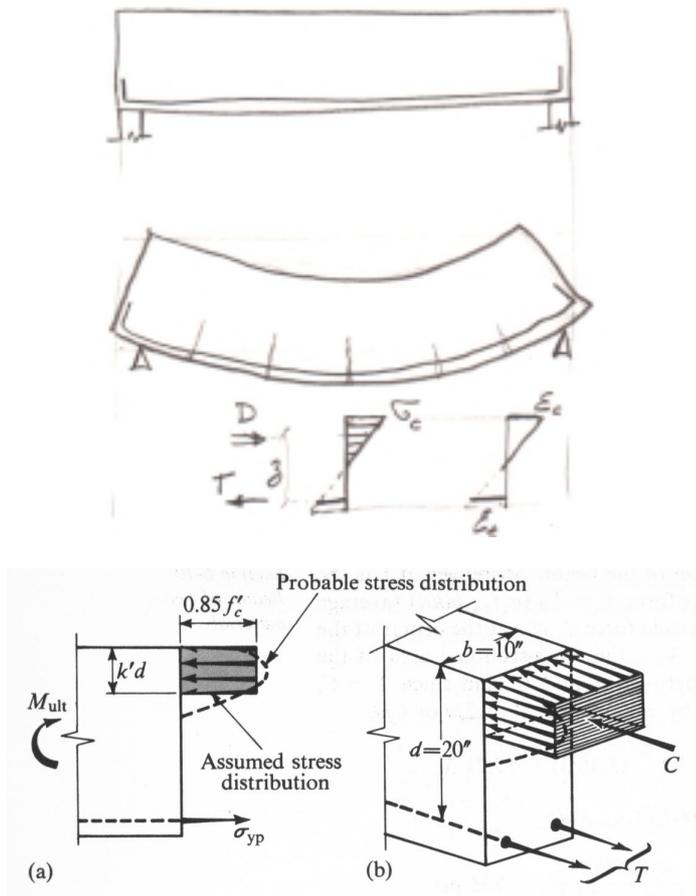


Figura 3 – Funcionamento do Concreto Armado (Ref. 5)

#### 3.1 Aderência entre os materiais

A aderência tem sido quantificada e comprovada por meio de ensaios, desde que Mörsch iniciou suas pesquisas. É ela que assegura a mesma deformação específica entre o aço e o concreto que o envolve.

Também na região comprimida podemos utilizar barras de aço que trabalhando aderentes ao concreto aumentam sua resistência à compressão.

### 3.2 Coeficientes de dilatação térmica

Sob o efeito de variação de temperatura, a deformação sofrida por uma peça qualquer de comprimento  $l$  é:

$$\delta = \alpha \cdot l \cdot \Delta t$$

sendo  $\Delta t$  uma variação de temperatura e  $\alpha$  o coeficiente de dilatação térmica do material.

Concreto e aço possuem coeficientes de dilatação térmica praticamente iguais, por isto trabalham em conjunto no caso de pequenas variações de temperatura. O concreto possui o coeficiente entre  $0,9$  e  $1,4 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$  e o aço possui coeficiente  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ . A diferença existente é desprezível para a variação de temperatura em que as estruturas normalmente trabalham ( $\Delta t < 50^\circ$ ).

Além das variações de temperatura serem relativamente baixas, ainda temos o recobrimento do concreto sobre o aço, fazendo com que as variações de temperatura sejam ainda menores. No caso de haver incêndio é que pode haver deterioração da aderência entre o concreto e o aço, provocada pelo maior alongamento do aço devido às altíssimas temperaturas, prejudicando o funcionamento em conjunto. Neste caso fica comprometida a estabilidade da estrutura.

Nas situações normais de uso o coeficiente de dilatação térmica do Concreto Armado, recomendado pela norma NBR6118 - item 8.2.3 - é de  $\alpha = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$  ( $\delta = \alpha \cdot l \cdot \Delta t$ )

### 3.3 Proteção do aço contra oxidação

O concreto protege duplamente o aço contra a oxidação:

— proteção física – havendo um adequado recobrimento de concreto, os agentes externos não atacam o aço. Quanto mais agressivo o meio externo, maior deverá ser a espessura do recobrimento de concreto.

— proteção química – durante a pega (secagem) do concreto há a formação de um meio alcalino (cal) que cria uma camada protetora em torno das barras de aço.

