

6.

Concreto Armado

1. Definição e Uso

O concreto armado é uma associação de concreto e aço que tem por finalidade aproveitar vantajosamente as qualidades desses dois materiais.

O concreto oferece grande resistência aos esforços de compressão e muito pouca aos esforços de tração¹. O aço, em compensação, apresenta muito boa resistência a ambos os esforços. A união do aço com o concreto visa, portanto, a suprir as deficiências do concreto em relação aos esforços de tração, reforçando a sua resistência à compressão. Além disso, o aço, absorve os esforços de cisalhamento ou cortantes que atuam nos elementos de concreto.

As peças que compõem uma estrutura de concreto armado tendem a constituir-se, graças às características do concreto simples e do aço, num conjunto monolítico, isto é, uma peça única. As principais características que permitem essa perfeita união advêm do fato de que o concreto simples e o aço possuem boa aderência mútua e um coeficiente de dilatação térmica praticamente igual. Por outro lado, quando embutido no concreto, o aço fica protegido da corrosão, em virtude da natureza alcalina do cimento e da falta de contato com o oxigênio do ar.

O concreto armado, como material de construção, apresenta as seguintes vantagens:

- boa resistência ao fogo;
- adaptação a qualquer forma;
- possibilidade de dimensão reduzida em relação ao vão a vencer;
- maior resistência mecânica com a idade;
- boa resistência a choques e vibrações; e
- fácil execução.

¹ A resistência à tração do concreto simples representa cerca de 1/10 de sua resistência à compressão.

Por outro lado, apresenta algumas desvantagens, principalmente quando comparado com outros materiais de construção utilizados para a mesma finalidade, dentre as quais se destacam as seguintes:

- impossibilidade de sofrer modificações;
- demolição de custo elevado e sem reaproveitamento do material; e
- peso próprio elevado.

Por suas características e composição, o concreto armado é usado principalmente na confecção de elementos estruturais. É com base nos esforços a que são submetidos esses elementos que são feitos os cálculos para o dimensionamento das peças de concreto armado.

2. Aço para Concreto

As barras de aço colocadas no interior do concreto compõem a chamada *armação* ou *armadura*. Essas barras de aço, também chamadas de *ferro de construção* ou *vergalhões*, são amarradas umas às outras com *arame recozido*.

Existem também armaduras pré-fabricadas, que já vêm com as barras de aço unidas entre si: são as *telas soldadas*, que servem de armadura para lajes e pisos.

Caracteriza-se a resistência do aço pela sua *resistência máxima à tração*. O valor de tensão considerado como limite de resistência é o da *Tensão de Escoamento ou Limite de Escoamento*.

Chama-se de *escoamento* o fenômeno observado em alguns metais, nos quais ocorre acréscimo de deformação sem acréscimo de tensão. A tensão de escoamento pode ser real ou convencional, conforme apresentam as Figuras 16 e 17.

Ocorre *tensão de escoamento real* quando no gráfico tensão *versus* deformação temos patamar de escoamento. O patamar de escoamento define a *tensão de escoamento real*.

Ocorre *tensão de escoamento convencional* quando a tensão de escoamento é definida, convencionalmente, como uma tensão que corresponde a uma deformação residual de 0,2% (2 mm/m).

Os aços são classificados, respectivamente, como tipos “A” ou “B”, conforme a tensão de escoamento real ou convencional que possam ter. A tensão de escoamento resulta do método de fabricação do aço. O aço tipo “A” adquire sua resistência final ao sair da forja de laminação (laminação a quente). O aço tipo “B”, após ser resfriado, é submetido a um esforço de torção a fim de adquirir resistência extra (encruado a frio).

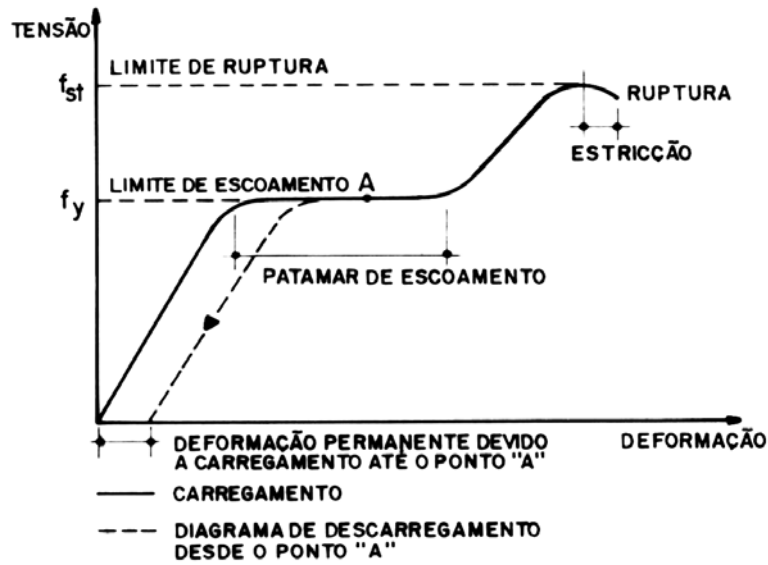


FIGURA 16 - Diagrama tensão *versus* deformação - Escoamento real - Aço tipo A.

