

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

PONTES DE CONCRETO
NOTAS DE AULA - FASCICULO 4
SEÇÕES TRANSVERSAIS

MOUNIR KHALIL EL DEBS

TOSHIAKI TAKEYA



0817781

SÃO CARLOS, JANEIRO DE 1990

SYSNO	0817781
PROD	002528
ACERVO EESC	

PONTES DE CONCRETO
NOTAS DE AULA - FASCICULO 4
SEÇÕES TRANSVERSAIS

CONTEUDO

1- INTRODUÇÃO	1
2- PONTES DE LAJE	2
3- PONTES DE VIGA	7
3.1- TABULEIRO NORMAL	7
3.1.1- Seção T	7
3.1.2- Seção celular	11
3.2- TABULEIRO REBAIXADO	16
BIBLIOGRAFIA	16

PONTES DE CONCRETO

NOTAS DE AULA - FASCICULO 4

SEÇÕES TRANSVERSAIS

1- INTRODUÇÃO

As seções transversais empregadas com mais frequência nas pontes de concreto podem ser agrupadas da seguinte forma:

Laje	<	Maciça	<	Seção T
		Vazada		
Viga	<	Tabuleiro normal	<	Seção celular
		Tabuleiro rebaixado		

Os fatores que influenciam na escolha da seção transversal são os seguintes, segundo LEONHARDT (1979):

- vão a ser vencido e o respectivo sistema estrutural;
- altura de construção disponível ou índice de esbeltez desejado, expresso pela relação l_1/h , onde l_1 é a distância aproximada entre os pontos de momento nulo do diagrama de momentos provocados pela carga permanente;
- processos de construção, meios disponíveis, equipamentos, etc;
- economia da construção - estruturas mais esbeltas exigem um maior consumo de aço do que as menos esbeltas; por outro lado, há de se considerar uma redução de movimento de terra nas rampas de acesso (Fig. 4.1);

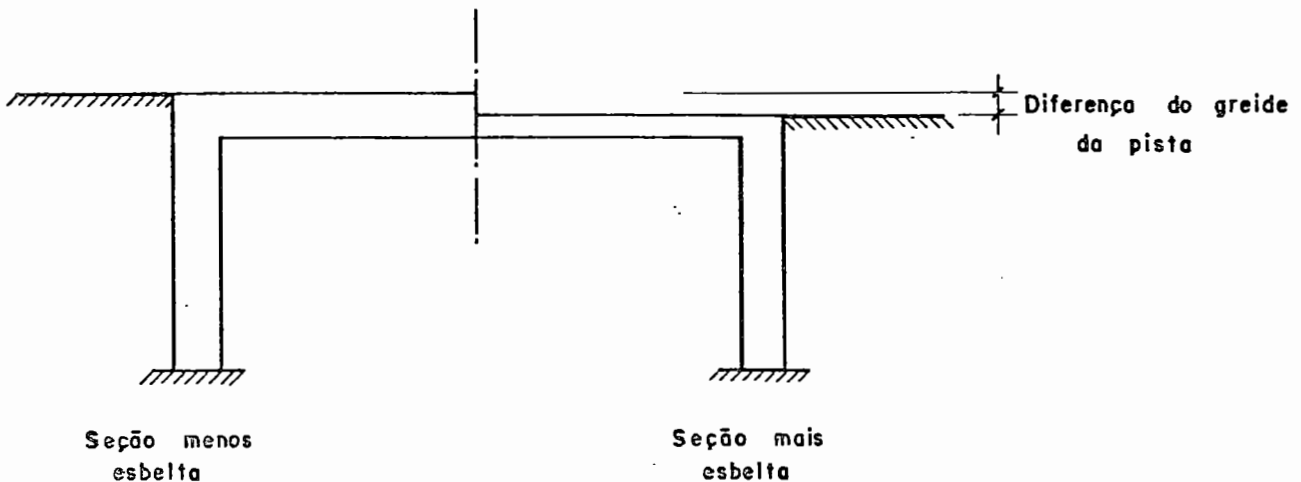


FIG. 4.1 - ILUSTRAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESBELTEZ NAS RAMPAS DE ACESSO

- e) relação carga móvel / carga permanente (q/g) - valores altos de q/g implicam, no caso de concreto protendido, num maior consumo de concreto na parte tracionada (pré-comprimida pela protensão), o que conduz a seções T com talão inferior ou seções celulares (Fig. 4.2).

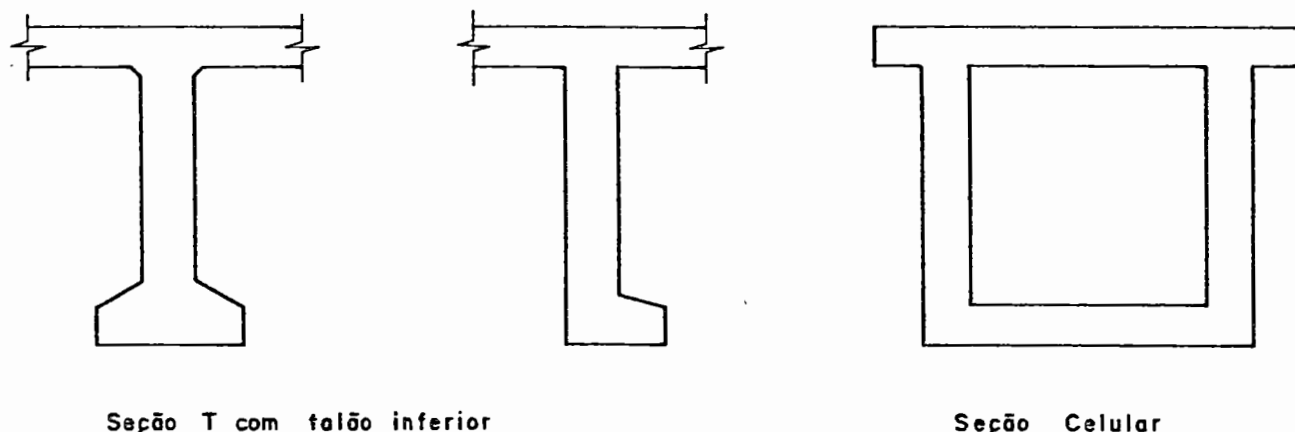


FIG. 4.2 - FORMAS DE AUMENTAR A SEÇÃO NA PARTE TRACIONADA ,
PREVIAMENTE COMPRIMIDA PELA PROTENSÃO

2- PONTES DE LAJE

Nas seções transversais de pontes de lajes maciças, mostradas na Fig. 4.3, o tabuleiro e o sistema estrutural principal formam uma peça única.

Este tipo de seção apresenta como característica principal a simplicidade de execução - das fôrmas, da armadura e da concretagem. Além disso, a seção transversal em laje garante uma boa distribuição transversal de esforços.

A seção em laje maciça é indicada para pontes de vãos pequenos. Segundo LEONHARDT (1979), elas podem atingir vãos de até 20 m em tramo único, e vãos de até 30 m em tramos contínuos com variação de altura ao longo dos vãos.

A laje maciça é especialmente indicada para pontes esconsas ou para pontes de largura variável em trechos de bifurcação da via.

