

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO
DEP - OPET



SEÇÃO DE FORTIFICAÇÃO E CONSTRUÇÃO

Projeto e Cálculo de Pontes de Concreto Armado

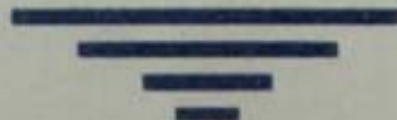
VOLUME I

Notas de Aulas

Prof. ANTÔNIO CARLOS DE AREIAS NETO

1977

CAPÍTULO I



SEÇÃO DE FORTIFICAÇÃO E CONSTRUÇÃO
PROJETO ESPECIAL DE FIM DE CURSO

PROJETO E CÁLCULO DE PONTES
EM CONCRETO ARMADO

VOL I

Executado pelos Engenheirandos / 1977

CAP SÉRGIO DA SILVA TINOCO

CAP TITO ARSÊNIO BENITEZ BENTO (Ex.Paraguaió)

ASP OF R/2 ALÍSIO TACQUES MENDES VAZ

ASP OF R/2 SÉRGIO ANTONIO TORRES VIEIRA

ASP OF R/2 SÉRGIO FOLESCU

Orientado pelos Professores

ANTÔNIO CARLOS DE AREIAS NETO

CAP QEM CARLOS FERNANDO CORREIA BERNARDES

AGRADECIMENTOS

Antes de iniciarmos o texto, desejamos manifestar os nossos mais sinceros agradecimentos às pessoas que através de incentivos, colaborações e auxílios diversos tornaram possível a compilação de dados, elaboração das presentes notas, desde nossos mestres até profissionais especializados, passando por nossos colegas, amigos, secretárias, desenhistas e datilógrafas chegando aos funcionários da SMA responsáveis diretos pela a parência final do nosso trabalho .

Aos engenheiros POTY O. BERNY e Major JOÃO BOSCO CAVALCANTE dedicamos nosso reconhecimento pela gentil doação dos textos que formam os anexos .

Ao nosso incansável orientador CAPITÃO QEM CARLOS FERNANDO CORREA BERNARDES, nossa profunda estima e gratidão por todas as horas de dedicação e sacrifício que viveu ao nosso lado .

Em especial agradecemos ao nosso mestre Professor Engenheiro ANTONIO CARLOS DE AREIAS NETO por sua dedicação constante e interesse imensurável, desde a coleta de dados até o encaminhamento do assunto, ajudando-nos a tornar o trabalho de fácil compreensão e de grande utilidade para aqueles que o consultarem .

APRESENTAÇÃO

Este trabalho especial de fim de curso tenta, pela primeira vez, apresentar ao aluno de Engenharia Civil o vasto assunto de " Pontes em Concreto Armado " , de uma maneira tal que lhe permita ter uma visão mais ampla e detalhada dos aspectos do projeto e cálculo de pontes .

Não tentamos, de maneira alguma realizar inovações no campo do cálculo estrutural. Simplesmente esforçamo-nos para coletar o maior número de informações possíveis das mais diversas fontes, sob a orientação de nossos mestres e profissionais especializados. Embora esta fase do trabalho exigisse grande empenho de pesquisa, a etapa que se seguiu foi a que julgamos mais delicada. Envolvemo-nos no processo de comparar as informações, selecionar as mais importantes, sintetizá-las, e revesti-las de um aspecto didático, tornando-as de mais fácil compreensão, com o auxílio de ilustrações, quadros, ábacos, gráficos e roteiros de cálculo.

Visando acostumar desde o início o estudante com o desenvolvimento do projeto e confecção da memória de cálculo de uma ponte, acompanhamos cada etapa da exposição com a sua aplicação na resolução estrutural de uma ponte-exemplo. Desta maneira tem-se , ao findar o trabalho, uma ponte inteiramente calculada acompanhada de plantas e quadros de cálculo, o que é de grande utilidade para uma melhor fixação dos ensinamentos teóricos .

O trabalho encontra-se dividido em quatro capítu-

los, em cuja organização tentamos nos basear no encaminhamento dado ao assunto pelo Professor Areias Neto, para que futuramente estas apostilas sirvam como material para acompanhamento de suas aulas. Assim sendo tem-se no capítulo I os " Dados Necessários ao Projeto ", no II " Superestrutura " (Vigas, Lajes, Transversinas), no III " Mesoestrutura " (Pilares e Encontros) e no IV " Infraestrutura " (Fundações em estacas, tubulões e sapatas) .

Por fim introduzimos três anexos que abordam com mais profundidade tópicos específicos que julgamos de interesse, quais sejam : Hidrologia, pelo Professor — POTY; Flambagem, pelo Major JOÃO BOSCO CAVALCANTI ; e Pontilhões, por nós compilado .

Lembramos aos leitores que o trabalho não está isento de imperfeições, e acreditamos mesmo que diversas falhas poderão ser encontradas em seu conteúdo. Pedimos compreensão mesmo porque o prazo de execução de toda esta volumosa tarefa foi bastante curto. Agradecemos muito que os erros encontrados fossem notificados ao professor responsável para que este tomasse as providências necessárias para saná-los .

No mais, esperamos que estes volumes lhes sejam úteis e contamos com a ajuda dos leitores para o aprimoramento deste trabalho .

SUMÁRIO

I ELEMENTOS NECESSÁRIOS AO PROJETO E CÁLCULO DE UMA PONTE

I-1 Introdução - Objetivos

I-2 Coleta de Informações

I-2-1 Condições presentes do projeto

I-2-2 Elementos da Via

I-2-2-1 Tipos de estrada e sua classe

I-2-2-2 Projeto da estrada

I-2-2-3 Complementos da Ponte

I-2-3 Elementos Hidrológicos

I-2-4 Elementos Geológicos e Geotécnicos

I-2-5 Dados complementares ao projeto

I-2-5-1 Dados que influirão na solução estrutural e no custo da obra

I-2-5-2 Visita ao local

I-2-5-3 Instalações para as obras

I-2-5-4 Diversos

I-3 Descrição dos Elementos de uma Ponte

I-4 Determinação do comprimento de uma ponte

I-5 Escolha do Sistema Estrutural

I-5-1 Sistemas estruturais

I-5-1-1 Pontes em viga reta

I-5-1-2 Pontes em quadros rígidos

I-5-1-3 Pontes em arco

I-5-2 Seções transversais mais comuns

I-5-2-1 Pontes em viga reta

I-5-2-2 Pontes em arco

I-5-2-3 Seções - tipos

II SUPERESTRUTURA DAS PONTES

II-1 Introdução

II-2 Viga Principal

II-2-1 Levantamento da carga permanente

II-2-2 Cálculo estático da viga principal sob a ação da carga permanente

- II-2-2-1 Envoltórias de cargas permanentes
- II-2-3 Levantamentos da carga móvel
- II-2-4 Utilização das Tabelas Anger
 - II-2-4-1 Apresentação
 - II-2-4-2 L.I. de Momentos Fletores
 - II-2-4-3 Linhas de Influência das reações de apoio
 - II-2-4-4 Linhas de Influência de cortante
- II-2-5 Cálculo completo dos esforços, através das tabelas de ANGER para o nosso exemplo de ponte de projeto
 - II-2-5-1 Momentos Fletores
 - II-2-5-2 Esforços cortantes devidos a carga móvel
 - II-2-5-3 Quadro dos esforços envoltórios devido a carga móvel
- II-2-6 Traçado das Envoltórias
 - II-2-6-1 Envoltórias de momento fletor
 - II-2-6-2 Envoltórias de esforços cortantes
- II-2-7 Quadro envoltório dos esforços para a ponte-exemplo
- II-2-8 Dimensionamento da Armação da Viga
 - II-2-8-1 Armadura de Flexão
 - II-2-8-2 Armadura de Cisalhamento
 - II-2-8-3 Armadura de Distribuição
 - II-2-8-4 Dimensionamento da armadura da ponte-exemplo

++++++

CAPÍTULO I

ELEMENTOS NECESSÁRIOS AO PROJETO E CÁLCULO DE UMA PONTE.

I-1 INTRODUÇÃO = OBJETIVOS

Ao iniciar o projeto de uma ponte o engenheiro deve estar de posse de uma série de informações que lhe possibilite uma visão perfeita da situação e das condições executivas da obra. Desta maneira poderá elaborar o projeto que melhor se encaixe nas características peculiares que se apresentam .

Em obras de grande vulto, onde grandes somas são envolvidas, a necessidade de informações mais precisas e completas aumenta , uma vez que se torna necessária uma concepção global visando especialmente : economia, rapidez, eficiência, qualidade e, aspectos arquitetônicos bem como os acidentes físicos existentes no local da construção que também são restritivos ao desenvolvimento do projeto.

O bom projetista não analisará a execução física e cálculo da ponte somente, mas também, estas tarefas dentro do contexto da região em que se localiza. Ele irá enquadrar o projeto dentro das facilidades de mão-de-obra, materiais, transporte e condições de infraestrutura oferecidas no local. Da mesma maneira deverá ter sua atenção sempre voltada no sentido de minimizar as agressões ao meio ambiente e ao modo de vida dos habitantes da localidade, aí incluídas poluição do ar e águas, extermínio da flora e fauna e, alterações na paisagem. Deve lembrar-se sempre que uma ponte representa uma expressão da cultura da época e do país .