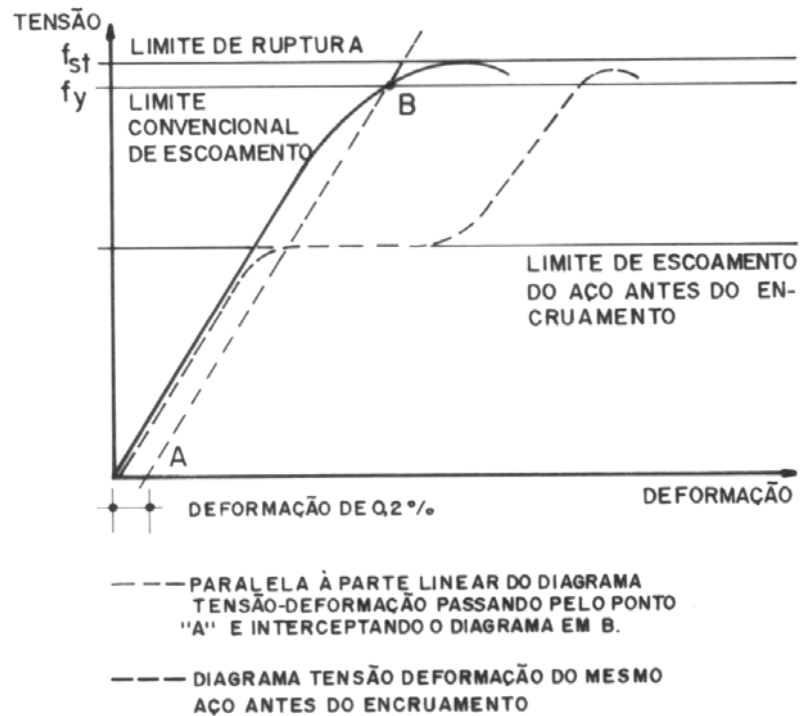


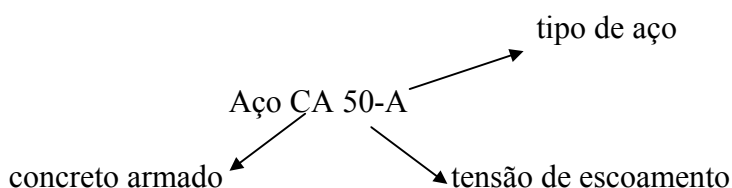
FIGURA 17 - Diagrama tensão *versus* deformação - Escoamento convencional - Aço tipo B.

A Tabela 14 apresenta os tipos de aço encontrados no mercado, em função de sua tensão de escoamento.

TABELA 14 - Aços comerciais.

	Aço	Tensão de escoamento
CA 25	A	25 kg/mm ² = 250 MPa = 2500 kg/cm ²
CA 50	A ou B	50 kg/mm ² = 500 MPa = 5000 kg/cm ²
CA 60	B	60 kg/mm ² = 600 MPa = 6000 kg/cm ²

A notação para o aço é a seguinte, conforme exemplo:



Pode-se omitir a letra que caracteriza o tipo de aço, nos casos do CA 25 e CA 60, uma vez que o primeiro só é fabricado no tipo A, e o segundo, no tipo B.

O aço para concreto armado é comercializado em barras de *seção circular* e em comprimentos que variam de 10 a 12 m, ou em rolos.

Os diâmetros ou *bitolas* (\varnothing) das barras de aço são normalizados pelas Normas Técnicas Brasileiras. A partir de 1978 a unidade para especificar o diâmetro das barras passou de polegadas para milímetros. Até então somente o aço CA 60 era apresentado comercialmente em milímetros.

Por não haver sido ainda totalmente adotada essa nova especificação, são apresentados na Tabela 15 os diâmetros em milímetros com a correspondência em polegadas e os respectivos pesos por metro de comprimento, para os aços disponíveis no mercado.

TABELA 15 - Diâmetro do aço comercial.

Diâmetro do aço										
CA 25 e CA 50										
CA 60										
\varnothing (mm)	3,2	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
\varnothing (pol.)	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1
peso (kg/m) ³	0,063	0,100	0,160	0,250	0,400	0,630	1,000	1,600	2,500	4,000

3. Armação Típica para Concreto

A posição da armação ou armadura do concreto é definida pelas deformações admissíveis e prováveis em função dos esforços já mencionados.

O concreto armado, por sua própria composição e característica, é usado principalmente na confecção de elementos estruturais. É com base nos esforços a que são submetidos esses elementos que são feitos os cálculos para o dimensionamento das peças de concreto armado.

3.1. Armação Típica para Vigas

A Figura 18 mostra como seria o comportamento de uma peça de concreto simples apoiada nas duas extremidades e carregada uniformemente. Primeiramente, considere-se que a peça, em concreto simples, é formada por uma infinidade de fibras, dispostas longitudinalmente, e que essas fibras não exercem influência entre si, ou seja, são independentes. Existe um conjunto de fibras que diminuem de tamanho, um conjunto de fibras que aumentam de tamanho e um conjunto de fibras que não se alteram. As fibras que encurtam são as que estão submetidas a tensões de compressão, enquanto as que aumentam de tamanho são as que estão submetidas a tensões de tração. O conjunto de fibras que permanecem inalteradas forma uma superfície que é chamada de *plano neutro*.

Além das tensões de tração e compressão, outra tensão, chamada de tensão de cisalhamento, provoca o escorregamento das fibras segundo planos horizontais. O concreto simples também é pouco resistente a tensões de cisalhamento, pois na verdade essas tensões se decompõem em tensões de tração, segundo planos inclinados a 45° em relação ao plano neutro.

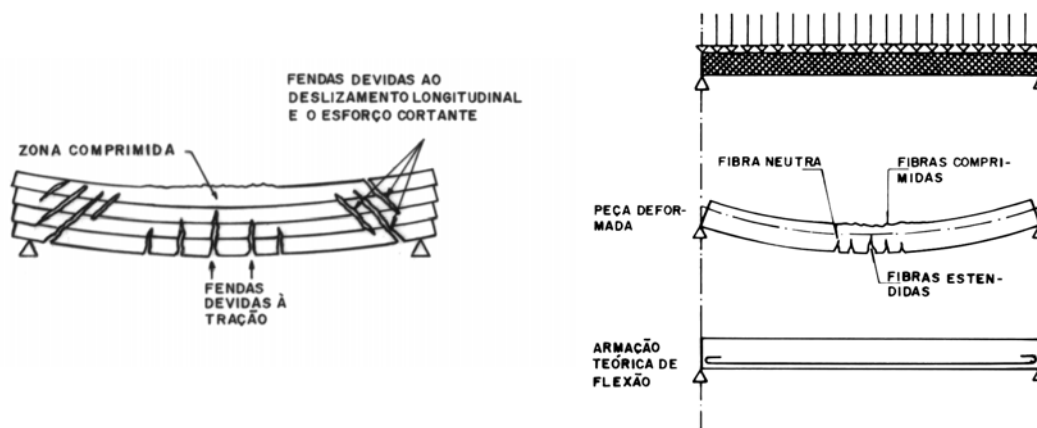


FIGURA 18 - Comportamento do concreto simples quando submetido a carregamento transversal.

O concreto simples resiste bem aos esforços de compressão. Todavia, para absorver os esforços de tração são adicionadas barras de aço na região tracionada, isto é, na parte inferior da peça. Por outro lado, para que o concreto não se rompa por cisalhamento, “costura-se”

transversalmente toda a peça com um ferro dobrado, com a forma da seção transversal da peça, que recebe o nome de *estribo*. Para combater os esforços de cisalhamento, também podem ser utilizados ferros dobrados a 45°.

Além dos ferros longitudinais, colocados na parte inferior da peça, e dos estribos, para que o conjunto tenha rigidez e permaneça na devida posição durante a concretagem, a NBR 6118/78 exige que sejam colocados na parte superior da peça dois ferros corridos que vão até os apoios. Na Figura 19 vê-se como as armações trabalham no concreto armado.