No caso de pontes em pórtico de pequeno vão e galerias em abóbadas, a seção transversal em laje maciça é a mais apropriada.

A altura da seção pode ser adotada a partir dos índices de esbelteza l_1/h , indicados em LEONHARDT (1979) e adaptados para as categorias de pontes nacionais, apresentados na Tabela 4.1.

Classe da ponte	Valores de l_1/h
45 ou 30	15 a 22 para C.A. 18 a 30 para C.P.
12	20 a 25 para C.A. 26 a 36 para C.P.

Obs.: os valores maiores valem para vãos maiores e portanto para relações q/g menores

Tabela 4.1 - Valores do índice de esbeltez l_1/h para seção transversal de laje maciça

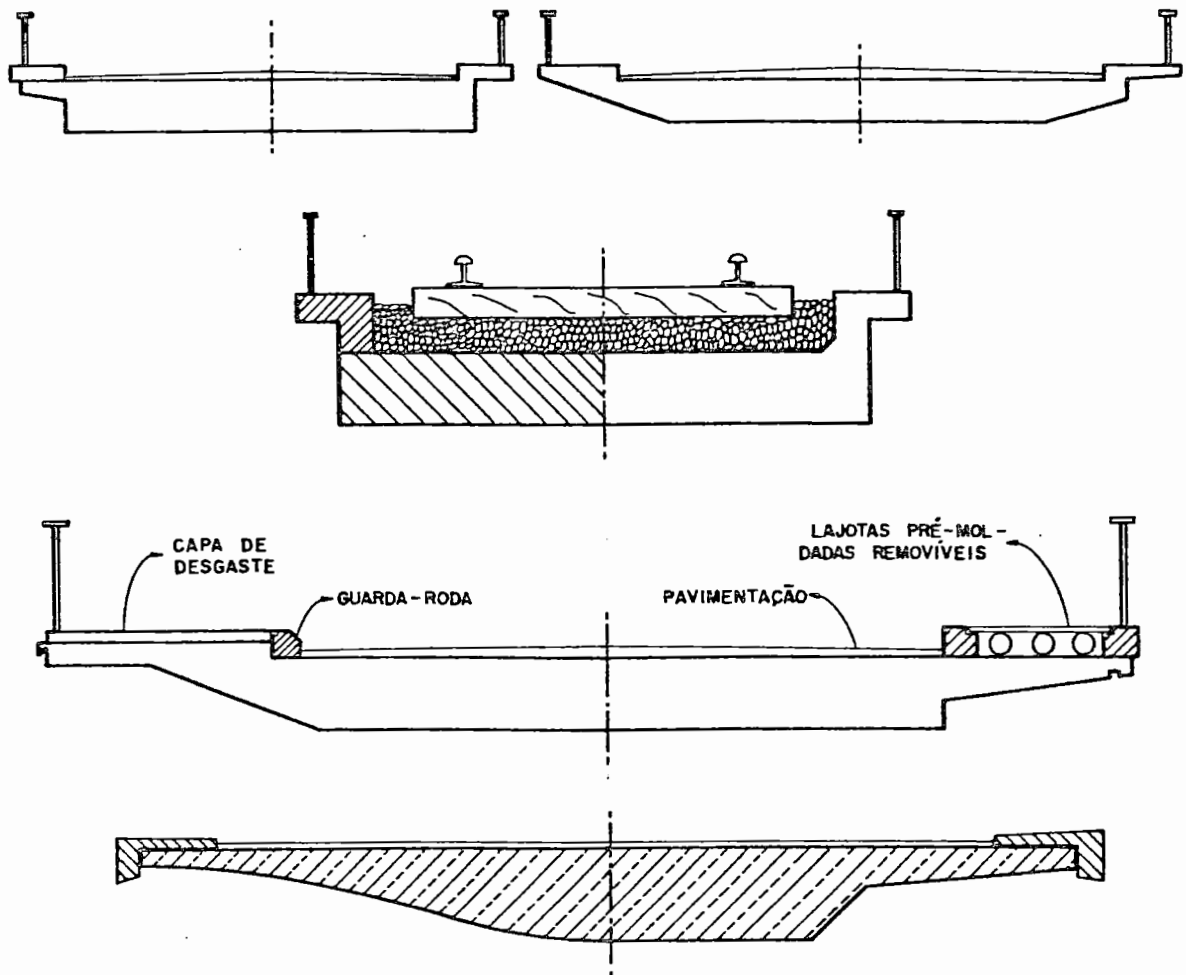


FIG.4.3 - SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES DE LAJE MACIÇAS

Em contrapartida à simplicidade de execução, a seção transversal de laje maciça apresenta um elevado consumo de concreto e consequentemente elevado peso próprio.

Em face disto, quando a altura requerida da seção for da ordem de 60 cm ou mais, é recomendável fazer vazamento obtendo assim a chamada laje vazada ou oca (Fig. 4.4), aumentando então a faixa de vãos atingidos pelas pontes de laje. Cabe destacar que este procedimento irá diminuir as vantagens de execução, mas o bom comportamento transversal é pouco afetado.

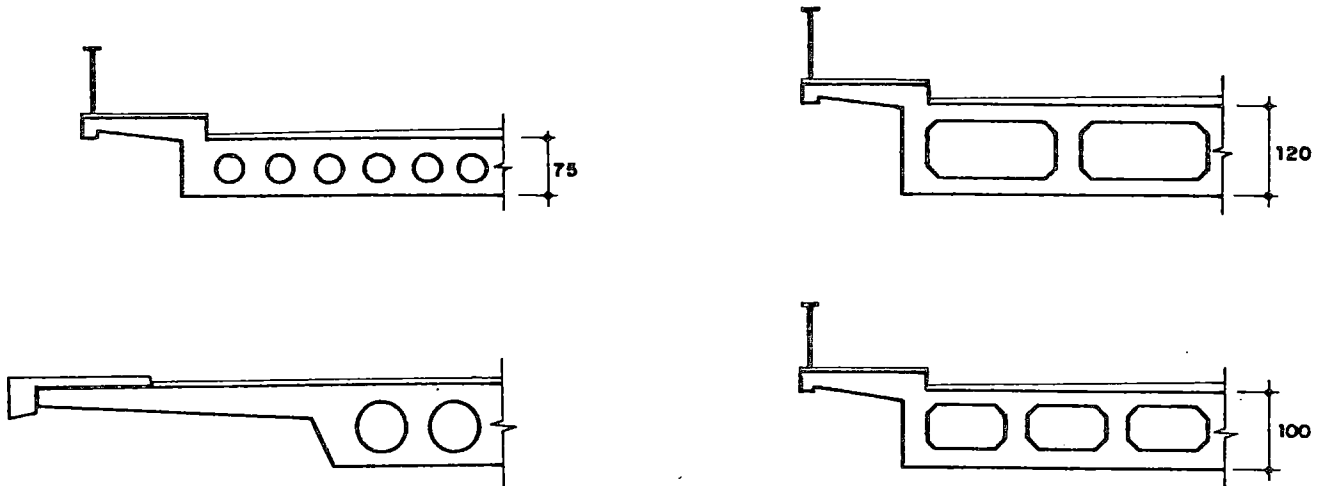


FIG. 4.4 - SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES VAZADAS

As dimensões recomendadas para as lajes vazadas são apresentadas na Fig. 4.5. A largura mínima das nervuras indicada é para que não haja dificuldades no lançamento e adensamento do concreto.