Para levar a termo estes trabalhos da melhor maneira possível, o projetista vê-se obrigado a requisitar dos órgãos responsáveis, grande parte das informações e a, eventualmente , ele próprio pesquisá-las e obtê-las. Tentando ajudá-lo, elaborou-se

uma lista de dados e providências a serem tomadas, visando orientá-lo nesta tarefa. Embora contendo muitos itens, a lista por sua característica genérica não pretende ser completa, uma vez que uma obra poderá apresentar peculiaridades próprias dela. Pela mesma razão muitos itens não precisarão ser considerados para todas as obras. Deve-se ressaltar também que muitos dados são os considerados ideais mas, na grande maioria dos casos, de obtenção muito difícil ou mesmo impossível. A bem da verdade o trabalho do projetista se inicia na própria determinação dos dados que julga necessário na elaboração do projeto .

I-2 COLETA DE INFORMAÇÕES

I-2-1 Condições presentes do projeto .

Primeiramente o projetista deve inteirar-se dos estudos já realizados sobre o assunto e a existência ou não de ante projeto, no caso de caber a ele desenvolver um projeto final .

Caso lhe caiba apenas o cálculo estrutural, deverá informar-se sobre detalhes do projeto junto a quem o concebeu, órgão oficial contratante ou firma de Consultoria .

I-2-2 Elementos da Via

I-2-2-1 Tipo de estrada e sua classe

Determinam o trem - tipo a ser utilizado no cálculo e as soluções estruturais a serem adotadas .

Existem dois tipos de estradas :

- rodoviárias, e,

- ferroviárias

a) ESTRADAS RODOVIÁRIAS

Existem quatro classes de Estradas Rodoviárias :

- Classe 0 (Especial) ;
- Classe I ;
- Classe II ;
- Classe III ;

b) ESTRADAS FERROVIÁRIAS

Existem os seguintes tipos de ligação :

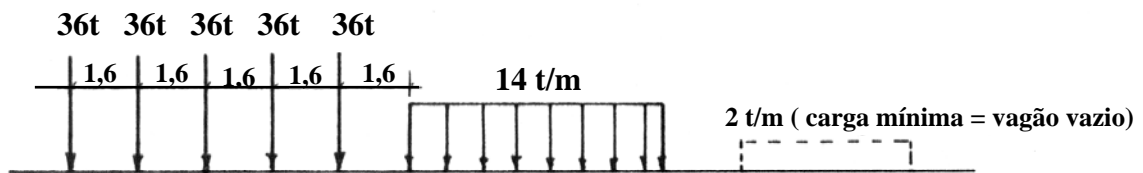
- linhas tronco e ligações principais ;
- linhas subsidiárias principais ; e
- linhas subsidiárias secundárias .

c) TRENS-TIPO EMPREGADOS

Os trens - tipo empregados nas pontes são os previstos nas NB-6 - Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias e NB-7 - Carga Móvel em Pontes Ferroviárias, as quais tomamos a liberdade de inscrever no trabalho a seguir .

Cabe ainda ressaltar que em alguns casos especiais o TREM-TIPO poderá ser fixado por normas específicas, elaboradas pelos órgãos competentes, como por exemplo, o trem-tipo para a Ferrovia do Aço, previsto em normas da ENGEFER .

- TREM - TIPO da ENGEFER -



I-2-2-2 Projeto da Estrada

a) ELEMENTOS TOPOGRÁFICOS

Os elementos topográficos devem ser fornecidos pelos órgãos ou firmas interessadas e, caso não o sejam, deverão ser exigidos pelo projetista para que possa haver coerência entre a obra a ser projetada e a estrada a que vai servir, ou seja, haja continuidade entre a estrada e a ponte .

Constam fundamentalmente de :

1º) Perfil longitudinal da estrada, mostrando o greide

O perfil deve ser levantado de 20 em 20 metros e pelo menos 200 metros para cada lado da obra a ser construída. Utilizam-se as seguintes escalas :

Vertical = 1:50

Horizontal = 1:500

29) Planta com curvas de nível de metro em metro, na escala 1:1000

As cartas devem cobrir toda a extensão da obra numa faixa de 100m de largura e prolongar-se além das extremidades, do maior dos seguintes valores :

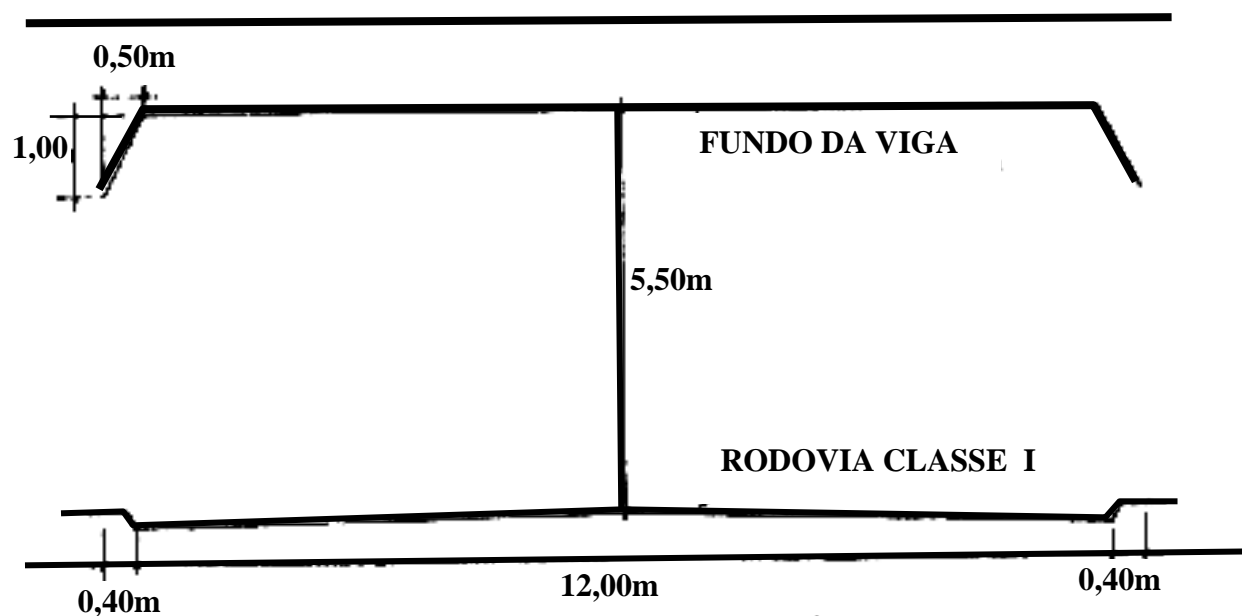
- i) comprimento da obra ;
- ii) 300 metros .

Deverão estar especificados o greide, as cotas principais, coordenadas e números das estacas da estrada, a esconsida de da obra e o perfil da caixa do fundo do rio. Uma indicação de idades de origem e destino da via também é útil, de maneira a facilitar a identificação do sentido. Especial atenção deve ser da da na definição do greide da ponte. Pode ocorrer do greide forne cido na planta ser o greide da pista definitiva, incluindo pavi mentação ou lastro e trilhos, cabendo neste caso ao projetista de duzir as espessuras relativas a esses acabamentos, que se fizerem necessários .

Uma indicação prática para o caso de se ter o perfil de terraplanagem é considerarmos que a camada final de pavimenta ção estará a 60cm acima do greide de terraplanagem. Para se po der fazer um levantamento preciso, torna-se necessário o conheci mento das características do acabamento do leito da estrada (ca mada de asfalto, altura do conjunto lastro, dormente , trilho , etc.). Outro aspecto que não pode deixar de ser citado é a indi cação dos acidentes que a diretriz da estrada encontra no local previsto para a construção. Tais acidentes (ruas, construções di versas, rios) podem ser importantes para o lançamento da estrutu ra da obra e análise das seções de vazão, conforme o caso. A pre sença desses acidentes pode, às vezes, exigir obras complemen - res de contenção de aterros .

No caso de pontes curvas necessitam-se os dados referentes a:

- Raio da curva - R
- ângulo central (de flexão) - AC
- grau da curva - G
- desenvolvimento da curva - D
- projeção do trecho em curva sobre a tangente - T_s
- características da transição :
 - comprimento - l_c
 - ângulo central - S_c
 - projeção sobre a tangente - t_s
- estaca e coordenadas dos pontos principais :
 - TS ; SC ; CS e ST .
- superelevação - normalmente sã para pontes rodoviárias, visto que nas ferroviárias a superelevação é dada no lastro .
- superlargura - considerada apenas para pontes rodoviárias .

b) ELEMENTOS GEOMÉTRICOS**b.1) GABARITOS RODOVIÁRIOS**

Os Gabaritos para rodovias de outras classes e maiores detalhes, podem ser encontrados nas normas para projeto de estradas de rodagem.