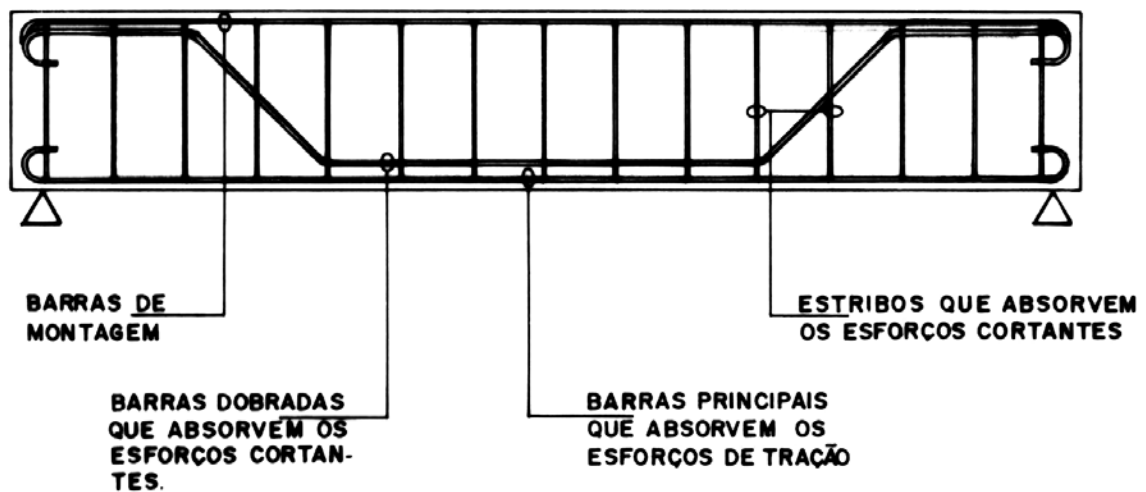


FIGURA 19 - Função do aço no concreto.

A bitola e o número de barras colocadas em uma viga são dimensionados em função do *momento fletor*, que é o esforço que surge pela ação das forças externas e faz com que a viga encurve (para baixo ou para cima). Quando o encurvamento é para baixo, o momento fletor é chamado de *momento fletor positivo* e a armadura inferior é chamada de *armadura positiva*. Quando o encurvamento é para cima, o momento fletor é chamado de *momento fletor negativo* e a armadura superior é chamada de *armadura negativa*.

3.1.1. Viga Biapoiada

As vigas biapoiadas ou simplesmente apoiadas são as que possuem somente dois apoios. Para uma viga biapoiada, prova-se que o momento fletor é positivo e passa por um máximo no meio da viga, é nulo nos apoios e forma uma curva parabólica conforme ilustrado na Figura 20.

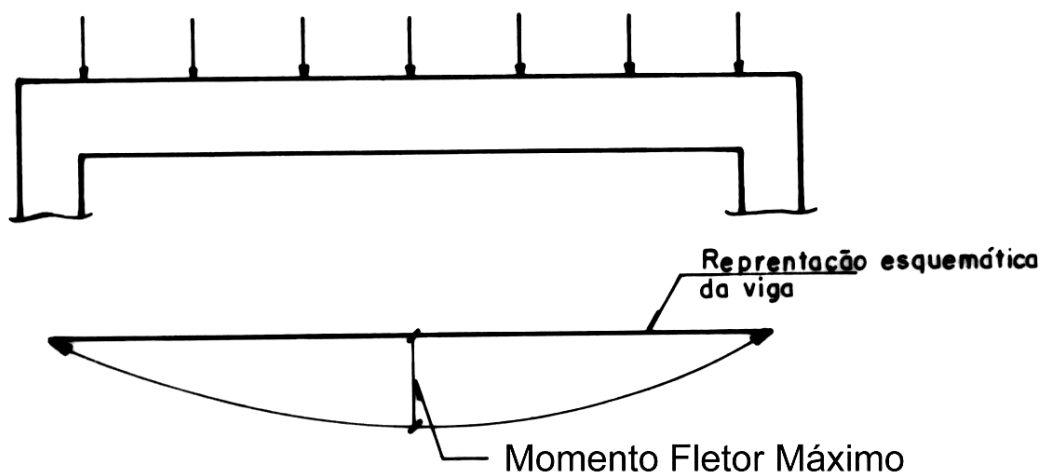


FIGURA 20 - Viga biapoiada e representação esquemática do momento fletor.

A armadura é, então, calculada para esse momento fletor máximo, podendo-se escalonar a armadura proporcionalmente à diminuição do momento fletor. A NBR 6118/78 exige que pelo menos dois ferros ou 20% da armadura total vá até os apoios. Pode-se escalonar a armadura de forma horizontal ou dobrá-la a 45° . No caso de escalonagem a 45° , é possível economizar na quantidade de estribos verticais, dado que a quantidade de ferros dobrados é levada em consideração no cálculo dos estribos. A Figura 21 apresenta a armação escalonada com ferros dobrados e a escalonagem horizontal.

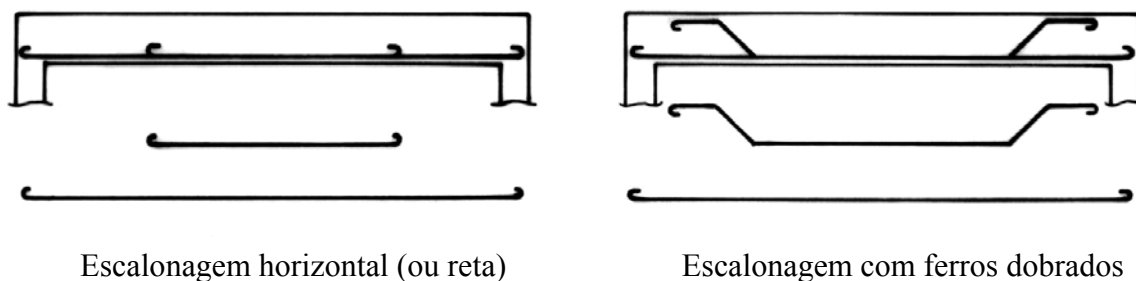


FIGURA 21 - Escalonamento dos ferros em uma viga biapoiada.