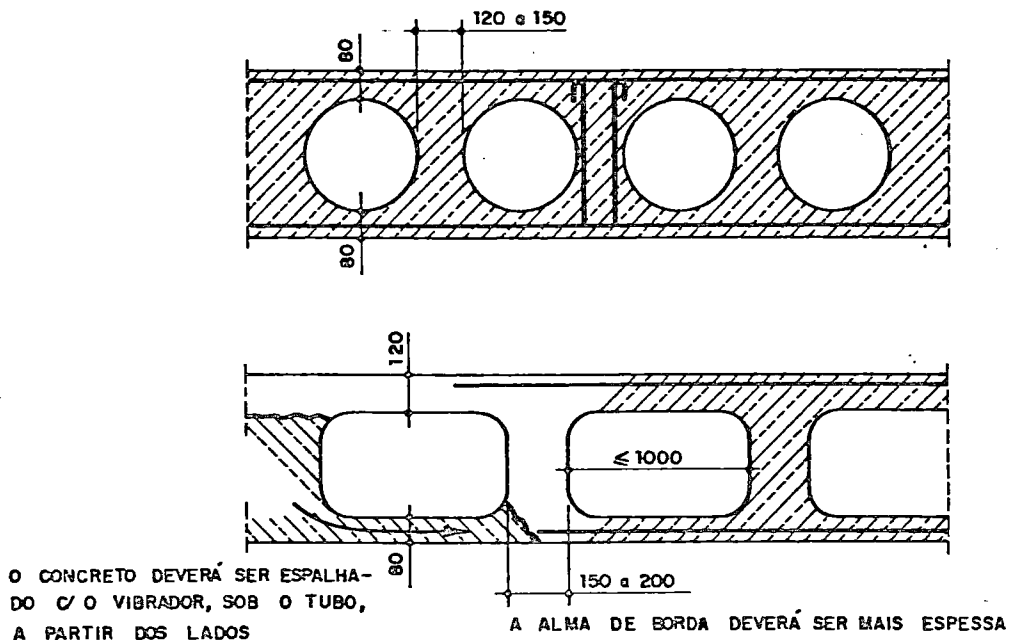


FIG. 4.5 - DIMENSÕES RECOMENDADAS PARA LAJES VAZADAS [LEONHARDT (1979)]

A Fig. 4.6 mostra um exemplo de ponte em viga simplesmente apoiada com balanços, com seção transversal em laje vazada.

As pontes com seção transversal em laje podem ser executadas com o emprego de elementos pré-moldados que vencem todo o vão e colocados justapostos, como ilustra a Fig. 4.7. O comportamento de laje deverá ser garantido pelo concreto moldado no local e por armadura transversal protendida ou não, sendo que a primeira é mais indicada.

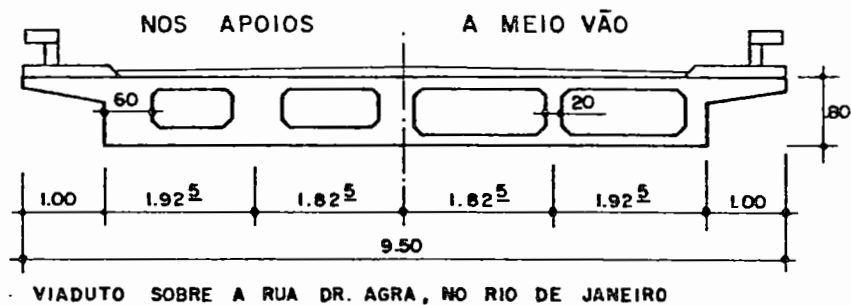
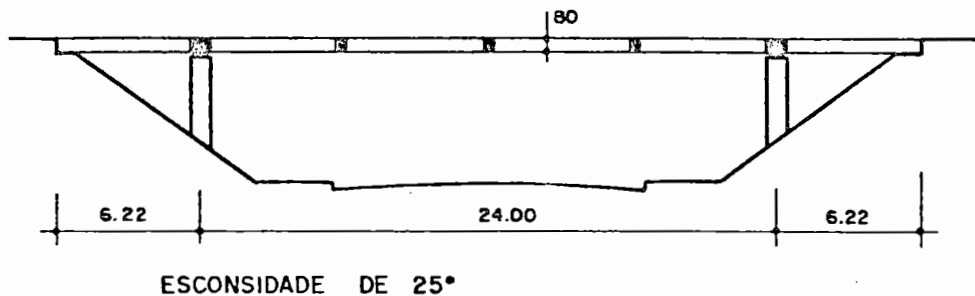


FIG. 4.6 - EXEMPLO DE PONTE EM VIGA COM SEÇÃO TRANSVERSAL EM LAJE VAZADA [MARTINELLI (1971)]