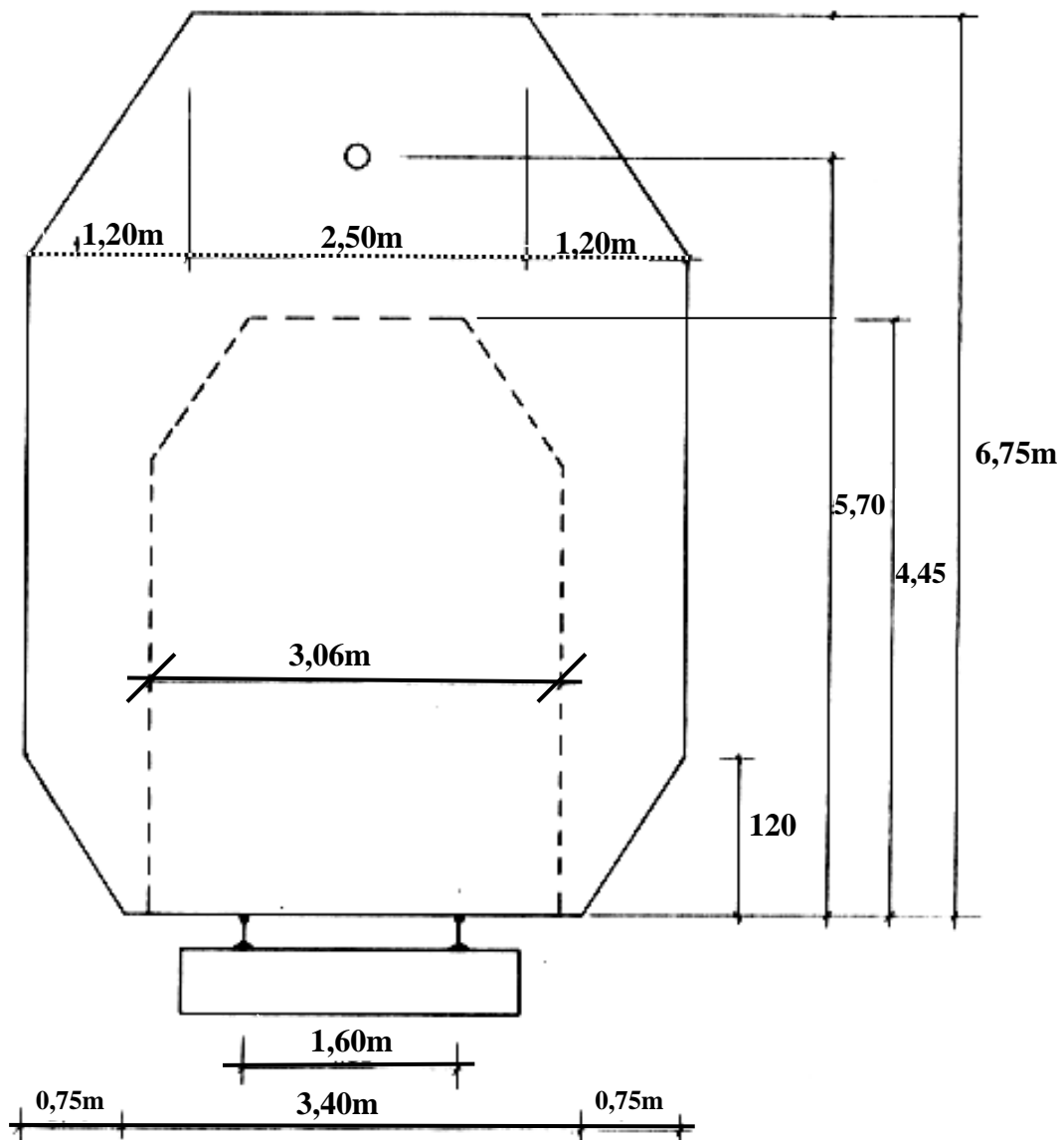
b.2) GABARITOS FERROVIÁRIOS

Dependem do tipo de bitola empregada e do número de linhas da ferrovia. Nos casos de viadutos rodoviários cruzando ferrovias, estes gabaritos devem ser respeitados.

Os gabaritos ferroviários estão previstos nas normas para projeto de estradas de ferro.

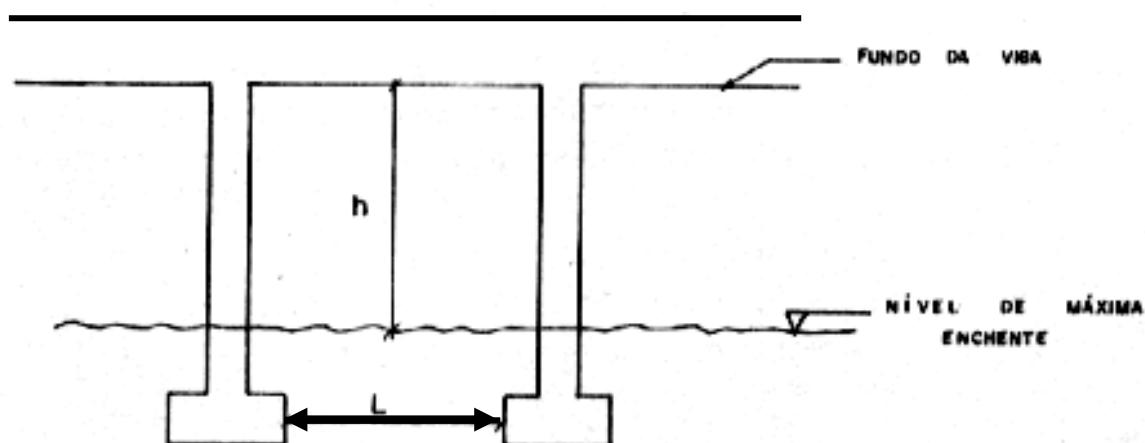
Apresentamos a seguir um exemplo para o caso de :

- Ponte em tangente, linha singela, bitola de 1,60m



b.3) GABARITOS PARA PONTES SOBRE CURSOS D'AGUA NAVEGÁVEIS.

Daremos a seguir uma indicação dos gabaritos hidroviários.



NAVEGAÇÃO	h (m)	L (m)
de chatas	4,0	10,0
de maior porte	12,0	40,0
transoceânica	55,0	250,0

Observação : Para as pontes sobre cursos d'água de importância para a navegação, se faz necessário o contato com o Ministério da Marinha, através das Capitânicas dos Portos, o qual faz estudos para cada caso específico, apresentando as limitações quanto às características que a obra deverá atender.

b.4) PONTES PRÓXIMAS A AEROPORTOS

Deve ser verificado junto as autoridades do Ministério da Aeronáutica as possíveis interferências da ponte nas rotas de aproximação e decolagem do campo de pouso.

1-2-2-3 Complementos da Ponte

Detalhes quanto ao tabuleiro da ponte devem ser verificados junto ao órgão interessado pela obra, visto que muitos deles foram padronizados, tais como :

- guarda-corpo;
- guarda-lastro;
- passeio de pedestre e etc .

A padronização se estende por vezes à própria estrutura da ponte, sendo recomendável averiguar esta possibilidade, antes de definir-se uma solução estrutural.

A possibilidade de existência de postes de iluminação , dutos de instalações elétricas, de gás, telefone ou água no tabuleiro, rede elétrica aérea para trens ou rede de transmissão de energia, também deve ser verificada.

1-2-3 Elementos Hidrológicos

Necessários para a determinação da seção de vazão do rio , influenciando diretamente na escolha do vão. Constam de :

- Determinação da bacia de contribuição do rio;
- Regime de escoamento conforme o terreno (plano , ondulado, montanhoso);
- Porosidade do terreno;
- Regime de chuvas nas cabeceiras e na região da bacia do rio, nos últimos 20 anos;
- Regime do rio :
 - a) cota diária do rio nos últimos 30 anos ;
 - b) cota máxima de cheia registrada no local ou região da ponte;

- c) cota mínima de estiagem ;
 - d) velocidade da corrente em épocas de seca, normal e de cheia ;
 - e) material arrastado pelas águas em regime de cheia e normal ;
 - f) ocorrência de erosão das margens e do leito.
- Estudos visando a possibilidade de retificação do rio :
observação da corrente, erosão, depósitos, além de exame da área por terra e por aerofotogrametria;
 - Clima local : temperatura, umidade, visibilidade e ventos ao longo do ano;
 - Influência de outras obras planejadas ou em execução na região (ex: barragens)
 - Dados de outras obras de arte na região: tipo estrutural, extensão, número de vãos, altura e existência de erosão nas fundações e encontros .

Muitas das informações hidrológicas são de difícil ou impossível obtenção, devido a inexistência de estatísticas e medições para todos os rios. Estas deficiências podem ser supridas por informações colhidas junto à população das localidades vizinhas, devendo estes dados serem estudados cuidadosamente, tendo em vista sua estimativa ou avaliação sem precisão científica.

Uma análise mais detalhada dos fatores hidrológicos e a determinação da seção de vazão serão vistos mais adiante em anexo ao trabalho.

1-2-4 Elementos Geológicos e Geotécnicos.

Deverão ser levantados os seguintes dados :

a) Geologia geral da região — mapas e estudos realizados por órgãos ou autarquias do governo ;

b) Propriedades físicas, químicas e mecânicas das rochas e areias da região, visando seu uso como material de construção ;

c) Sondagens de reconhecimento em número suficiente para caracterizar o sub-solo, que servirão para elaboração de um anteprojeto, após o que, locada a posição definitiva dos pilares, podem ser exigidos sondagens no eixo de cada pilar .

d) Relatório de sondagens onde figuram :

- cota do nível d'água ;
- natureza das camadas atravessadas ;
- Índice de penetração ;

bem como a interpretação dos resultados .

e) Estudo da estabilidade de aterros. Verificação da capacidade do terreno de resistir à colocação de aterros e, da altura máxima de aterro possível (altura crítica) .

Como indicação prática para ante projetos, segundo o professor Dr. AREIAS NETO, poderemos adotar os seguintes critérios com relação a tensão máxima admissível pelo terreno, em função do Índice de penetração :

1º) Se o Índice de penetração foi crescente :

MATERIAL	$\bar{\sigma}_{adm}$ (kg/cm ²)
areia	IP/3
argila	IP/5
argilo-arenoso	IP/4

- usa-se o IP correspondente a cota da camada em que está implantada a fundação .

2º) Se o índice de penetração não for crescente, ou seja, descontínuo .

Por exemplo :

IP	
+ 6/30	
+ 12/30	→ digamos que aqui será a cota de fundação
+ 6/30	
+ 8/30	
+ 12/30	

- neste caso usa-se o IP correspondente a camada logo abaixo, ou seja, IP = 6/30 e, aplica-se o mesmo critério do quadro apresentado no 1º caso .