No desenho de concreto armado, conforme se vê na Figura 22, a armadura de uma viga, à exceção dos estribos, é traçada em linha grossa no interior da forma da viga. A

armação também é desenhada fora da forma, separada por tipos de ferro, incluindo os estribos. No desenho de cada ferro deverão constar:

- as medidas dos trechos retos e inclinados;
- a quantidade de ferros;
- o número de identificação do ferro dentro da planta;
- a bitola do ferro; e
- o comprimento total do ferro, no qual deverá estar incluído o tamanho dos ganhos.

Para os estribos, também deverá constar o espaçamento entre eles.

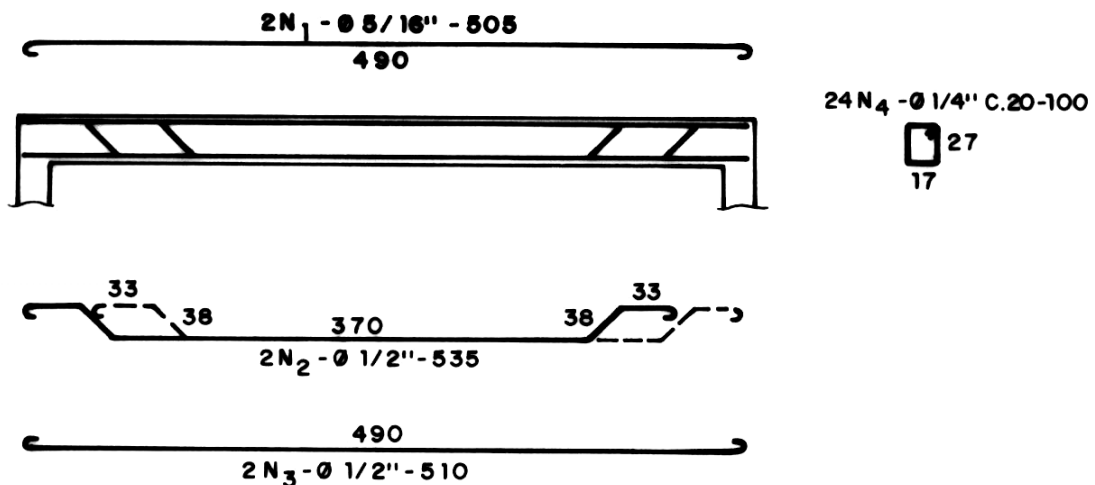


FIGURA 22 - Representação do detalhamento da armação de uma viga biapoiada.

3.1.2. Viga Contínua

As vigas contínuas são as que possuem mais de dois apoios. Ao analisarmos o comportamento de uma viga contínua, sob efeito de cargas externas, observamos que há na região dos apoios intermediários um encurvamento para cima e, na região entre apoios, um encurvamento para baixo, conforme mostra a Figura 23.

Analogamente às vigas biapoiadas, na região entre apoios as fibras tracionadas são as que estão abaixo da linha neutra (em consequência do momento fletor positivo). Na região dos apoios intermediários, as fibras tracionadas são as que estão acima da linha neutra, neste caso devido ao momento fletor negativo, conforme o diagrama do momento fletor apresentado na Figura 24.

Por conseguinte, será preciso não só armar positivamente a viga na região entre apoios, como armá-la negativamente, isto é, com a armadura colocada na face superior da viga, na região dos apoios intermediários, conforme apresenta a Figura 25.

Como tanto a armadura positiva quanto a negativa são determinadas em função dos respectivos momentos fletores máximos, pode-se escalonar a armadura proporcionalmente à diminuição do momento fletor positivo ou negativo, prolongando-se pelo menos dois ferros ou 20% da armadura total, por exigência da NBR 6118/78, e a escalonagem poderá ser feita pelo mesmo processo utilizado nas vigas biapoiadas.

Na Figura 26 é detalhada a armadura de uma viga contínua.

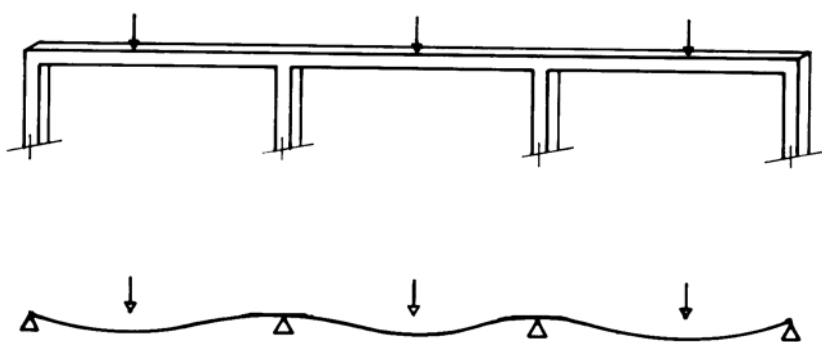


FIGURA 23 - Representação esquemática da viga contínua.

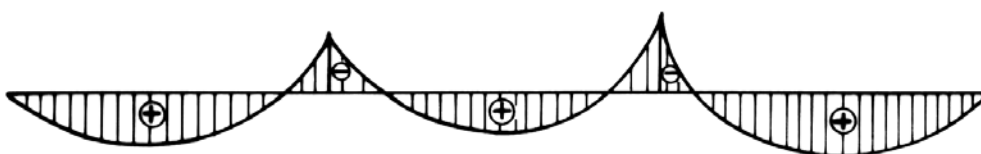


FIGURA 24 - Diagrama do momento fletor para uma viga contínua.

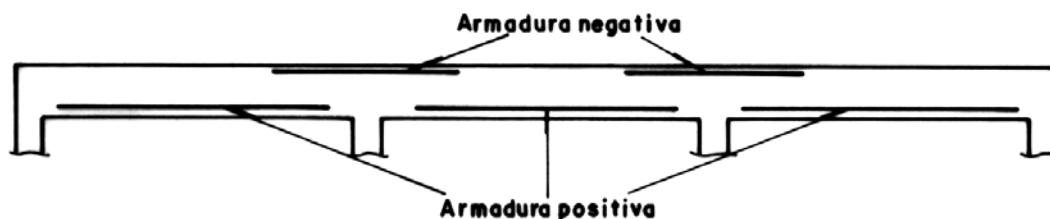


FIGURA 25 - Posição esquemática da armadura de uma viga contínua.