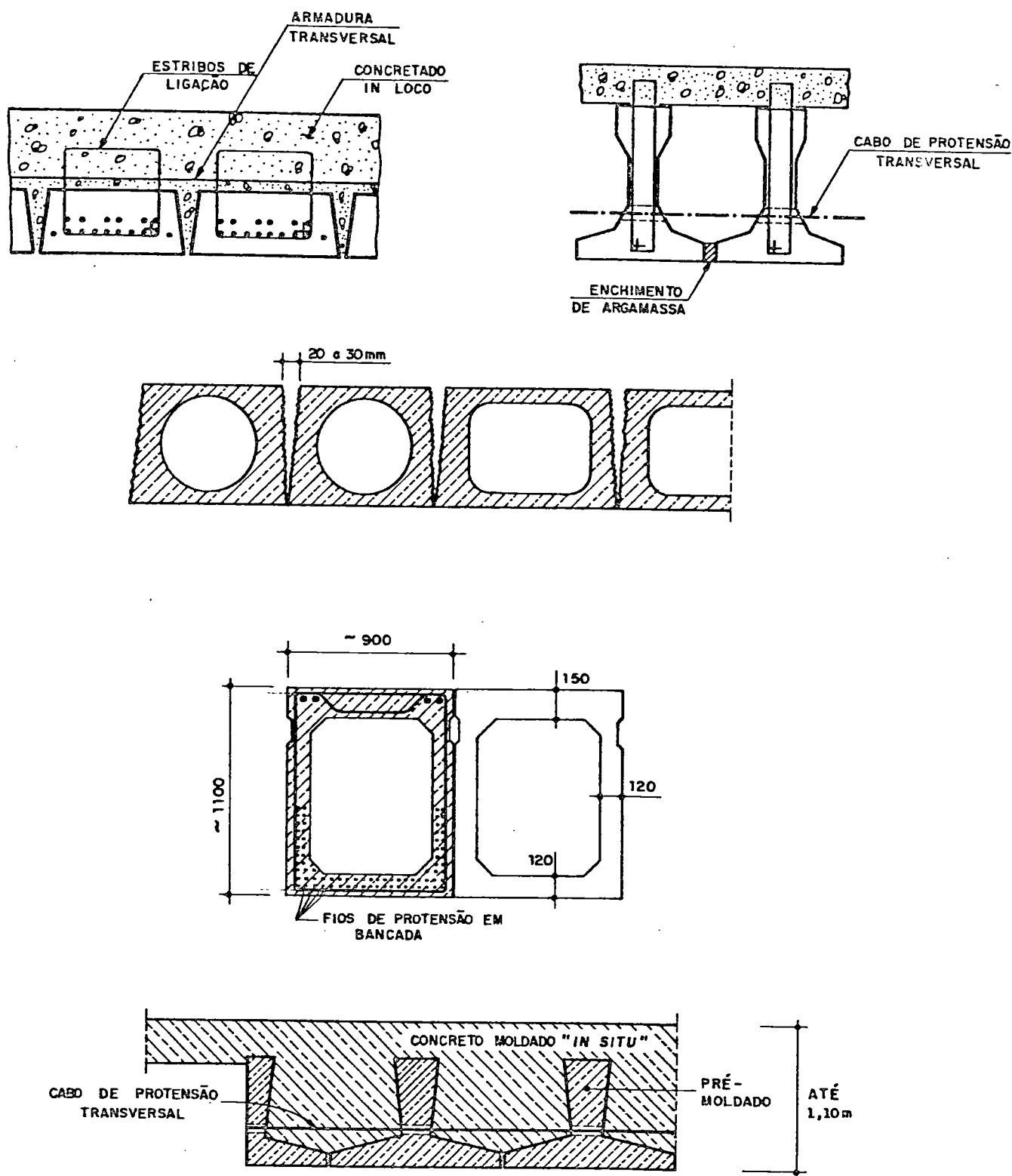


FIG. 4.7 - SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES DE LAJE COM EMPREGO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

3- PONTES DE VIGA

3.1- TABULEIRO NORMAL

3.1.1- Seção T

A seção transversal T é obtida utilizando-se a laje do tabuleiro como mesa superior, e mais a nervura que seria a alma, conforme mostra a Fig. 4.8.

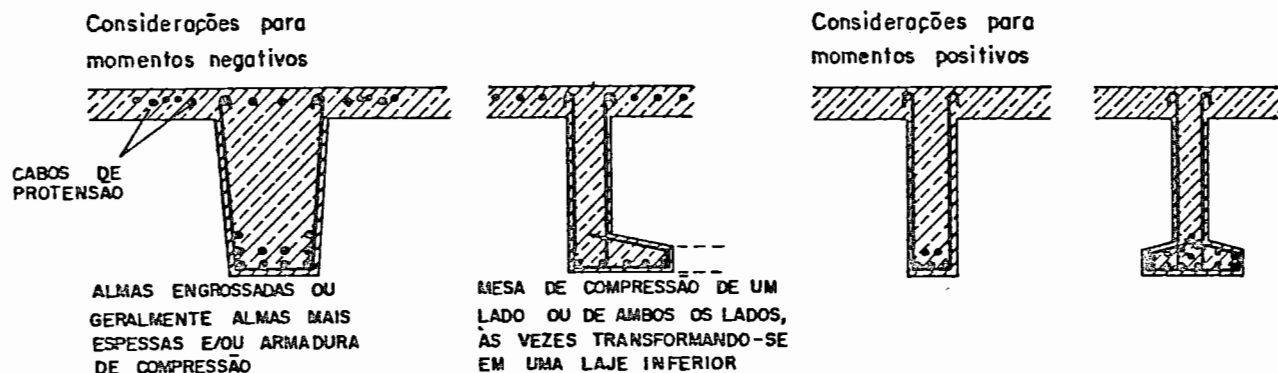


FIG. 4.8 - SEÇÃO TRANSVERSAL EM VIGA "T". [LEONHARDT (1979)]

Este tipo de seção é mais indicado para resistir a momentos positivos, pois neste caso a zona comprimida, formada pela mesa superior será bastante grande.

O alargamento da parte inferior da alma pode dificultar a execução, sendo por isto indicado somente quando a altura da nervura ultrapassar 2 m.

A altura da seção pode ser pré-dimensionada a partir dos índices de esbeltez para sistema estrutural em viga simplesmente apoiada, indicados por MARTINELLI (1971), e que podem ser extrapolados para outros tipos de sistemas estruturais, conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tipo de ponte	C.A.		C.P.	
pedestres	15	a 20	20	a 25
rodoviária	10	a 15	15	a 20
ferroviária	8	a 10	10	a 15

Tabela 4.2 - Valores do índice de esbeltez l_1/h para pré-dimensionamento de pontes de viga

A Fig. 4.9 mostra os tipos representativos de seções transversais das pontes de viga em seção T, moldadas no local, segundo LEONHARDT (1979).