3º) e em função da profundidade :

- até 10m de profundidade → $\bar{\sigma}_{adm} = \frac{IP}{5} \text{ kg/cm}^2$

- acima de 10m → $\bar{\sigma}_{adm} = \frac{IP}{4} \text{ kg/cm}^2$

Observação . Deve ser observada a seguinte condição de segurança imposta pelas NORMAS :

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq 1,3 \bar{\sigma}_{adm}$$

Após os estudos de alternativas e realização do anteprojeto, o engenheiro faz a requisição das sondagens definitivas, fornecendo para tal um plano de sondagens .

Muito embora os relatórios de sondagens venham, normalmente, acompanhados de explicações dos métodos usados e interpretação dos resultados encontrados, listamos abaixo algumas tabelas que fornecem os valores usuais para as correlações entre os ensaios e a resistência do solo.

COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA SEGUNDO INDICES DE PENETRAÇÃO

FONTE: ENGR PAULO COSTA VELLOSO (GEOTÉCNICA S.A.)

TIPO DE AMSTRADOR		MOHR - GEOTÉCNICA Ø 1 5/8 - 1"		I P T Ø EXT 45 mm		RAYMOND - TERZAGHI Ø 2" 1 3/8	
DIÂMETRO DO TUBO DE REVESTIMENTO		2"		2"		2 1/2" (6")	
CRITÉRIO		GEOTÉCNICA 30 cm INICIAIS	GEOTÉCNICA 30 cm APÓS 15 cm	I P T 30 cm INICIAIS	GEOTÉCNICA 30 cm APÓS 15 cm (N)	TERZAGHI - PECK 30 cm APÓS 15 cm SPT	RAYMOND 30 cm INICIAIS
SOLOS DE	COMPACIDADE OU CONSISTÊNCIA	NÚMERO DE GOLPES					
COMPORTAMENTO GRANULAR (AREIAS, SILTES ARENOSOS, ETC)	FOFA	0 - 2	0 - 3	0-5 FOFA	0 - 4	0 - 4	1 - 10
	Pco. COMPACTA	3 - 5	4 - 7		5 - 8	4 - 10	
	Mte. COMPACTA	6 - 11	8 - 15	5 - 10	9 - 18	10 - 30	11 - 30
	COMPACTA	12 - 24	16 - 32	10 - 25	19 - 41	30 - 50	30 - 50
	Mto. COMPACTA	24	32	25	41	50	50
COMPORTAMENTO COESIVO (ARGILAS, SILTES ARGILOSOS, ETC)	Mto. MOLE	1	1	2	2	2	1 - 5
	MOLE	2 - 3	2 - 4	2 - 5	2 - 5	2 - 4	
	MEDIA	4 - 6	5 - 8	6 - 10	6 - 10	1 - 8	6 - 15
	RIJA	7 - 11	9 - 15	10 - 15	11 - 19	8 - 15	16 - 25
	Mto. RIJA	12 - 15	16 - 33	-	20 - 40	15 - 30	26 - 60
	DURA	25	33	15	40	30	60

VALORES EMPÍRICOS PARA ϕ , G.C. E PESO UNITÁRIO PARA SOLOS ARENOSOS
(COM AS CORREÇÕES PRÓPRIAS PARA PROFUNDIDADE E AREIAS FINAS SATURADAS)(1)

Descrição	Fofa	Pco. compacta	Hte. compacta	Compacta	Mto. compacta
Compacidade relativa G. C.	0	0.15	0.35	0.65	0.85 1.00
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO (SPT)	4	10	16	30	50
Ângulo de atrito in- terno ϕ (°)	25-30	27-32	30-35	35-40	38-43
Intervalo de variação do peso específico ú- mido (ton/m ³)	1,10-1,60(*)	1,45-1,85	1,75-2,10	1,75 - 2,25	2,10 - 2,40

- (*) Segundo Meyerhof. $\phi = 25 + 0.15$ (G.C.) com mais de 5% de finos e $\phi = 30 + 0.15$ (G.C.) com menos de 5% de finos. Os valores maiores deverão ser utilizados para materiais arenosos com 5% ou menos de finos. Para areias finas saturadas ou areias siltsas tomar $N' = 15 + 0.5$ (N-15) para N 15.
- (*) Deve-se notar que materiais de escavações ou o jogado de caminhões pesarão entre 1.10 e 1.45t/m³. O solo precisa encontrar-se muito denso ou compacto para alcançar valores superiores a 2,10t/m³. Os valores comuns para solos não saturados situam-se entre 1.65 e 1.85 t/m³.
- (1) BOWLES - Foundation Analysis and Design (1968).

CORRELAÇÕES USUAIS ENTRE O NÚMERO DE GOLPES PARA
PENETRAÇÃO DO AMOSTRADOR E A PRESSÃO ADMISSÍVEL

MATERIAL		TIPO DE AMOSTRADOR			PRESSÃO ADMISSÍVEL TON/M ²
		MOHR GEOTEC.	IPT	SPT	
Solos de com - portamento granular (areias, sil - tes arenosos, etc)	FOFA	0 - 2	0 - 5	0 - 4	10,0
	Pco. COMPACTA	3 - 5	0 - 5	5 - 10	10,0 - 20,00
	Mte. COMPACTA	6 - 11	5 - 10	11 - 30	20,0 - 40,0
	COMPACTA	12 - 24	11 - 25	31 - 50	40,0 - 60,0
	Mto. COMPACTA	24	25	50	60,0
Solos de com - portamento coesivo (argilas, sil - tes argilosos etc)	Mto. MOLE	1	2	2	0
	MOLE	2 - 3	2 - 5	2 - 4	0 - 5,0
	MÉDIA	4 - 6	6 - 10	5 - 8	5,0 - 20,0
	RIJA	7 - 11	10 - 15	9 - 16	20,0 - 30,0
	Mto. RIJA	12 - 25	15	17 - 32	30,0 - 50,0
	DURA	25	-	32	50,0

IDENTIFICAÇÃO VISUAL DAS ARGILAS

- Mto. MOLE - O punho penetra vários centímetros com muita facilidade. Quando apertada na mão escapa entre os dedos .
- MOLE - O polegar penetra vários centímetros facilmente. É facilmente moldada pelos dedos .
- MÉDIA - O polegar penetra vários centímetros com esforço moderado. Pode ser moldada pelos dedos .
- RIJA - O polegar deixa sua marca com facilidade, necessitando-se de grande esforço para sua penetração no solo. Requer muito esforço para ser moldada pelos dedos .
- Mto. RIJA - A unha do polegar deixa sua marca com facilidade .
- DURA - A unha do polegar deixa sua marca no solo com dificuldade. Não pode ser amassada pelos dedos e quando é a isso forçada desagrega - se .

RESISTÊNCIA DE ATRITO LATERAL EM ESTACAS (1)

Correlações com os valores do índice de resistência à penetração
(SPT)

M A T E R I A L		N (SPT)	VALORES USUAIS TON / M ²
AREIAS	FOFA	0 - 4	
	Pco. COMPACTA	4 - 10	
	Mte. COMPACTA	10 - 30	6,00 ± 2,50 (*)
	COMPACTA	30 - 50	
	Mto. COMPACTA	50	
ARGILAS	Mto. MOLE	2	0,50 ± 0,50
	MOLE	2 - 4	2,00 ± 1,00
	MÉDIA	4 - 8	3,50 ± 1,00
	RIJA	8 - 15	7,50 ± 2,00
	Mto. RIJA	15 - 30	15,00 ± 5,00
	DURA	30	20,00
AREIA FOFA C/SILTE ARG .		0 - 6	0,50 ± 0,25
AREIA Mto. COMPACTA C/ SILTE E ARGILA .		6 - 30	2,5 ± 0,5
AREIA COMPACTA C/ SILTE E ARGILA		30 - 50	3,5 ± 0,5
AREIA Mto. COMPACTA C/ SILTE E ARGILA		- 50	4,5 ± 0,5
AREIA E PEDREGULHO		-	10,0 ± 5,0
PEDREGULHO		-	12,5 ± 5,0

(1) G. LEONARDS - FOUNDATION ENGINEERING (1962) .

PESOS UNITÁRIOS E COEFICIENTES DE EMPUXO DE SOLOS GRANULARES (1)

SOLO DO TIPO	COMPACIDADE	PESO UNITÁRIO SOLO ÚMIDO t/m ³		PESO UNITÁRIO SOLO SUBMERSO t/m ³		COEFICIENTE DE EMPUXO ATIVO			COEFICIENTE DE EMPUXO PASSIVO		S P T (2)
		MIN	MAX	MIN	MAX	REATERRO	MACIÇO NATURAL	ÂNGULO DE ATRITO ϕ	MACIÇO NATURAL	ÂNGULO DE ATRITO ϕ	
AREIA LIMPA	COMPACTA	1.75 - 2.25	1.30 - 1.55				0.20	38 20	9.0	38 25	30 - 50
	MEDIANAMENTE COMPACTA	1.75 - 2.10	0.95 - 1.35				0.25	34 17	7.0	34 23	10 - 30
	POUCO COMPACTA	1.45 - 2.00	0.90 - 1.25	0.35			0.30	30 15	5.0	30 20	4 - 10
AREIA SILTOSA	COMPACTA	1.75 - 2.40	1.15 - 1.45				0.25	34 17	7.0	34 23	30 - 50
	MEDIANAMENTE COMPACTA	1.50 - 2.10	0.90 - 1.10				0.30	30 15	5.0	30 20	10 - 30
	POUCO COMPACTA	1.30 - 2.00	0.80 - 1.00	0.50			0.35	26 13	3.0	26 18	4 - 10

(1) SEGUNDO TERZAGHI, 1954

(2) A COMPACIDADE FOI RELACIONADA AO SPT CONF. O CRITÉRIO TERZAGHI-PECK

I-2-5 Dados complementares ao projeto .