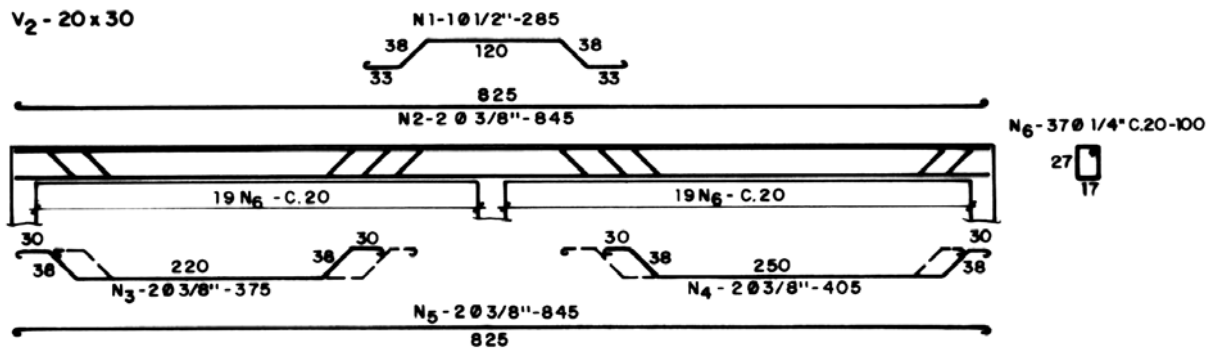


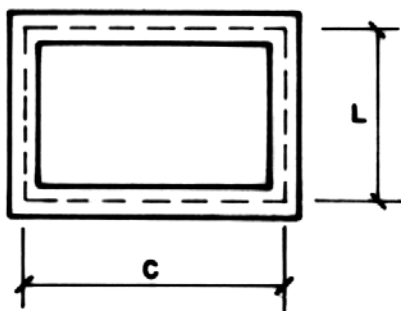
FIGURA 26 - Representação do detalhamento da armação de uma viga contínua.

3.2. Armação Típica para Lajes

As lajes podem ser armadas em *uma direção* ou armadas *em cruz* (nas duas direções). Considerando (C) como o maior vão de uma laje e (L) como o menor vão, uma laje será armada em uma só direção quando a relação entre (C) e (L) for maior que 2 e será armada em cruz quando a relação entre (C) e (L) for inferior ou igual a 2, conforme mostra a Figura 27.

As lajes são armadas por meio de uma malha colocada de forma a atender ao momento fletor que aparece em função das cargas atuantes.

Tanto as lajes armadas em uma só direção como as lajes armadas em cruz poderão ser *isoladas ou contínuas*, conforme apresentado na Figura 28.



$$\frac{C}{L} > 2 \Rightarrow \text{Laje armada em uma só direção}$$

$$\frac{C}{L} \leq 2 \Rightarrow \text{Laje armada em cruz}$$

FIGURA 27 - Classificação das lajes segundo a armação.

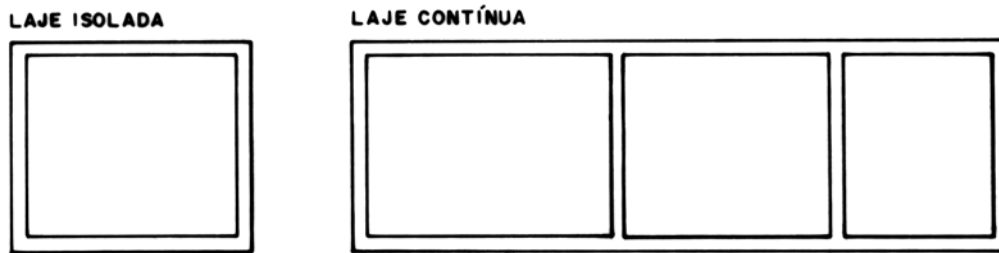


FIGURA 28 – Classificação das lajes quanto ao tipo.

3.2.1. Laje Isolada

As lajes isoladas são aquelas em que não há, em nenhum dos seus apoios, continuidade estrutural com as lajes vizinhas.

3.2.1.1. Laje Isolada Armada em Uma Só Direção

Um dos métodos de cálculo das lajes armadas em uma só direção considera esse tipo de laje como um conjunto de vigas justapostas, de largura igual a 1 m, apoiadas no sentido do menor comprimento, chamado de *direção principal*. Cada faixa de 1 m deverá ser armada para atender ao momento fletor positivo, decorrente das forças externas, conforme a Figura 29.

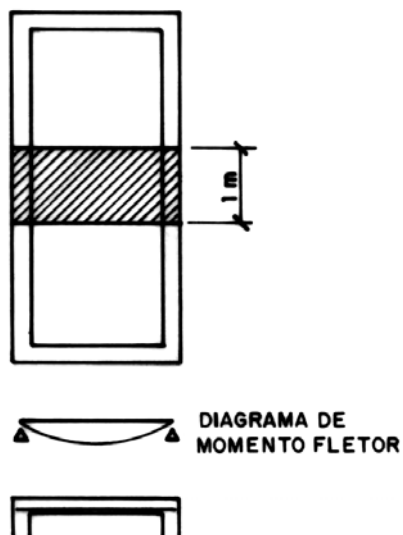


FIGURA 29 - Laje isolada armada em uma só direção.

A armação é, portanto, calculada por metro e pelo número de ferros necessários colocados equidistantemente. Suponhamos, por exemplo, que para uma laje com determinado carregamento foram necessários cinco ferros de 1/4". Logo, será preciso colocar cinco ferros na faixa de 1 m (100 cm) que deverão ter um espaço entre si de 20 cm ($100 \div 5 = 20$).

Completando a armação para lajes armadas em uma só direção, a NBR 6118/78 dispõe que na outra direção seja colocada uma armadura construtiva ou de distribuição, por metro, igual ou superior a 1/5 da armadura calculada na direção principal, ou no mínimo barras espaçadas a cada 33 cm. No exemplo anteriormente dado, considerando-se que 1/5 de cinco é igual a um ferro, deverá ser usado o mínimo, que corresponde a uma barra a cada 33 cm. A Figura 30 apresenta a laje do exemplo anterior, representada conforme convenção do desenho de concreto armado.