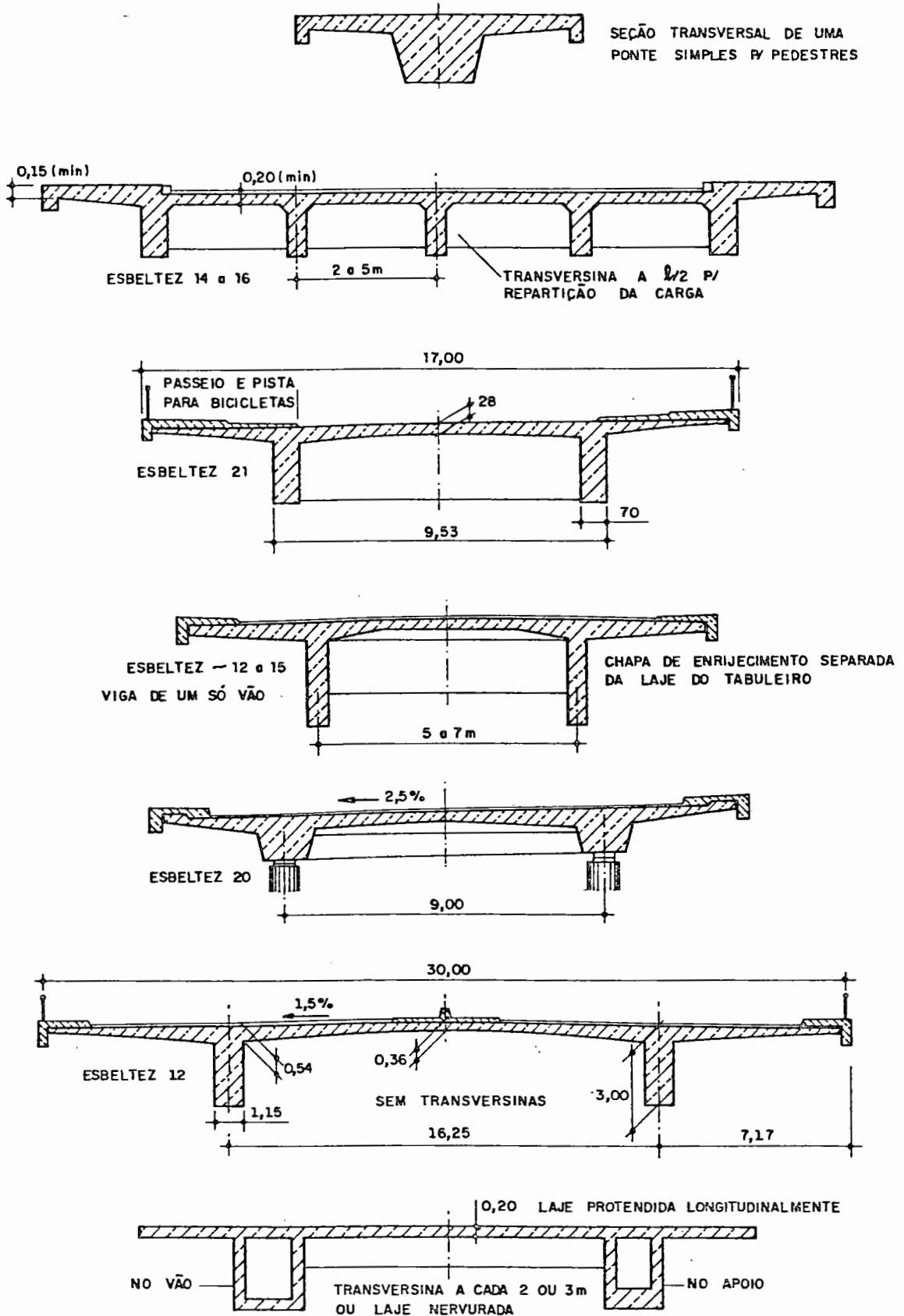
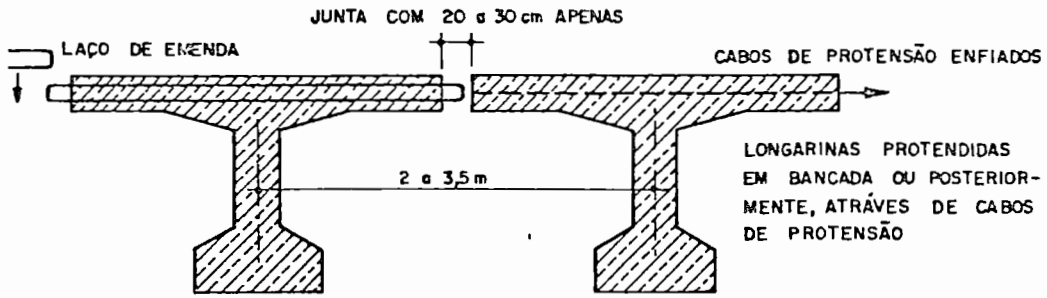
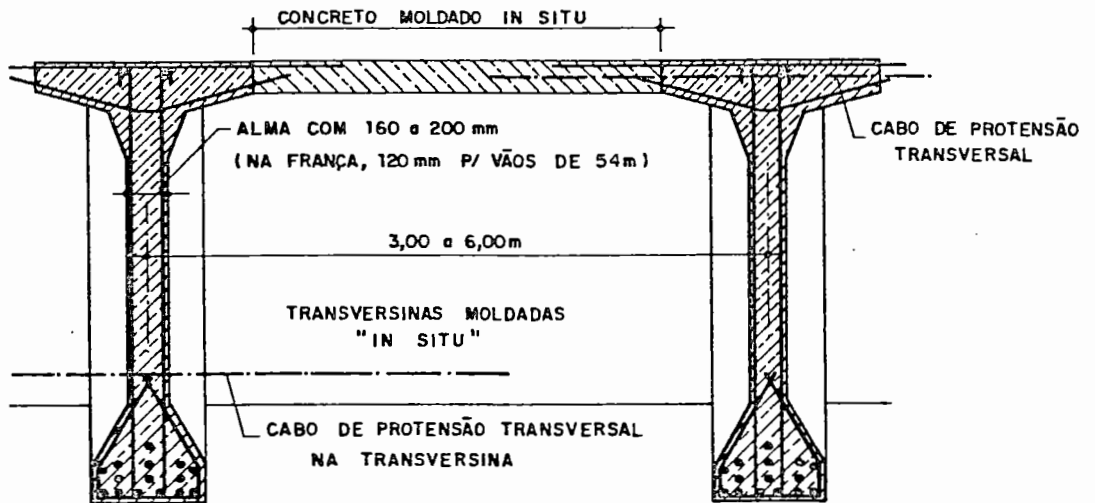


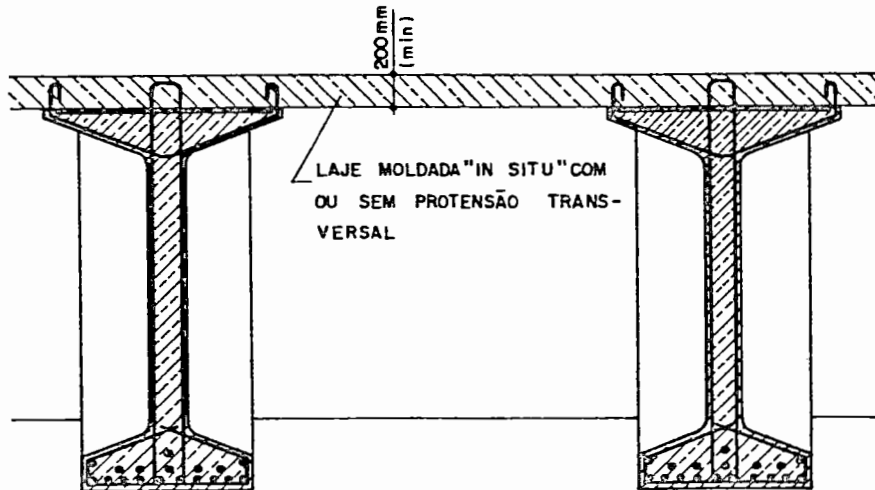
FIG.4.9 - SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES DE VIGAS "T" [LEONHARDT(1979)]



VIGA PRÉ-MOLDADA COM MESAS SUPERIORES LARGAS



VIGA PRÉ-MOLDADA COM MESAS SUPERIORES ESTREITAS (TIPO FRANCÊS)



VIGAS PRÉ-MOLDADAS COM CONECTORES NAS MESAS P/ LIGAÇÃO COM A LAJE DO TABULEIRO CONCRETADA "IN SITU" EM TODA SUA EXTENSÃO.

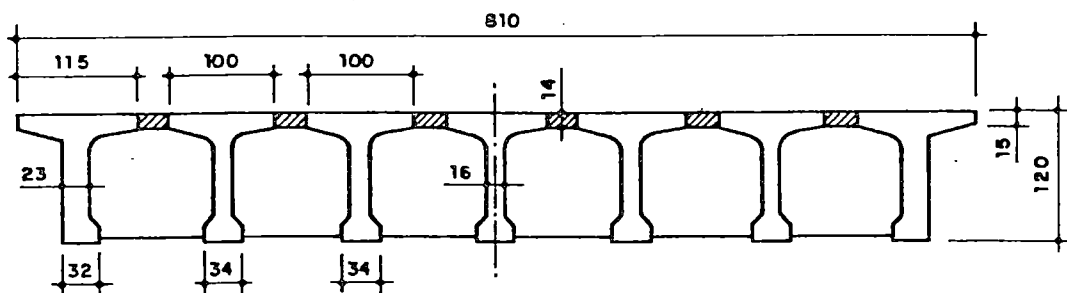
FIG. 4.10 - FORMAÇÃO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS EM VIGAS "T" PRÉ-MOLDADAS
[LEONHARDT (1979)]

O número de vigas (longarinas) mais indicado é dois, salvo nas passarelas para pedestres. Número de vigas maior que dois conduz a maior área de fôrmas, sendo por isto pouco empregado atualmente.