Para obras em regiões desconhecidas ou empreendimentos de grande vulto, um levantamento mais profundo da região faz-se necessário, para podermos caracterizá-la da melhor forma possível . Com este intuito foram elaborados uma série de roteiros a serem seguidos. Tomamos a liberdade de inscrever no nosso trabalho, um roteiro proposto pela TRANSCON, que achamos, será de grande utilidade na maioria das obras.

I-2-5-1 Dados que influirão na solução estrutural e no custo da obra.

a) Acesso Terrestre ao local

- a-1) Cortes e aterros concluídos?
- a-2) Caminho ao longo da obra? Existente ou possível?
- a-3) Acesso aos 2 extremos? às duas margens?
- a-4) Tipo de estrada (no pior trecho) indicando pavimento e sua capacidade de carga; gabarito das obras de arte; largura, raio mínimo e rampa máxima .
- a-5) Veículo máximo que pode trafegar (carreta e/ou caminhão indicando o número de eixos).
- a-6) Melhorias possíveis ou indispensáveis .
- a-7) Condições da estrada sob chuvas .

b) Acesso por água .

- b-1) Tipo, tamanho e capacidade de carga das embarcações .
- b-2) Trechos navegáveis contínuos e/ou intermitentes (conforme chuvas ou época do ano indicando as épocas.)

- c) Outras obras sobre o mesmo Rio ou na Região.
 - c-1) Tipo estrutural
 - c-2) Seção de vazão máxima
 - c-3) Fatos notáveis ocorridos durante as cheias.

- d) Materiais de construção.
 - d-1) Materiais existentes no local ou de fácil abastecimento.
 - d-2) Seixo rolado de rio ou barranco, ou jazida?
 - d-3) Areia de rio, ou barranco, ou jazida.
 - d-4) Pedreira existente no local ou em localidade próxima.
 - d-5) Madeira roliça: qualidade, comprimento, diâmetro.
 - d-6) Madeira esquadrejada: pinho, lei e outras.
 - d-7) Água potável. Regularidade de vazão e locais de abastecimento .

I-2-5-2 Visita ao local

- a) Meios de Transporte de Pessoal
 - a-1) Roteiro para acesso ao local do pessoal de supervisão e operários.
 - a-2) Cidade mais próxima servida por linha aérea regular (horário e tarifas)
 - a-3) Campo de aviação mais próximo, autorizado para operação de táxi-aéreo .
 - a-4) Linhas regulares de ônibus, com suas interligações aos grandes centros .
 - a-5) Estação de estrada de ferro mais próxima, porto fluvial e/ou marítimo, com horários, tarifas e interligações .

b) Meios de Transportes para Materiais

- b-1)** Meios de transporte que podem ser usados. Condições transitórias e/ou permanentes dos meios de transportes da região e local .
- b-2)** Capacidade e gabaritos de carga .
- b-3)** Firms transportadoras que tenham agentes em localidade próxima. Tarifas até os grandes centros para pequenas cargas e/ou lotações completas. Frequência dos transportes (horário).
- b-4)** Problemas de furto e avaria .

c) Meios de Comunicação .

- c-1)** Correio, Telégrafo, Telefone e Rádio (possibilidade de usar serviço particular, oficial ou instalação própria). Qualidade dos serviços. Tempo usual de demora de cada tipo de comunicação entre o local e o grande centro mais próximo .

1-2-5-3. Instalações para as obras .**a) Pessoal**

- a-1)** Casa, hotel, localidade e distância de alojamento para pessoal administrativo .
- a-2)** Casas para alugar e/ou galpões para operários .
- a-3)** Pensão para fornecimento de alimentação .
- a-4)** Colégios (primário e secundário). Distância da obra .
- a-5)** Armazéns, armarinhos, padaria, acougue, etc .
- a-6)** Local para acampamento .
- a-7)** Diversões - Esportes - Igrejas .

a-8) Polícia - Exército - Marinha - Aeronáutica.

b) Infra-estrutura de Suporte .

- b-1) Energia elétrica (disponibilidade ou possibilidade de obtê-la em alta ou baixa tensão) . Indicar KV, KW, H₂ , distância, regularidade e tarifas .
- b-2) Condições de salubridade da região. Doenças endêmicas. Prevenção - Vacinação .
- b-3) Condições de assistência médico-farmacêutica. Hospital - Maternidade - Centros de Saúde - Farmácia Dentista .
- b-4) Combustíveis : Localidade próxima com estoques de combustíveis e óleos lubrificantes. Capacidade dos depósitos. Distribuidores e Preços .
- b-5) Oficinas mecânicas de serviços automotor e peças. Qualidade dos serviços e recursos disponíveis.
- b-6) Oficinas hidráulicas e eletricidade - ídem.
- b-7) Depósitos de materiais usuais de construção (hidráulico, elétrico, tintas, ferramentas comuns, madeira, cimento, pregos e etc.)
- b-8) Fornecedor de seixo e areia : capacidade de produção comprovada e ensaio de qualidade.
- b-9) Pedreira : capacidade de produção com ou sem prejuízo de outros fornecimentos normais. Preços. Garantia de fornecimento. Ensaio de qualidade. Granulometria usual. Tipos de Obras de porte em que foram empregados a pedra e areia disponíveis. Meios de transporte usuais .
- b-10) Cimento - Marca usualmente consumida na região , possibilidades de entregas. Ensaio. Preços.
- b-11) Veículos (venda e aluguel): recursos, preços e disponibilidade .
- b-12) Bancos : Agências, meios de comunicação com a Ma-

triz, atendimento e recursos (caixa e troco).

1-2-5-4 Diversos

a) Impostos estaduais, municipais. Licença para operar na região .

b) Mão de obra local

b-1) Qualidade e quantidade. Permanentes ou transitórios (safra, colheita, etc.)

b-2) Disponibilidade e Experiência

b-3) Indole (visando disciplina)

b-4) Aceitação de pessoal de fora (estrangeiro, negro, Índio, mestiço, brasileiro de outra região).

c) Fiscalização .

c-1) Recursos e qualidade de pessoal. Compreensivas? Agressivas? Atrapalha? Ajuda?

c-2) Pagamentos (local, normalidade, atrasos, recursos orçamentários ou não). Se em dinheiro ou títulos.

c-3) Para representar firma: obrigatoriamente um engenheiro? Na obra? Permanente? Necessário uma procuração (junto à fiscalização, Bancos, etc.)?

c-4) Escritórios ou Comprador necessário na localidade de recursos mais próxima à obra? Ou só no canteiro ?

d) Obras em Divisas com Países Estrangeiros .

d-1) Legislação social trabalhista.

d-2) Legislação fiscal.

d-3) Convênio regulador da obra .

d-4) Demais dados como Itens anteriores.

I-3 DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DE UMA PONTE

Denomina-se ponte a obra destinada a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, tais, como por exemplo, rios, braços de mar, vales profundos, outras vias, etc. Quando a ponte tem por objetivo a transposição de vales, outras vias ou obstáculos em geral não constituídos por água é comumente, denominada viaduto.

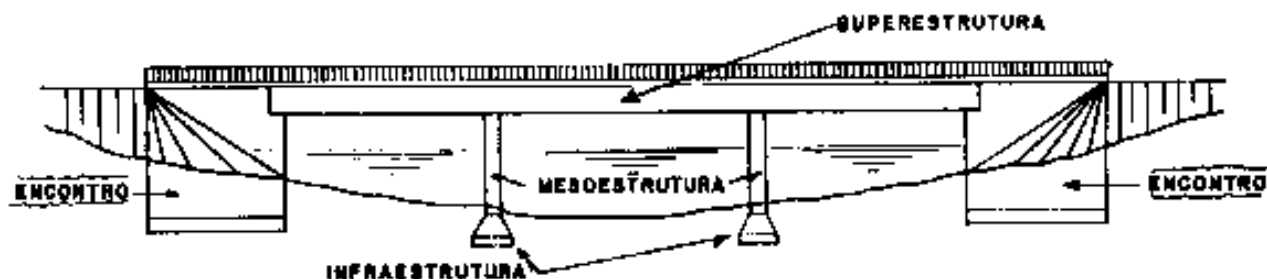
É tradição denominarem-se pontilhões as pontes de pequenos vãos, havendo entretando, grande divergência entre os vãos limites dos pontilhões, fixando-os alguns engenheiros em cinco metros e outros em dez metros e, mesmo, em muito mais. Não há, entretanto, qualquer importância na distinção entre pontes e pontilhões, pois ambos se subordinam aos mesmos procedimentos de projeto e de construção.

As pontes, em sua maioria, sob o ponto de vista funcional, podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

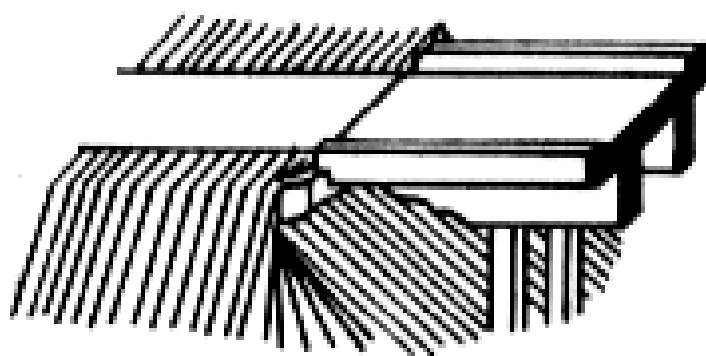
A infraestrutura, ou fundação, é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura. Constituem a infraestrutura os blocos, as sapatas, as estacas, os tubulões, etc., assim como as peças de ligação de seus diversos elementos entre si e destes com a mesoestrutura, como, por exemplo, blocos de cabeça de estacas e vigas de enrijecimento desses blocos.