Devemos sempre ter o cuidado para que a água utilizada não contenha mais que  $500$  mg de cloretos por litro (incluindo aqueles que possam vir junto com os agregados).

## 4 Características do Concreto

A principal característica do CA é sua resistência à compressão, que é medida através de ensaios em corpos de prova padronizados. O resultado de um ensaio depende da forma do corpo de prova e também da duração do ensaio. Assim sendo, convencionou-se que os ensaios serão sempre de curta duração e que o corpo de prova deverá ser padronizado e deverá procurar reproduzir o melhor possível a situação real das estruturas.

### 4.1 Corpo de prova

A norma brasileira e também a grande maioria das normas adota o corpo de prova cilíndrico de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, ensaiado aos 28 dias de idade. Na Alemanha, que tem uma vasta bibliografia sobre concreto, é adotado um corpo de prova cúbico e para efeito de comparação com nossos valores, seus resultados devem ser multiplicados por 0,85

$$f_{cil} = 0,85 * f_{cúb}$$

A idade do concreto ao ser ensaiado corresponde à idade com a qual, em geral, as estruturas entram em serviço.

As normas recomendam que o escoramento somente seja totalmente retirado aos 28 dias após a concretagem.

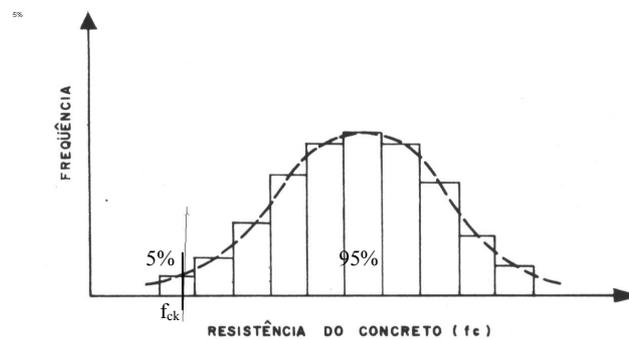
Porém, muitas vezes há a necessidade de colocação em carga antes deste prazo ou ainda sabe-se que a estrutura somente receberá carga total muitos dias depois desta data. Nestes casos deve-se fazer a correção da resistência do concreto para a idade em que entrará em carga. Assim o CEB recomenda as seguintes relações de resistência a serem consideradas:

Idade do Concreto (dias)	3	7	28	90	360
Cimento Portland Comum	0,40	0,60	1,00	1,20	1,35
Cimento Portland de alta resistência inicial	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

### 4.2 Resistência característica

A resistência característica do concreto à compressão é denominada  $f_{ck}$ .

São ensaiados vários corpos de prova e os resultados são plotados de tal forma que uma curva de Gauss (distribuição normal de frequência) é obtida.



I-1.1 – Divisão dos resultados dos ensaios por números de ocorrência (frequência) para diversos intervalos de resistência do concreto.

Figura 4 – Resistência Característica  $f_{ck}$  - curva de Gauss (Ref. 1)

A NBR6118 diz:

*Para os efeitos desta Norma, a resistência característica inferior é admitida como sendo o valor que tem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.*

As normas NBR12655, NBR14931 e NBR6118 especificam as condições construtivas de segurança, entre elas o controle da resistência característica do concreto.

#### 4.3 Resistência à tração

Através de ensaios em corpos de prova iguais àqueles utilizados para determinação da resistência à compressão podemos obter a resistência do concreto à tração. O ensaio hoje em dia utilizado mundialmente foi idealizado pelo brasileiro Fernando L. Lobo Carneiro e é conhecido como Ensaio Brasileiro.

Porém, para efeito de projeto as normas indicam expressões que relacionam as tensões de tração às tensões características de compressão –  $f_{ck}$ , nas quais todos os cálculos são baseados.