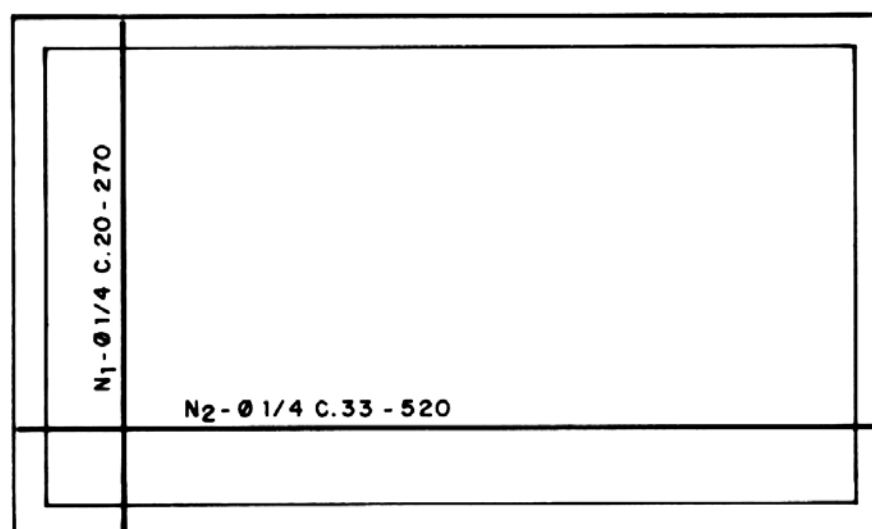


FIGURA 30 - Representação do detalhamento de uma laje isolada armada em uma só direção.

3.2.1.2. Laje Isolada Armada em Cruz

No caso de a laje ser armada em cruz, são retiradas duas faixas de largura de 1 m em cada direção, conforme a Figura 31.

A armadura necessária em cada direção é determinada em função do respectivo momento fletor positivo, tal como se fez no caso das lajes armadas em uma só direção. A Figura 32 apresenta a laje armada em cruz representada conforme convenção do desenho de concreto armado.

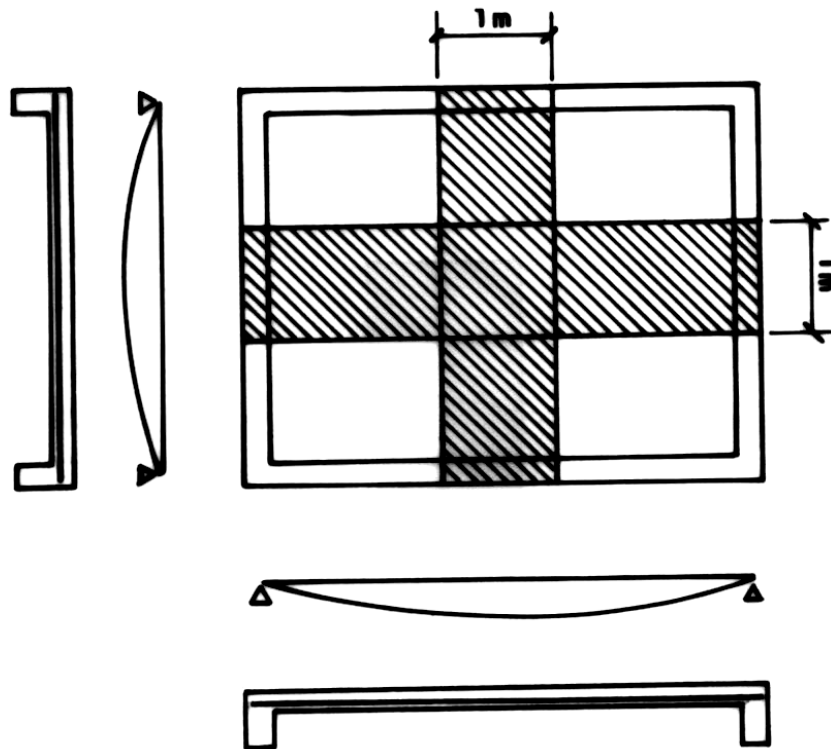


FIGURA 31 - Laje isolada armada em cruz.

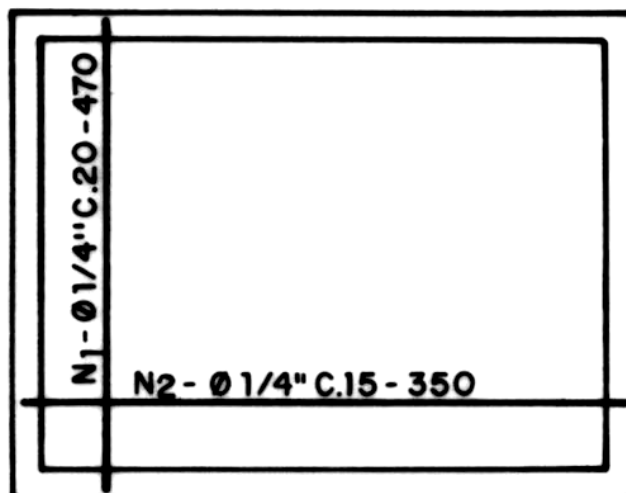


FIGURA 32 - Representação do detalhamento de uma laje isolada armada em cruz.

3.2.2. Laje Contínua

Tal como no caso das lajes isoladas, um dos métodos para calcular as armações de uma laje contínua considera a laje como um conjunto de vigas justapostas de largura igual a 1 m. Neste caso cada viga se comportará, em cada direção em que houver continuidade, como uma viga contínua.

Se na direção considerada a faixa contida for suposta uma viga contínua, além do momento fletor positivo surgirá também, um momento fletor negativo, conforme apresenta a Figura 33.

A armadura necessária em cada direção é determinada em função do respectivo momento fletor positivo, tal como se fez no caso das lajes armadas em uma só direção.

A armação da laje contínua, conforme convenção do desenho de concreto armado, é apresentada na Figura 34.