A mesoestrutura, constituída pelos pilares, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura em conjunto com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes da ponte, tais como, por exemplo, pressões do vento e da água em movimento.

A superestrutura composta, geralmente, de lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato do estrado que constitui a parte útil da obra, sob o ponto de vista de sua finalidade .



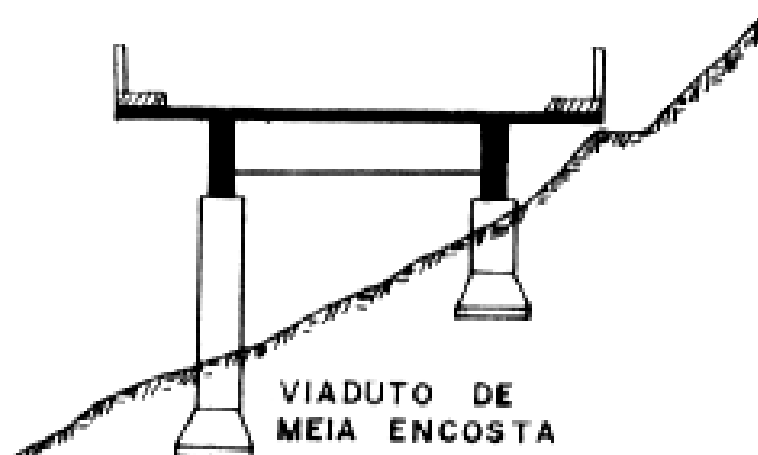
Os encontros, considerados por alguns engenheiros como constituintes da mesoestrutura e por outros como fazendo parte da infraestrutura, são elementos de características extremamente variáveis, cuja função principal é receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos da ponte. Os encontros, apesar de imprescindíveis em algumas pontes, não são sempre indispensáveis; em viadutos podem ser dispensados, o mesmo acontecendo em pontes cujos aterros de acesso não apresentem perigo de erosão pelo curso d'água. Nesses casos o estrado apresenta extremos em balanço e, geralmente, os pilares extremos ficam sujeitos a empuxo dos aterros de acesso.



A transposição de um rio situado em um vale muito aberto requer, às vezes, além da construção da ponte, a construção de obras de acesso, que podem ser constituídas por aterros ou por viadutos, que, nesses casos, denominam-se viadutos de acesso.



Nas estradas construídas em encostas de grande inclinação transversal, devido ao volume requerido pelo aterro e a dificuldade de manutenção de sua estabilidade, é comum recorrer-se, por imposições de economia e segurança a construção de muros de arrimo ou de viadutos, que, nesses casos, são chamados viadutos a meia encosta; conforme a seção transversal da estrada seja totalmente em aterro, ou mista, o viaduto apresentará, ou não, estrado completo em largura.



I-4 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE UMA PONTE

De posse das informações obtidas, teremos condições de dar o próximo passo na confecção do projeto, que será a determinação do comprimento da obra.

Para a fixação do comprimento da obra, levamos em conta os seguintes fatores :

1º) Seção de vazão necessária ;

2º) Projeto da estrada e, em particular, o seu perfil longitudinal junto a obra .

++++++

Tendo-se encontrado o comprimento da obra, veremos nem sempre ser possível vencer o seu valor com um único vão. Há então, que definir o número de vãos necessários a obra e o seu sistema estrutural. Para esta definição procura-se uma solução raciocinando - se em termos de custos econômicos. A seguinte premissa pode ser adotada : "O vão ótimo é aquele para o qual há uma igualdade entre custos de infraestrutura e custos da superestrutura." Este vão é geralmente 20m, para obras em concreto armado .

Quando há necessidade de fundações profundas a ar comprimido, procura-se aumentar os vãos, devido aos elevados custos de implantação desse tipo de fundação. Sendo assim, quanto maior a profundidade que deva ter essas fundações, maiores devem ser os vãos da obra, até se atingir o equilíbrio ideal entre o vão ótimo e os custos da superestrutura e da infraestrutura .

I-5 ESCOLHA DO SISTEMA ESTRUTURAL

A seleção do material e do tipo estrutural a ser empregado na superestrutura de uma ponte não é um problema fácil de ser resolvido. Para se chegar a uma boa solução devemos considerar todos os fatores que afetam o projeto de cada ponte .

Procuraremos dar uma idéia dos fatores determinantes dessa escolha, frisando mais uma vez que, cada caso constitui um problema à parte, devendo ser analisado de per si, juntamente com os condicionantes a ele afeitos.

- FATORES DETERMINANTES -

- (1) Comprimento do vão ;
- (2) Altura da construção disponível ;
- (3) Processo construtivo ;

- (4) Altura dos pilares ;
- (5) Natureza das fundações ;
- (6) Qualidade e custo dos materiais na região da ponte ;
- (7) Limitações impostas pelo local da ponte.

Analizaremos a seguir os SISTEMAS ESTRUTURAIS atualmente em uso, quando faremos alguns comentários a respeito dos fatores anteriormente citados.

O comprimento do vão a vencer terá influência muito grande na escolha do tipo estrutural, determinando o sistema estrutural e o tipo de material a ser empregado, se será :

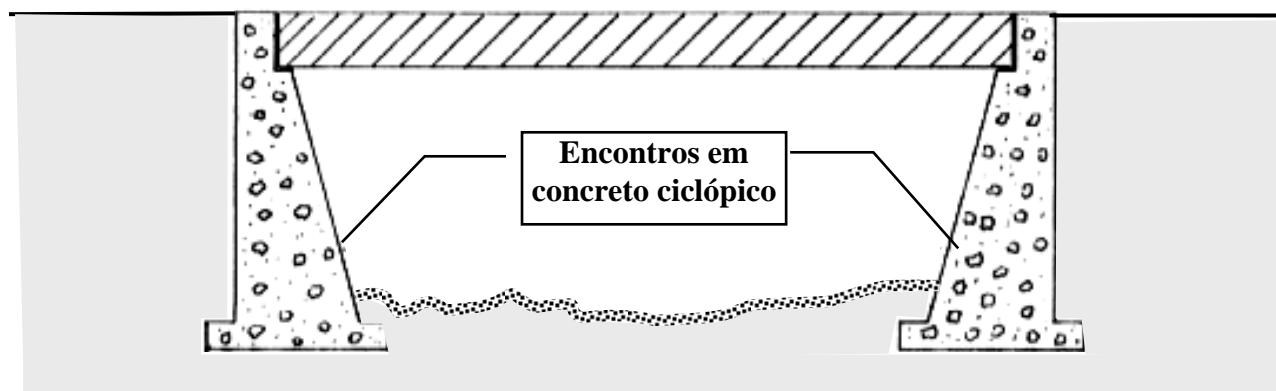
- concreto armado ;
- concreto protendido, ou ;
- estrutura metálica .

I-5-1 Sistemas estruturais

Apresentaremos alguns sistemas estruturais em uso com suas principais características .

I-5-1-1 Pontes em viga reta

a) VIGA SIMPLEMENTE APOIADA



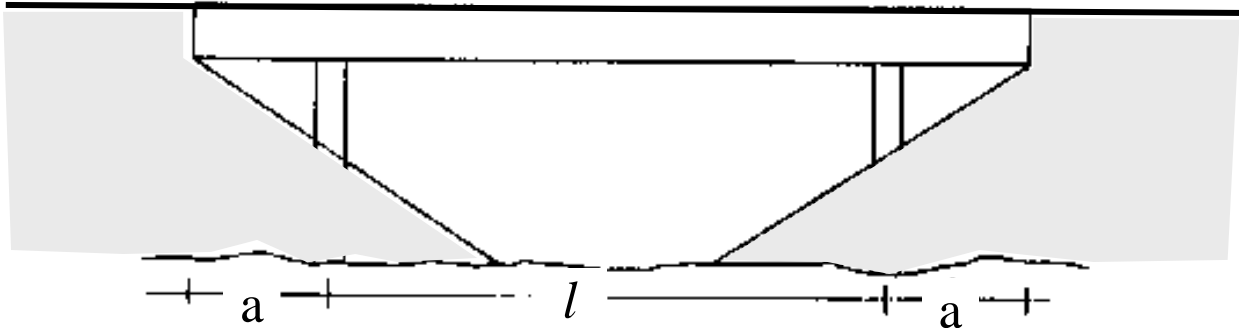
Este sistema estrutural é insensível a recalques de fundação, sendo a estrutura isostática mais simples que se conhece.

O projetista quando utiliza este sistema estrutural não tem como reduzir esforços, o único artifício possível é tentar diminuir a carga permanente .

Olhando-se o lado econômico da obra, verificamos que os encontros são mais caros que a ponte, utilizando-se quando possível para os seguintes vãos :

- pontes rodoviárias - $l \leq 25m$
- pontes ferroviárias - $l \leq 15m$

b) VIGA SIMPLEMENTE APOIADA COM OS EXTREMOS EM BALANÇO



O sistema estrutural citado no caso, é usado quando se tem um comprimento de ponte de até 50m.