A NBR6118 item 8.2.5 recomenda as seguintes expressões:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad \text{em MPa}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m}$$

Como exemplo vejamos o concreto com resistência característica de 25 MPa:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad \text{----} \quad f_{ct,m} = 2,56 \text{ MPa} \quad \text{----} \quad f_{ctk,inf} = 1,8 \text{ MPa}$$

#### 4.4 Diagrama tensão – deformação simplificado

Como para o dimensionamento necessitamos da relação tensão – deformação do concreto utilizado, foi idealizada uma forma única para os diagramas dos concretos de diferentes resistências:

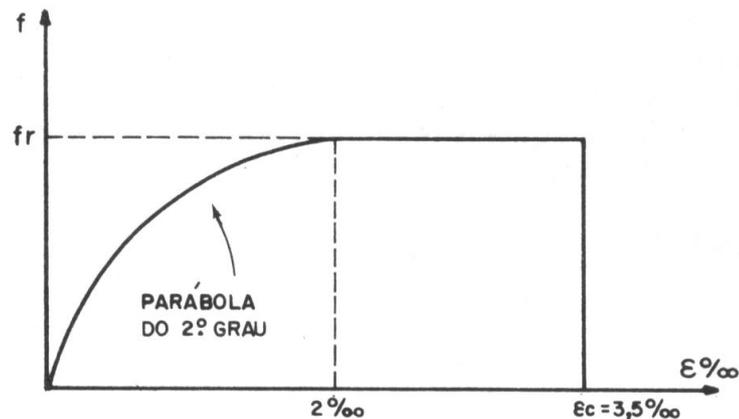


Figura 5 – Diagrama Tensão-Deformação do Concreto Armado (Ref. 1)

Consideramos que a partir de 2‰ de deformação específica o ganho de resistência pode ser considerado nulo, como se fosse um patamar de escoamento, e que a ruptura aconteça sob a deformação de 3,5‰.

#### 4.5 Comportamento sob carregamento de longa duração

Sob carregamento de longa duração Rüsç, através de ensaios, comprovou que o concreto perde parte de sua resistência. Há também outros fatores que influenciam na resistência do concreto na estrutura, como o aumento de resistência com a idade. Assim sendo, em projeto já consideramos apenas  $0,85 f_{ck}$  como resistência, pois os resultados vêm de ensaios de curta duração.

Esta redução na verdade vem de um conjunto de fatores:

$$0,85 = 8/9 * 1,15 * 0,80$$

8/9 = fator de forma (ensaio em corpo de prova x solicitação real na estrutura)

1,15 = aumento de resistência com a idade (não estando sob carga constantemente aplicada)

≈0,80 = efeito Rüsç

#### 4.6 Módulo de elasticidade longitudinal

O diagrama Tensão x Deformação do concreto é sempre curvo, isto é, ele não apresenta trecho elástico.

Como em serviço a tensão no concreto em geral se mantém em torno de 40% da tensão de ruptura, o módulo de elasticidade em serviço fica então muito próximo ao módulo na origem. Assim então consideramos para o cálculo o módulo de elasticidade tangente inicial ( $E_{ci}$ ) na origem – NBR6118 – 8.2.8:

$$E_{ci} = 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \quad \text{em MPa}$$

#### 4.7 Coeficiente de deformação transversal ou Coeficiente de Poisson

Sob o efeito de compressão o concreto apresenta uma deformação transversal que é função de sua tensão característica. Esta deformação é considerada através do coeficiente de deformação transversal ou coeficiente de Poisson, que varia de 0,15 (para  $f_{ck} = 11$  MPa) a 0,25 (para  $f_{ck} = 26$  MPa). Como a variação é pequena para efeitos práticos a NBR6118 adota o valor:

$$\mu = 0,20$$

Este valor é considerado principalmente no cálculo de lajes e estruturas em casca.

#### 4.8 Características reológicas do concreto

Reologia - é a parte da física que estuda as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não são nem sólidos nem líquidos.

##### 4.8.1 Retração

É uma deformação do concreto independente do carregamento e que consiste na perda da água quimicamente inerte na massa do concreto – é uma deformação volumétrica.

Como é uma perda da água na superfície da peça, provoca tensões internas que fazem a peça fissurar.

Deve-se tomar especial cuidado durante a “cura” da peça, mantendo-a sempre molhada para evitar uma rápida perda de água e portanto uma grande fissuração (o tempo normal de cura é de 7 dias).

Fatores que influenciam na retração:

ela aumenta quando diminui a umidade do ar

ela aumenta quando aumenta a temperatura (maior evaporação)

ela aumenta com a diminuição da espessura da peça (aumenta a superfície em contato com o ar)

ela aumenta quanto maior for o fator água-cimento

Temos que ter cuidados especiais com a retração quando lidamos com estruturas muito longas e hiperestáticas, pois ela poderia causar grandes esforços internos. Observando a figura abaixo:

$$\Delta l_{total} = \Delta l_1 + \Delta l_1 = \epsilon * l$$

sendo  $\epsilon$  a deformação específica. Em uma estrutura muito longa ( $l$  grande) o alongamento  $\Delta l$  (ou  $\Delta l_1$ ) se torna excessivo provocando grandes solicitações internas.