No caso de se empregar mais de duas longarinas é conveniente utilizar uma transversina no meio do vão, além das transversinas de apoio.

No caso de se empregar duas longarinas tem-se as seguintes opções:

- a) duas transversinas intermediárias monolíticas com a laje, além das transversinas nos apoios;
- b) transversinas desligadas da laje - o que possibilita um arranjo de armadura constante ao longo do vão, e evita-se o aparecimento de tensões de tração longitudinais na parte superior do tabuleiro - em número igual ao do caso anterior;
- c) sem transversinas intermediárias, presentes apenas nos apoios ou até sem estas, com as vantagens da situação anterior, além da facilidade de execução, porém com uma pior distribuição transversal das cargas.



TRAMO SIMPLEMENTE APOIADO, $l = 28$, ALTURA CONSTANTE

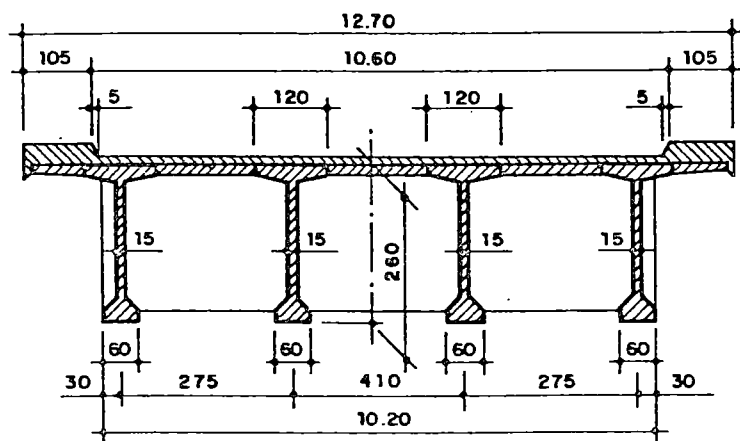


FIG. 4.11 - EXEMPLOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS EM VIGAS "T" PRÉ-MOLDADAS [MARTINELLI (1971)]

As pontes de viga de seção T podem ser executadas com elementos pré-moldados que vencem todo o vão. Este tipo construtivo tem sido bastante empregado atualmente. Neste caso não vale o que foi dito anteriormente sobre o número de longarinas, e nem sobre o alargamento da parte inferior da alma. Por se tratar de elementos pré-moldados procura-se reduzir o peso dos elementos aumentando-se o número das vigas. Assim em tabuleiro com largura de 12 m a 14 m normalmente empregam-se 4 a 5 longarinas.

As possibilidades da formação do tabuleiro, segundo LEONHARDT (1979), estão apresentadas na Fig. 4.10.

A figura 4.11 mostra exemplos de seção transversal de pontes de viga de seção T, empregando esta alternativa.

3.1.2- Seção celular

Ao se associar uma laje inferior no tipo de seção do item anterior tem-se a seção celular, também chamada de seção caixão.

A laje inferior, além de melhorar a distribuição transversal dos esforços, forma uma outra mesa em posição oposta à mesa formada pelo tabuleiro, fazendo com que a seção tenha um comportamento semelhante à seção I. Desta forma, este tipo de seção é apropriado para ser empregado em vigas contínuas, especialmente as protendidas.

Mesmo para pontes simplesmente apoiadas, mas protendidas, a seção celular pode ser vantajosa, pois a laje inferior serve de mesa de compressão quando atua apenas a carga permanente.

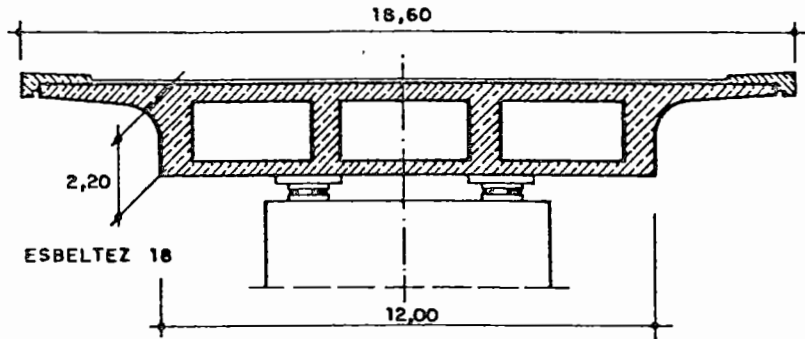
Em razão da grande rigidez à torção, as seções celulares são também indicadas para pontes curvas e para pontes retas com suportes formados por um único pilar isolado.

Em razão dessas vantagens com relação ao comportamento estrutural, as seções celulares tem sido as mais empregadas atualmente, exceto para pontes de pequeno vão e para aquelas executadas com vigas de seção T empregando elementos pré-moldados.

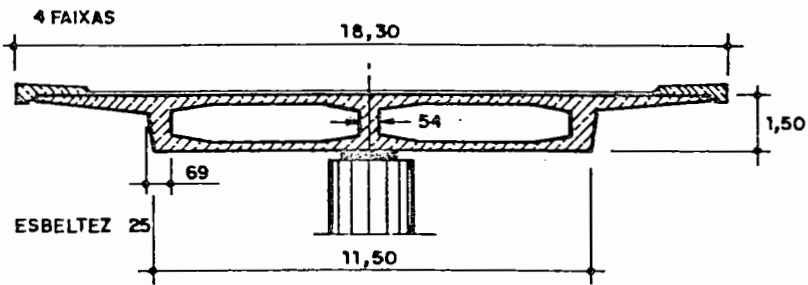
As seções transversais típicas de vigas de seção celular são mostradas nas Fig. 4.12-a e 4.12-b.

Destaca-se que a tendência atual é a de se empregar uma única célula. O emprego de mais de uma célula se impõe para pontes com tabuleiro largo associado a seção transversal com pequena altura.

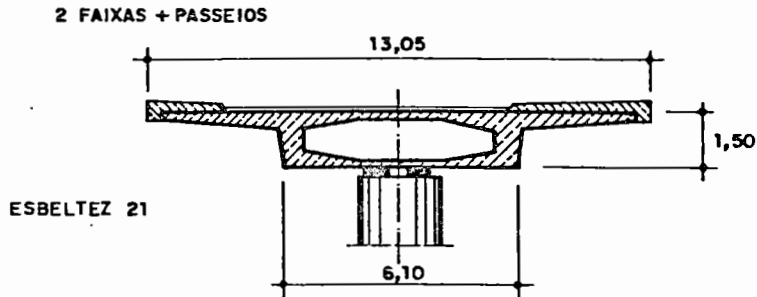
Nas seções celulares normalmente se empregam vigas transversais, que são chamadas de diafragmas transversais, apenas nos apoios.