As boas normas para o projeto admitem as seguintes relações de vinculação entre os comprimentos de vão (l) e de balanço (a) :

$$\frac{l}{5} < a < \frac{l}{2}$$

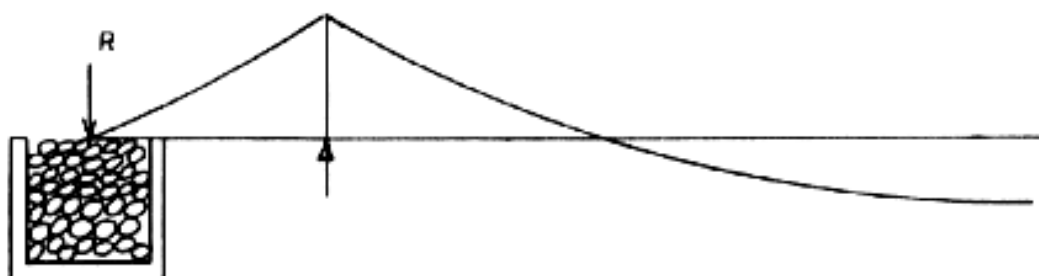
Este sistema estrutural é economicamente utilizado para os seguintes vãos :

- pontes rodoviárias - $l = 30,0\text{m}$
- pontes ferroviárias - $l = 25,0\text{m}$

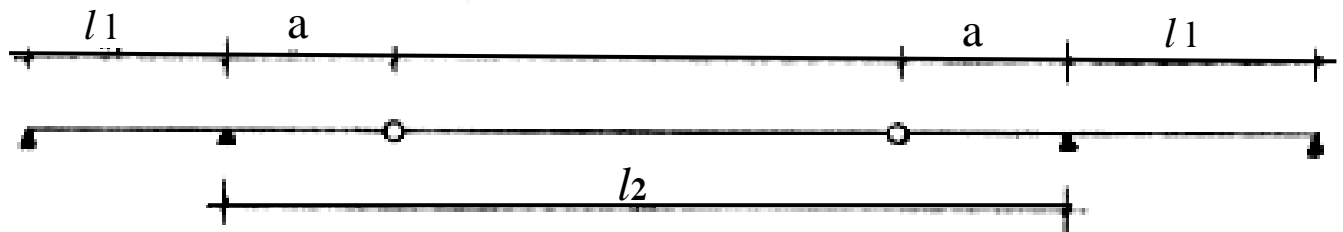
Sendo a relação $a = \frac{l}{4}$ a mais usada, pois o uso de grandes balanços é inadequado ao concreto armado tendo em vista as grandes variações de momentos que serão provocadas pela carga móvel, o que exigiria características resistentes da seção bem maiores.

Em relação a viga bi-apoiada, para a carga permanente, o balanço reduz consideravelmente o momento positivo no meio do vão, promovendo uma melhor distribuição dos esforços. Este sistema estrutural ainda admite o uso de um grande artifício para equilibrar os esforços.

Caso seja impossível por razões construtivas, aumentar o balanço, podemos usar um contra-peso em sua extremidade, introduzindo uma carga concentrada, surgindo então o que chamamos de "PONTES COMPENSADAS", reduzindo a carga permanente da ponte, bem como os seus esforços solicitantes.



c) PONTES EM VIGA GERBER



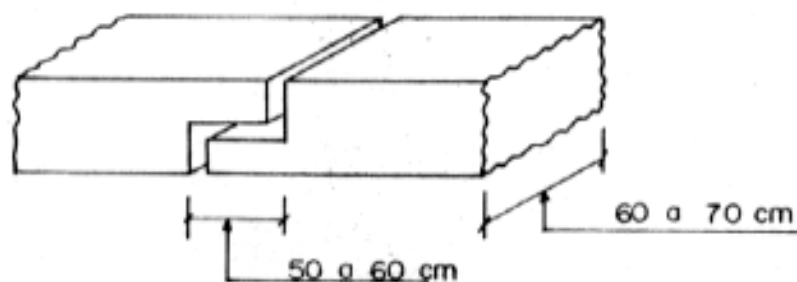
É um tipo de viga isostática. Neste sistema estrutural o diagrama de momentos pode ser alterado de acordo com a escolha da posição das articulações.

- Critérios para escolha da posição das articulações :

1º) As articulações são lançadas dentro do maior vão , diminuindo os esforços solicitantes e promovendo uma melhor distribuição dos mesmos;

2º) $a = 0,15 l_2$ a $0,20 l_2$

- dentes GERBER + são os pontos mais fracos da viga



d) VIGA CONTÍNUA

Constitui o sistema estrutural mais utilizado no BRASIL, cerca de 90% de nossas pontes são em VIGA CONTÍNUA.

Este sistema estrutural é utilizado quando se tem comprimentos de pontes superiores a 50 metros. A escolha dos vãos depende do tipo de fundação adotado e daquele equilíbrio de custos a que nos referimos anteriormente. Temos de uma maneira geral o seguinte :

1º) vãos limites.

$l_{lim} \leq 30m$, vigas com inércia constante.

$l_{lim} > 30m$, vigas com inércia variável.

2º) para fundações rasas em Sapatas ou blocos.

Vigas com inércia constante para vãos entre 15 e 20m ;

3º) para fundações profundas (tubulões até 20,0m)

Os vãos devem ser da ordem de 20 a 30m, podendo ainda serem executados com altura constante.

4º) para fundações profundas (da ordem de 40,0m)

Para obtermos condições econômicas os vãos devem variar entre 60 a 70m e, passam a exigir vigas de altura variável. Em pontes ferroviárias chegamos até um máximo de 40,0m em viga contínua com altura variável.

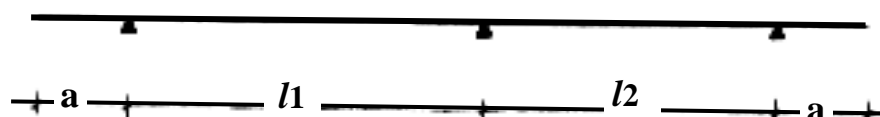
Observações

1º) Para comprimentos de pontes superiores a 100m , devemos introduzir juntas de dilatação, para atenuar os efeitos de retração do concreto e temperatura. É conveniente colocar as juntas de modo a ter-se as vigas principais simétricas.

2º) Para se obter um melhor partido arquitetônico para a obra, devemos procurar um número ímpar de vãos, o que sem dúvida dará uma melhor estética, porém, não devemos deixar que isto predomine sobre o aspecto econômico .

3º) Normalmente usam-se as seguintes relações de vãos :

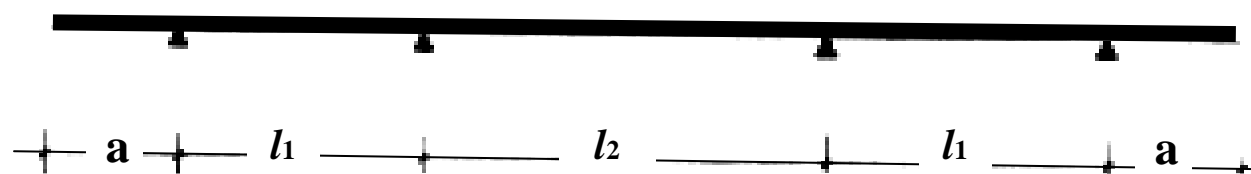
- viga contínua de dois vãos :



$$l_1 = l_2 =$$

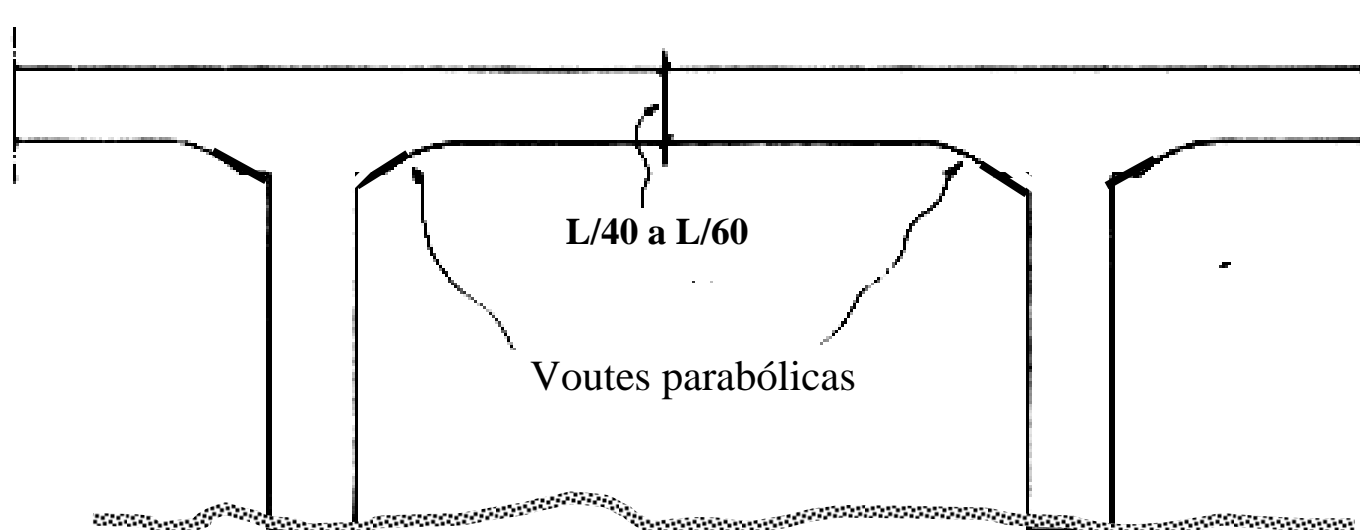
$$a = \frac{l}{4}$$

- viga contínua de tres vãos :

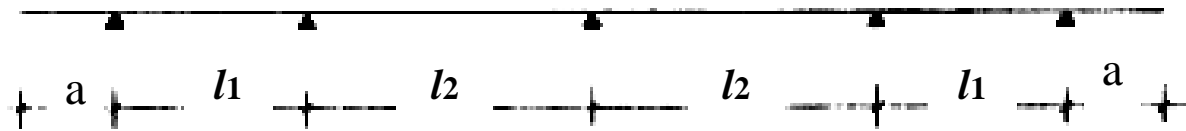


$0,6 \ell_2 < \ell_1 < 0,8 \ell_2$ + relação econômica em -
 $a = \ell_1/4$ tre vãos.

- para vãos $\ell_2 > 60\text{m}$, adotar $\ell_1 = 0,65 \ell_2$ e i -
 nêrcia variável.