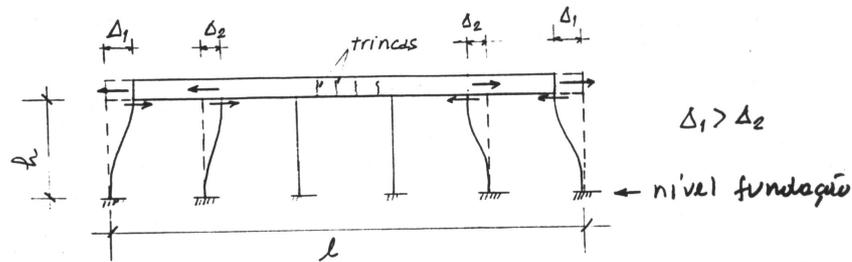


Figura 6 – Efeito da retração (Ref. 9)

Devemos tomar maiores cuidados durante a cura ou deixar juntas abertas durante alguns meses e concretá-las somente depois que a porção mais significativa da retração tiver ocorrido. Juntas de dilatação definitivas são excelentes soluções pois já aliviam também os esforços devidos à variação de temperatura. Para que não haja necessidade de cálculo do efeito de temperatura, é recomendável que se tenha juntas de dilatação espaçadas de no máximo 30 m de comprimento em planta.

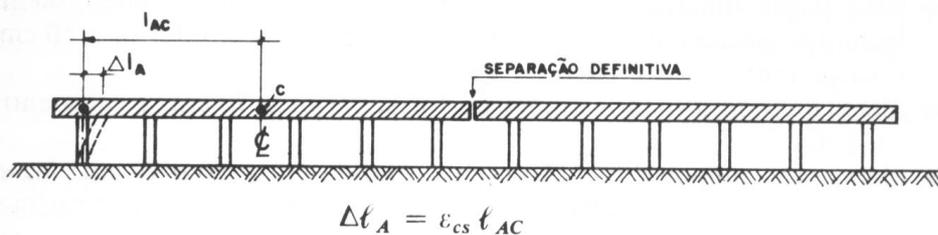


Figura 7 – Juntas de dilatação definitivas (Ref. 1)

#### 4.8.2 Deformação por variação de temperatura

Da física temos que a deformação específica devida à temperatura vale  $\epsilon = \alpha \cdot t$  sendo  $\alpha$  o coeficiente de dilatação térmica. Como já comentamos anteriormente, no caso do concreto armado,  $\alpha = 10^{-5} / ^\circ C$ .

Como no caso da retração o efeito da variação de temperatura pode ser danoso para estruturas longas e hiperestáticas - o alongamento vale  $\delta = \alpha \cdot \Delta t \cdot l$

Devemos sempre utilizar juntas definitivas (ver figura 7) para diminuirmos os deslocamentos  $\delta$  que são função de  $l$ , sendo  $l$  a distância entre o centro de dilatação  $C$  e a seção considerada. Exemplo do efeito em tetos de cobertura:

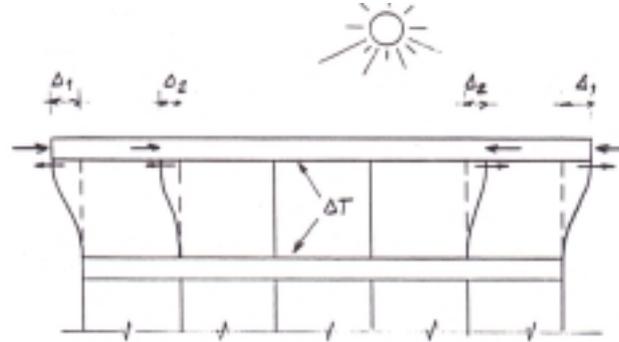


Figura 8 – Efeito da temperatura em coberturas (Ref.9)

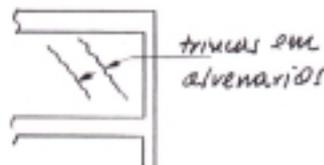


Figura 9 – Possível efeito sobre as alvenarias (Ref. 9)

#### 4.8.3 Deformação lenta (ou fluência)

Sob o efeito de carregamento de longa duração a água inerte que permanece no interior da massa de concreto é expulsa para a periferia e ocorre como no caso da retração. A deformação lenta é especialmente importante em estruturas que se modificam ao longo do tempo, como no caso de pontes em balanços sucessivos. Aqui na arquitetura somente queremos salientar que existe o problema, mas não iremos entrar em maiores detalhes.