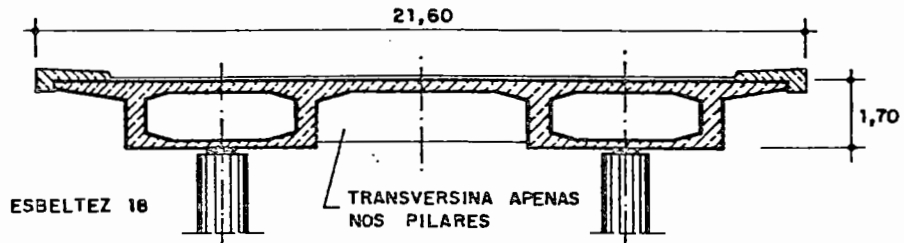
SEÇÃO EM CAIXÃO COM TRÊS CELULAS, PARA ESTRADA DE QUATRO FAIXAS E P/ VÃOS DE ATÉ 39 m.



SEÇÃO EM CAIXÃO DE DUAS CÉLULAS, BASTANTE BAIXA, PARA ESTRADAS DE QUATRO FAIXAS E VÃOS DE 36 a 38 m



SEÇÃO EM CAIXÃO UNICELULAR PARA ESTRADA DE DUAS FAIXAS (COMO POR EXEMPLO EM BIFURCAÇÕES). VÃOS DE CERCA DE 32 m



DUAS SEÇÕES EM CAIXÃO INDIVIDUAIS PARA DUAS SÉRIES DE PILARES

FIG. 4.12a - EXEMPLOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES DE VIGAS DE SEÇÃO CELULAR [LEONHARDT (1979)]

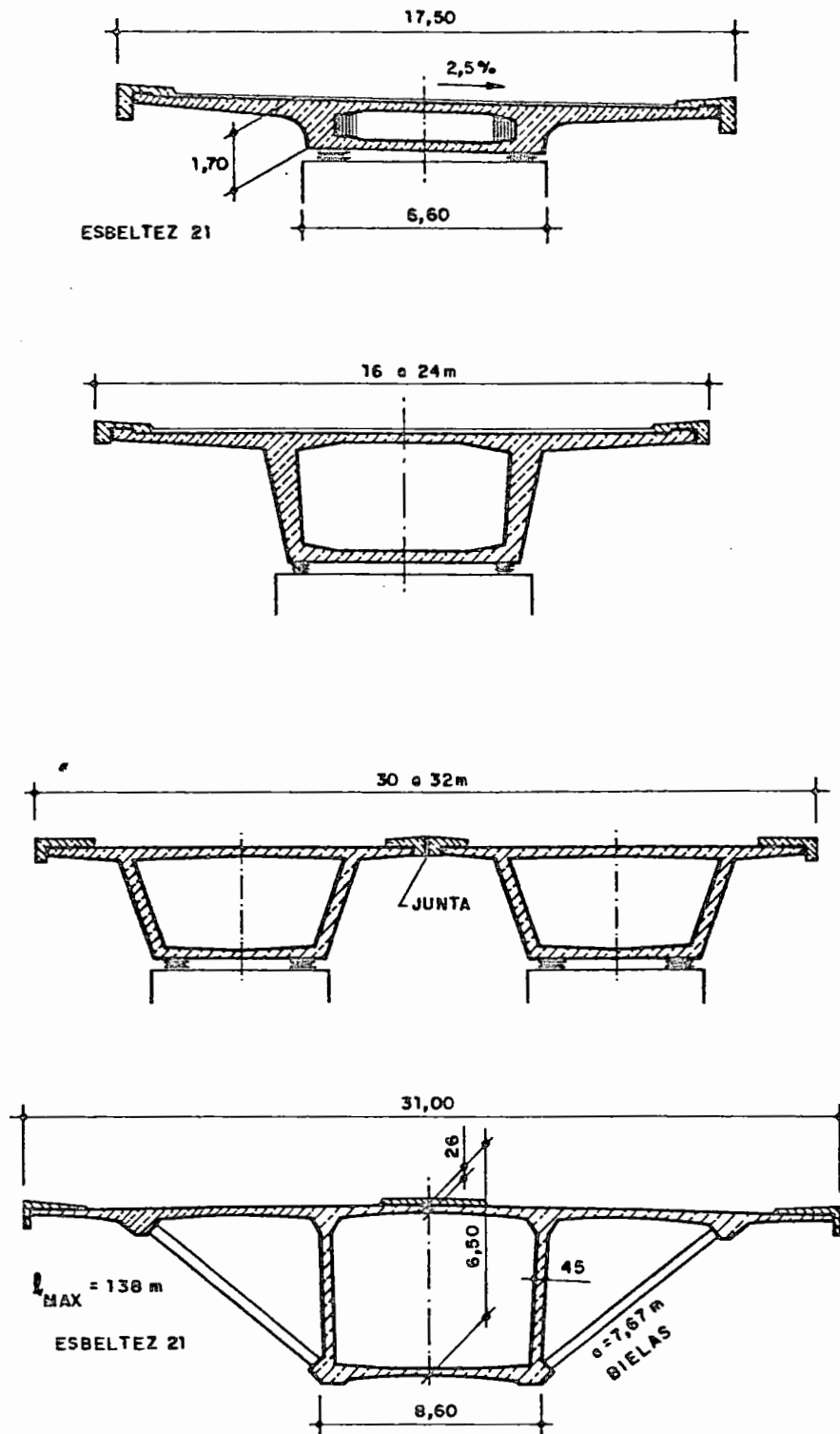
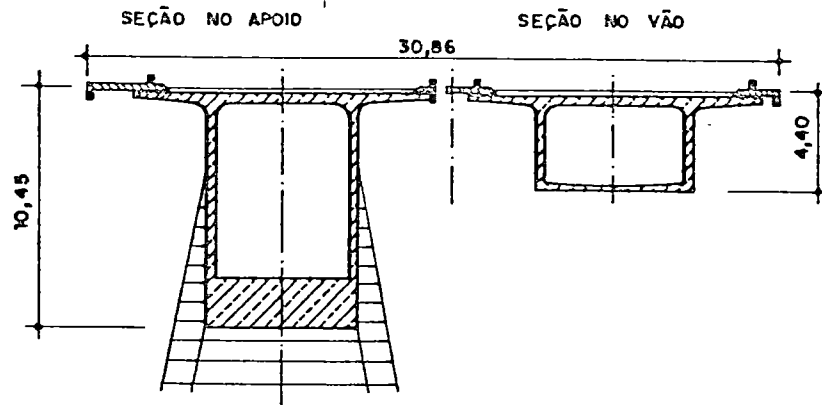
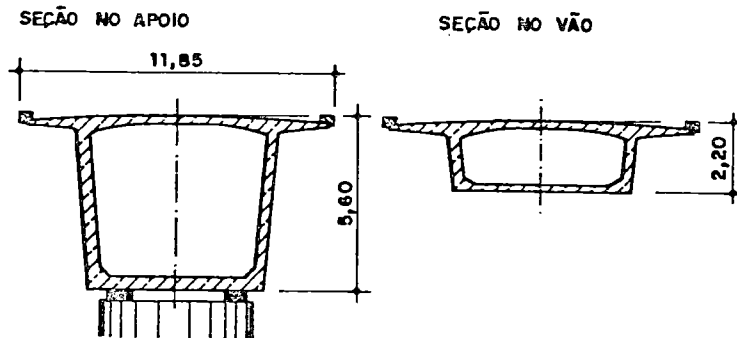