- viga contínua de quatro vãos :

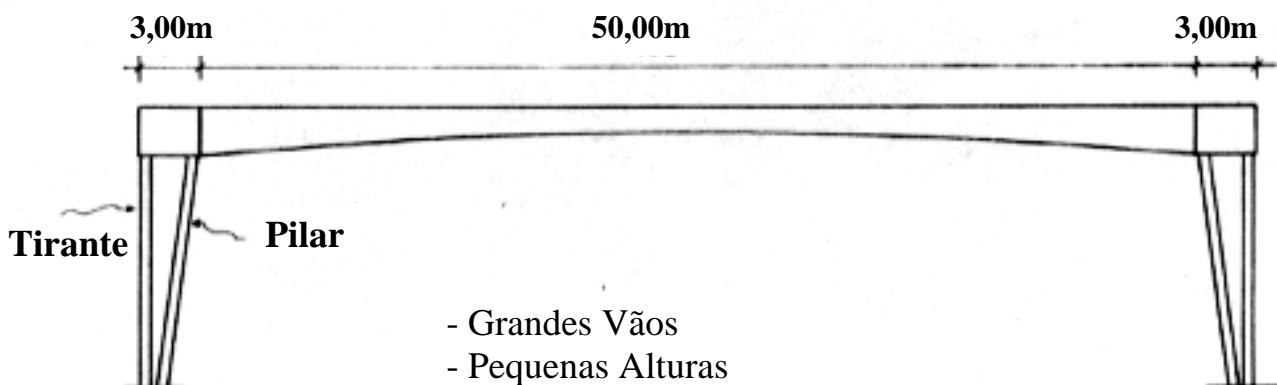


$$0,6 \ell_2 < \ell_1 < 0,80 \ell_2$$

$$a = \frac{\ell_1}{4}$$

I-5-1-2 Pontes em quadros rígidos.

Este sistema estrutural é muito empregado na Alemanha. Possibilita vencer grandes vãos, sendo seu uso quase que imposto em pilares de grandes alturas, com seção vazada. (Pilares com alturas superiores a 20,0m). Esta solução é muito pouco empregada no Brasil.



1-5-1-3 Pontes em arco.

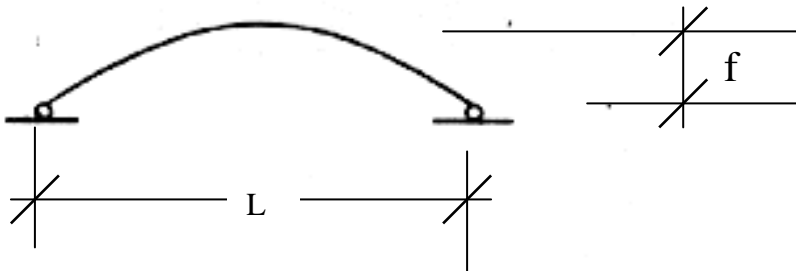
Atualmente em desuso, devido ao fato do pouco aproveitamento para carga útil em relação ao peso próprio. Eram utilizadas para vencer grandes vãos.

Faziam-se três tipos básicos.

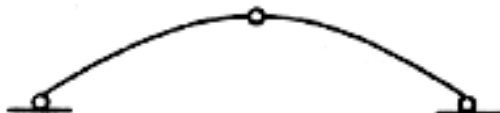
a) bi-engastado



b) bi-rotulado



c) tri-articulado



- Se $\frac{f}{l} \geq \frac{1}{5}$, não se pode usar articulação ;
- Se $\frac{f}{l} < \frac{1}{5}$, pode ser usada articulação.

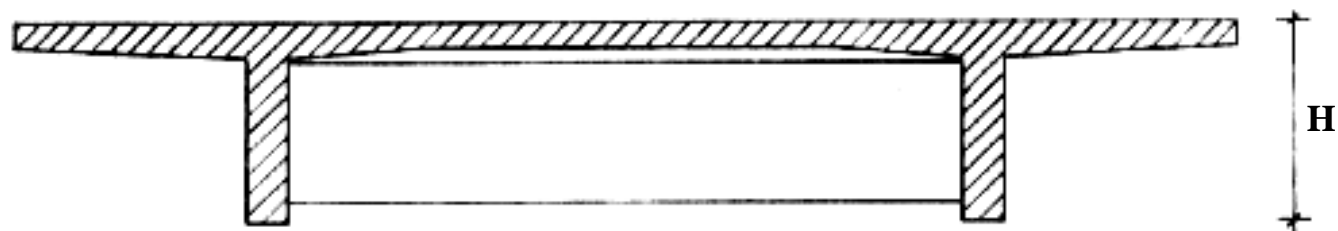
Podemos ainda citar algumas desvantagens deste sistema estrutural, quais sejam :

- empuxos elevados nas fundações ;
- cimbramento caro, talvez muito mais caro que o custo de construção da própria ponte ;
- dificuldade de construção.

I-5-2 Seções transversais mais comuns.

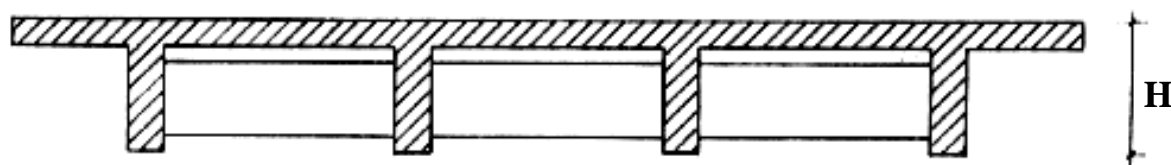
I-5-2-1 Pontes em viga reta.

a) COM DUAS VIGAS PRINCIPAIS



É usada quando não há restrição de altura da seção . Tem a sua concretagem realizada "in situ". Tomamos sempre a altura H constante e dentro dos seguintes limites :

$$\frac{l}{12} < H < \frac{l}{10}$$

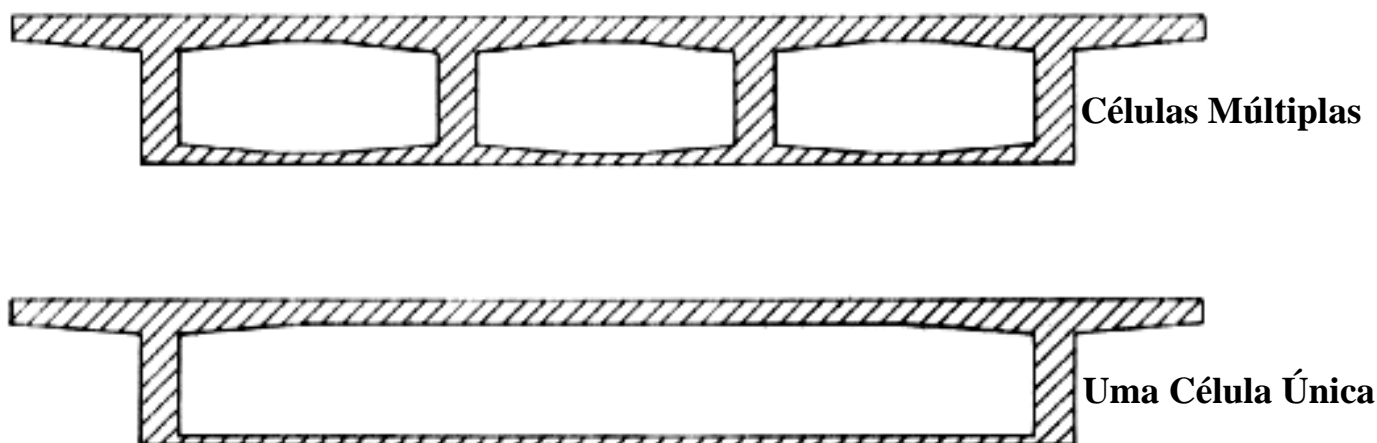
b) COM VIGAS MÚLTIPLAS

Estas seções transversais atualmente são pouco utilizadas. São as chamadas grelhas e, apresentam a altura H econômica dentro dos seguintes limites :

$$\frac{\ell}{30} < H < \frac{\ell}{20}$$

Utilizava-se estas seções quando dispomos de pequenas alturas para vigas, porém, este tabuleiro possui pequena rigidez à torção .

+

c) SEÇÕES CELULARES - (viga caixão)

São utilizadas quando se dispõe de pequenas alturas para as vigas .

$$\frac{\ell}{40} < H < \frac{\ell}{20}$$

Possuem as seguintes características gerais :

- grande rigidez à torção ;
- grande esbeltez da estrutura ;
- utilizada para vencer grandes vãos ;

- seção estética por excelência.

Devido a sua característica estética, é muito empregada dentro das cidades, tanto com alturas constantes, como com alturas variáveis.

19) Seção celular com altura constante

$$l_{\text{máx}} \leq 50,0\text{m}$$

$$\frac{l}{25} > H > \frac{l}{30}$$

20) Seção celular com altura variável

$$l_{\text{máx}} \geq 60,0\text{m}$$

$$\text{- no apoio} + \frac{l}{20} > H > \frac{l}{25}$$

$$\text{- no meio do vão} + \frac{l}{35} > H > \frac{l}{40}$$

I-5-2-2 Pontes em arco

- Seção retangular cheia.
- Seção retangular vazada.



I-5-2-3 Seções - tipos.

Conforme o órgão do governo ou firma interessada no projeto, poderemos ter seções padronizadas para as diversas partes constituintes da estrutura. Em anexo ao trabalho apresentamos as SEÇÕES-TIPO do DNER e da ENGEFER, bem como alguns detalhes referentes a postes, canalizações, esgotamento d'água, etc, que frequentemente encontramos em nossas pontes.