## 5 Características do Aço

Os aços empregados no C.A. são basicamente ligas de ferro e carbono. Outros elementos são adicionados às ligas para aprimorar suas propriedades, como o manganês, o silício, enxofre, fósforo, etc. Estes aços para utilização em Concreto Armado são especificados pelas Normas Brasileiras como aços CA (de Concreto Armado) e o valor de sua tensão de escoamento, isto é, sua tensão máxima a ser considerada. Vejamos seu diagrama Tensão x Deformação para entendermos melhor o que é ‘escoamento’.

### 5.1 Diagrama Tensão-Deformação

Para utilização nos projetos a NBR6118 – itens 8.3.5 e 8.3.6 apresenta o diagrama tensão x deformação simplificado.

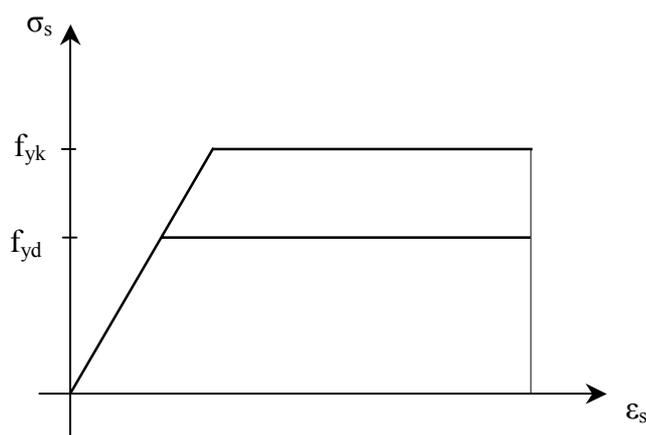


Figura 10 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras de concreto armado (Ref.7)

Os aços tipo A, aços trabalhados a quente, apresentam o diagrama com patamar de escoamento bem definido. Os aços tipo B são obtidos por tratamento a frio dos aços tipo A – sofrem encruamento - aumentando sua resistência. Este tipo de aço não pode ser soldado pois perderia o efeito do tratamento. O aço tipo B não apresenta patamar de escoamento bem definido, mas para efeito de dimensionamento a nova norma permite considerar o mesmo diagrama tensão deformação que o aço tipo A.

Tendo em vista o trabalho em conjunto com o concreto, na compressão a deformação máxima a ser considerada é de  $3,5\text{‰}$  já que a partir daí o concreto se rompe. Também na tração a deformação específica tem o limite máximo de  $10\text{‰}$  para evitar grandes aberturas de fissuras no concreto. Assim então, o diagrama tensão-deformação do aço no Concreto Armado pode ser considerado como apresentado na figura a seguir:

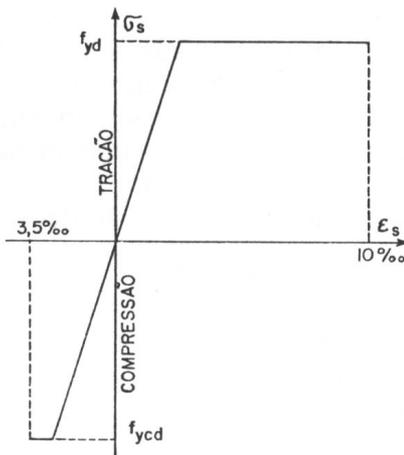


Figura 11 – Diagrama tensão-deformação do aço para dimensionamento (antiga NBR6118)

A limitação em  $10‰$  visa apenas limitar a fissuração nas peças de concreto armado, já que a deformação específica de ruptura dos aços é bem maior - em torno de 18%.

Nestes diagramas já são considerados os valores de tensões de cálculo -  $f_{yd} = f_y/\gamma$  na tração e  $f_{ycd} = f_{yc}/\gamma$  na compressão.