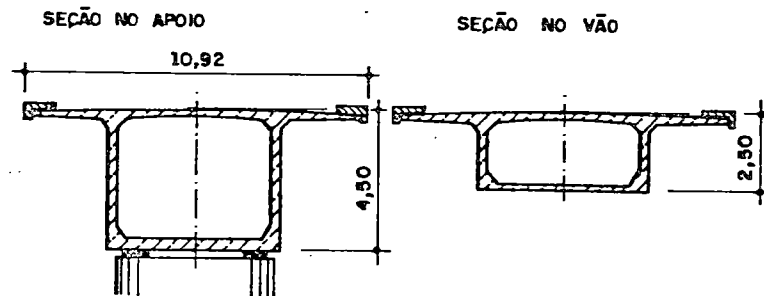
FIG. 4.12b - EXEMPLOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES DE VIGAS DE SEÇÃO CELULAR [LEONHARDT(1979)]



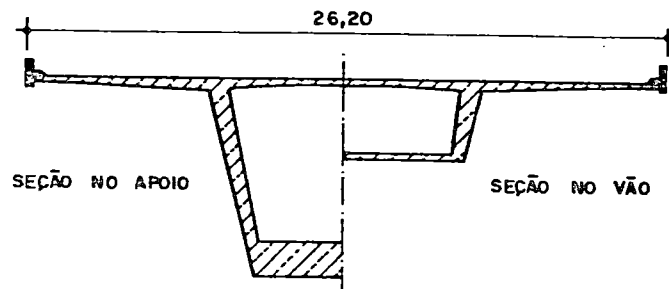
SEÇÃO TRANSVERSAL DA PONTE SOBRE O RENO EM BENDORF, COM VÃO MÁXIMO DE 205m. DOIS CAIXÕES UM AO LADO DO OUTRO (PROJETO DA FIRMA DYWIDAG). ESPESSURA DA ALMA: 370 mm



SEÇÃO TRANSVERSAL DA PONTE DE OOSTERSCHELDE (HOLANDA), $l = 95$ m, ESPESSURA DA ALMA: 350 mm



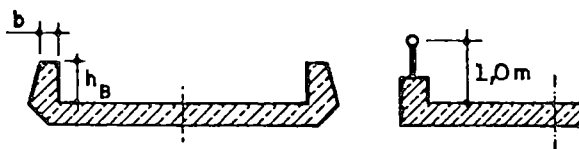
SEÇÃO TRANSVERSAL DA PONTE DE OLÉRON (FRANÇA), $l = 79$ m, ESPESSURA DA ALMA: 300 mm



SEÇÃO TRANSVERSAL DA PONTE DE FELSENAU SOBRE O AARE EM BERN, $l_{max} = 144$ m (PROJETO DO PROF. MENN)

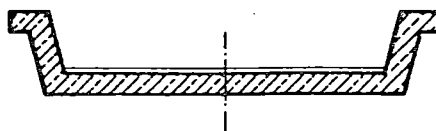
FIG. 4.13 - EXEMPLOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PONTES DE VIGA DE SEÇÃO CELULAR CONSTRUÍDAS C/ A TÉCNICA DOS BALANÇOS SUCESSIVOS.
[LEONHARDT (1979)]

PONTE PARA PEDESTRES
ESBELTEZ ATÉ ~25

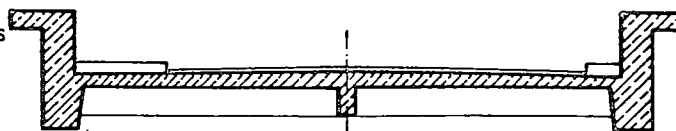


QUANDO A ALTURA DO PARAPEITO E A LARGURA SUPERIOR
 $h_B + b \geq 1,2\text{m}$, NÃO É NECESSÁRIO UM CORRIMÃO

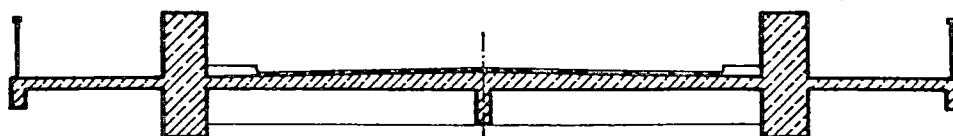
PONTE SOBRE CAMINHOS RURAIS



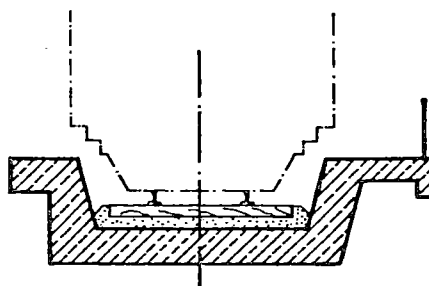
ESTRADAS ESTADUAIS E RURAIS
ESBELTEZ ATÉ ~20



VIAS URBANAS E ESTRADAS SECUNDÁRIAS
ESBELTEZ ATÉ ~18



PONTE COM TABULEIRO REBAIXADO PARA VIAS URBANAS, COM PASSEIOS POR FORA DAS LONGARINAS.
A ALTURA DAS LONGARINAS h_B SOBRE O TABULEIRO NÃO DEVE ULTRAPASSAR 1,0m. ESBELTEZ ATÉ ~18



PONTE COM TABULEIRO REBAIXADO PARA FERROVIAS

FIG. 4.14 - SEÇÕES TRANSVERSAIS COM TABULEIRO REBAIXADO [LEONHARDT (1979)]

Nas pontes construídas com a técnica dos balanços sucessivos, moldados no local ou pré-moldados, o uso da seção celular é praticamente inevitável por causa dos altos momentos negativos que ocorrem durante a fase construtiva. Na Fig. 4.13 mostram-se alguns exemplos de pontes de grandes vãos construídas com a técnica dos balanços sucessivos.

Destaca-se que elementos pré-moldados que vencem todo o vão não são empregados neste tipo de seção, exceto quando se utiliza a técnica dos deslocamentos progressivos.

3.2- Tabuleiro rebaixado

O emprego de tabuleiro rebaixado - tabuleiro inferior ou intermediário - conforme ilustrado na Fig. 4.14, apresenta a vantagem de possibilitar uma pequena altura na seção, entre a pista de rolamento e a face inferior da ponte, implicando na redução da movimentação de terra nas rampas de acesso, ou então, facilidades na observância do gabarito do obstáculo transposto pela ponte.

Este tipo de seção tem sido pouco empregado por causa da sua estética, pouco apreciada, porém cabe destacar que o seu uso pode ser interessante em certas situações particulares, tendo em vista a vantagem comentada anteriormente.

BIBLIOGRAFIA

FERMANDEZ CASADO, C. Puentes de hormigon armado pretensado. Madrid, Editorial Dossat, 1965.

LEONHARDT, F. Construções de concreto, vol. 6: Princípios básicos da construção de pontes de concreto. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1979.

MARTINELLI, D.A.O. Introdução às pontes de vigas. São Carlos, EESC-USP, 1971.

MARTINELLI, D.A.O. Introdução às pontes de laje. São Carlos, EESC-USP, 1971.