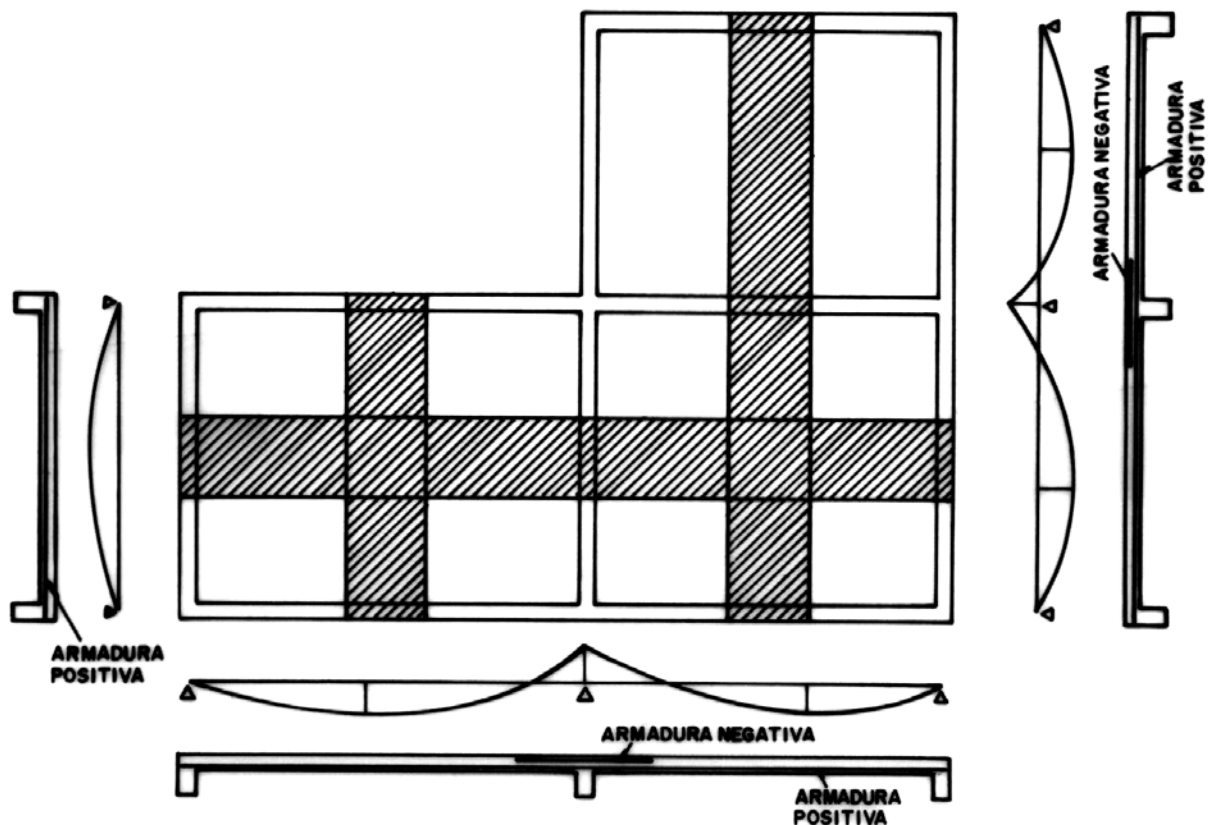
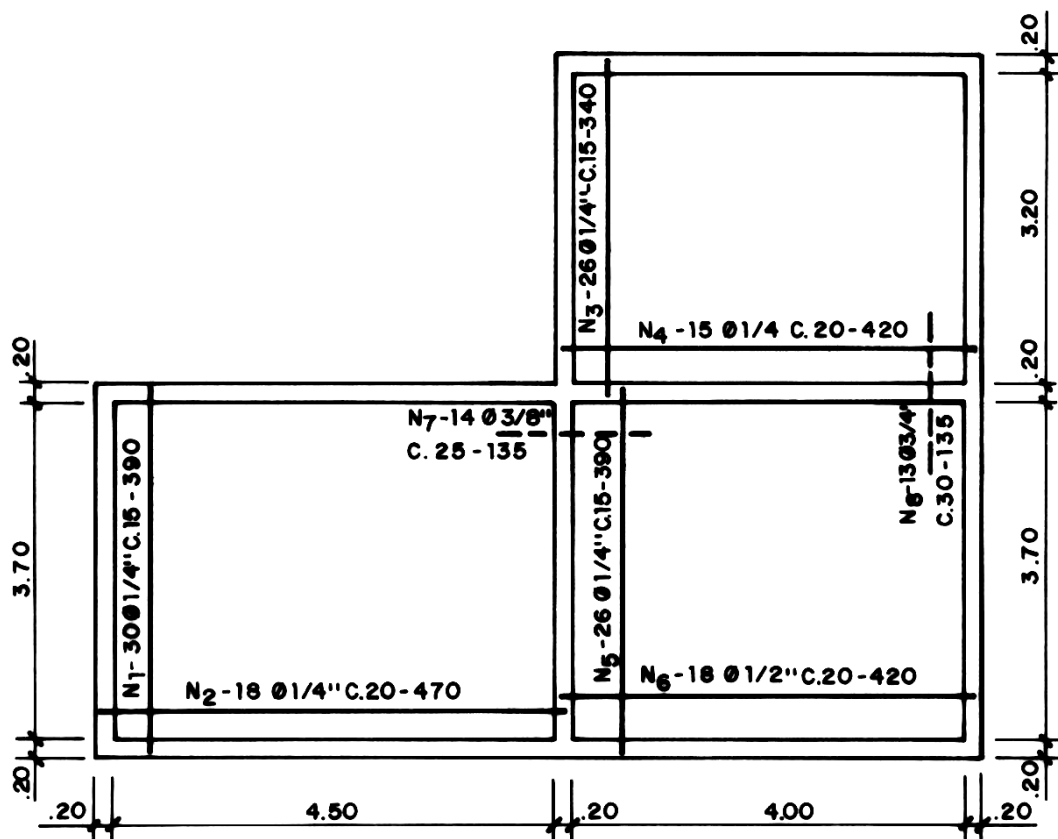


FIGURA 33 - Laje contínua.



OBS. As linhas tracejadas das posições 7 e 8 representam a armadura negativa

FIGURA 34 - Representação do detalhamento de uma laje contínua.

3.3. Armadura Típica para Pilar

Os pilares são peças alongadas, em geral sujeitas apenas a esforços de compressão. Embora o concreto possua boa resistência à compressão, o emprego de armadura nos pilares tem como finalidade diminuir a seção de concreto necessária à absorção de uma dada força de compressão.

São utilizados dois tipos de armadura nos pilares:

- **Armadura longitudinal** - Junto com o concreto, absorve os esforços de compressão.
- **Armadura transversal ou estribos** - Garante o confinamento do núcleo do pilar, aumentando a tensão máxima de compressão a que o concreto poderá resistir, e garante, ainda, que a armadura longitudinal não se deformará lateralmente, rompendo o

cobrimento² e perdendo a sua capacidade de resistir à força de compressão. A esse fenômeno de deformação lateral dá-se o nome de *flambagem da armadura*.

A Figura 35 ilustra a posição da armadura longitudinal e do estribo.

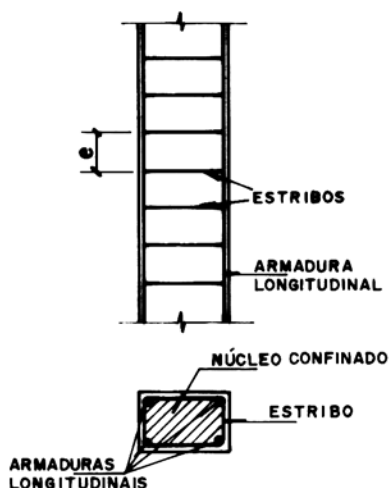


FIGURA 35 - Pilar.