## 5.2 Tipos de aços mais utilizados

Os aços padronizados pelas normas são:

CA25 aço para Concreto Armado, com tensão de escoamento igual a 250 MPa

CA50 aço para C. A. com tensão de escoamento de 500 MPa

CA60 aço para C. A. com tensão de escoamento de 600 MPa

Os aços CA32 e CA40 podem ainda ser encontrados no mercado e vários livros e/ou tabelas fazem referências a eles, porém a nova NBR6118 não mais os menciona.

CA32 aço para C. A. com tensão de escoamento de 320 MPa

CA40 aço para C. A. com tensão de escoamento de 400 MPa

No Brasil utilizamos principalmente o aço CA50 e as barras finas (diâmetro de 5 mm ou mais finas) são de CA60. O aço CA25 é utilizado em obras menores e em locais onde seja necessário maior ductilidade (por exemplo em locais para concretagem posterior, deixamos barras de CA25 como esperas – podem ser dobradas e desdobradas). Normalmente não é permitido o uso de aços diferentes na mesma obra, a não ser em pontos especiais como no caso de barras de espera para concretagem posterior como mencionado anteriormente.

As barras de aço empregadas no C. A. podem ser lisas ou nervuradas. Como já vimos, o C.A. só é viável por causa da aderência entre o concreto e as barras de aço e por isto, quando utilizamos aços de alta resistência, maiores cuidados têm que ser tomados para garantir o trabalho conjunto dos dois materiais. Para melhorar este trabalho conjunto, no caso de aços mais resistentes as barras passaram a ser fabricadas com nervuras, melhorando as condições de aderência.

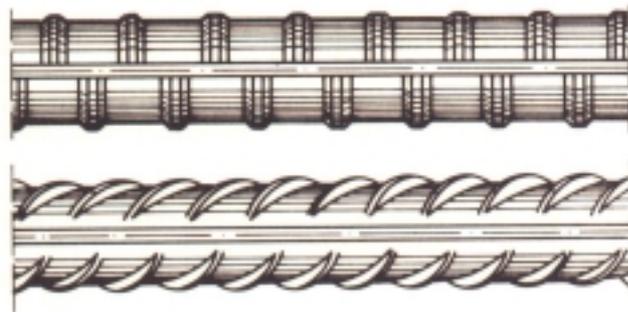


Figura 10 – Barras de aço para Concreto Armado (Ref. 1)

### 5.3 Bitolas Comerciais

A NBR7480:1996 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para C.A. – Especificação - normaliza o aço para concreto armado.

As bitolas normalmente comercializadas, diâmetros  $\phi$  em mm, são:

Diâmetros	Áreas		
$\phi$ 5	0,20 cm <sup>2</sup>		3/16"
$\phi$ 6,3	0,315 cm <sup>2</sup>	nomenclatura antiga $\Rightarrow$ $\phi$ em polegadas $\Rightarrow$	1/4"
$\phi$ 8	0,50 cm <sup>2</sup>		5/16"
$\phi$ 10	0,80 cm <sup>2</sup>		3/8"
$\phi$ 12,5	1,25 cm <sup>2</sup>		1/2"
$\phi$ 16	2,00 cm <sup>2</sup>		5/8"
$\phi$ 20	3,15 cm <sup>2</sup>		3/4"
$\phi$ 25	5,00 cm <sup>2</sup>		1"
$\phi$ 32	8,00 cm <sup>2</sup>		1 1/4"

## REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

1. Süssekind, J.C. – “Curso de Concreto Armado” – Volumes I e II, Editora Globo.
2. Fusco, P.B. – “Estruturas de Concreto – Solicitações Normais”, Editora Guanabara Dois.
3. Rocha, A.M. – “Concreto Armado” – Volumes 1 a 4, Editora Nobel
4. Leonhardt, F.; Mönning, E. – “Construções de Concreto” Volumes 1 a 6, Editora Interciência
5. Popov, E. – “Introduction to Mechanics of Solids”, Prentice-Hall
6. Timoshenko, S.P.; Gere, J.M. – “Mechanics of Materials”, D. Van Nostrand
7. NBR6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento - mar 2003 – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
8. NBR7480:1996 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
9. Palestra e anotações de Elfer Albanese
10. “Oscar Niemeyer –Niemeyer” – editado por ocasião da exposição ‘Uma Homenagem a Oscar Niemeyer’ – Centro de Arquitetura e Urbanismo do Rio de Janeiro – novembro de 1998.