A NBR 6118/78 define a armadura mínima para um pilar. Como armadura longitudinal são exigidos quatro ferros de 10 mm (3/8"). Para a armadura transversal, de acordo com a NBR 6118/78, o diâmetro do estribo deverá ser maior ou igual a 1/4 do diâmetro da armadura longitudinal (\varnothing_L), não sendo inferior a 5 mm (3/16").

O espaçamento (e) a ser dado entre os estribos também é normalizado e deverá atender às seguintes condições:

$$e \leq \begin{cases} - 30 \text{ cm} \\ - \text{menor dimensão externa da seção do pilar} \\ - 21 \varnothing_L \text{ para o aço CA 25} \\ - 12 \varnothing_L \text{ para o aço CA 50 e CA 60} \end{cases}$$

² Cobrimento é a espessura da camada de concreto que protege a armadura das peças de concreto armado. De modo geral, é obtido fixando-se na armadura pequenos blocos de argamassa com a espessura do recobrimento desejado. A NBR 6118/78 prescreve os seguintes valores mínimos para o cobrimento:

vigas e pilares - de interiores = 1,5 cm quando revestidos e 2,5 cm quando não revestidos
ao ar livre = 2,0 cm quando revestidos e 2,5 cm quando não revestidos

lajes - de interiores = 1,0 cm quando revestidos e 1,0 cm quando não revestidos
ao ar livre = 1,5 cm quando revestidos e 2,5 cm quando não revestidos

fundação - mínimo de 3,0 cm; sob a estrutura deve-se colocar um lastro de concreto magro com a espessura mínima de 5,0 cm.

A armação de um pilar, conforme convenção do desenho de concreto armado, é apresentada na Figura 36.

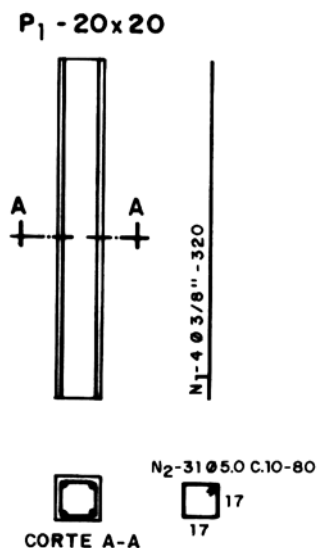


FIGURA 36 - Representação do detalhamento de um pilar.

3.4. Armação Típica para Sapata

A sapata é um tipo de fundação superficial (construída a pequena profundidade), em concreto armado, de pequena altura em relação às dimensões da base, conforme a Figura 37.

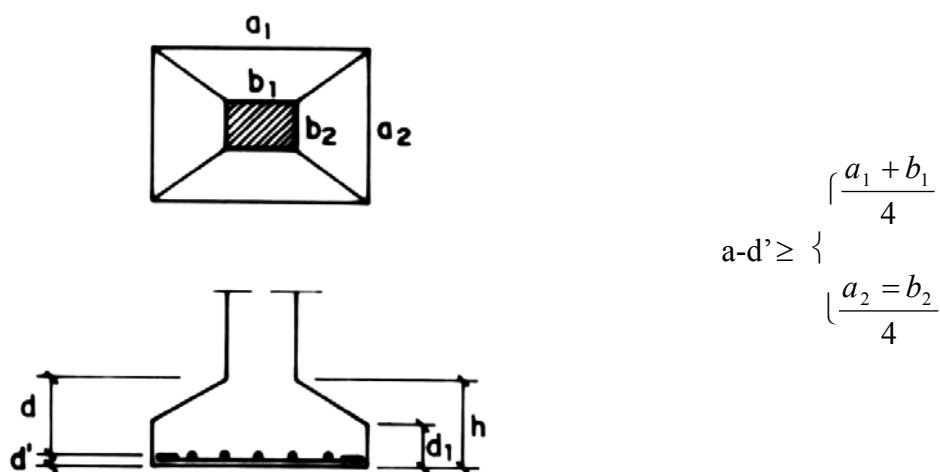


FIGURA 37 - Sapata.

Sob o efeito da carga do pilar, mais o peso da sapata e do solo que ficar acima da sapata, a base funciona como uma laje isolada. Dessa forma, a base recebe armação em malha como se faz nas lajes isoladas. A armação de uma sapata, conforme convenção do desenho de concreto armado, é apresentada na Figura 36. A armação da sapata acompanha geralmente o arranque da armadura do pilar que fica abaixo do nível do terreno ou da cinta.

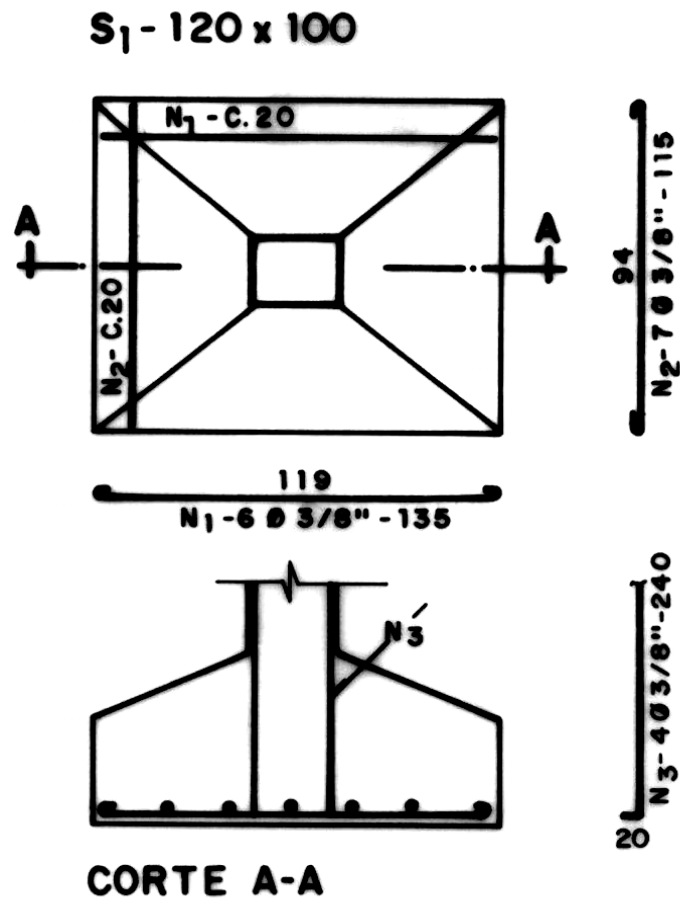


FIGURA 38 - Representação do detalhamento de uma sapata.