

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

**PONTES DE CONCRETO**  
**NOTAS DE AULA - FASCICULO 3**  
**SISTEMAS ESTRUTURAIS**

**MOUNIR KHALIL EL DEBS**

**TOSHIAKI TAKEYA**



0817781

**SÃO CARLOS, JANEIRO DE 1990**

|             |         |
|-------------|---------|
| SYSNO       | 0817781 |
| PROD        | 002527  |
| ACERVO EESC |         |

PONTES DE CONCRETO  
NOTAS DE AULA - FASCICULO 3  
SISTEMAS ESTRUTURAIS

CONTEUDO

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 1- INTRODUÇÃO .....                                  | 1  |
| 2- TIPOLOGIA DAS PONTES EM VIGA .....                | 3  |
| 2.1- VINCULAÇÕES TÍPICAS .....                       | 3  |
| 2.1.1- Vigas simplesmente apoiadas sem balanços .... | 3  |
| 2.1.2- Vigas simplesmente apoiadas com balanços .... | 5  |
| 2.1.3- Vigas contínuas .....                         | 5  |
| 2.1.4- Vigas Gerber .....                            | 6  |
| 2.2- FORMAS DA VIGA .....                            | 8  |
| 3- TIPOLOGIA DAS PONTES EM PORTICO .....             | 9  |
| 3.1- VINCULAÇÕES TÍPICAS .....                       | 9  |
| 3.2- FORMAS DO PORTICO .....                         | 12 |
| 4- TIPOLOGIA DAS PONTES EM ARCO .....                | 12 |
| 4.1- VINCULAÇÕES TÍPICAS .....                       | 12 |
| 4.2- FORMAS DO ARCO .....                            | 14 |
| 5- TIPOLOGIA DAS PONTES ESTAIADAS .....              | 15 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                   | 17 |

# PONTES DE CONCRETO

## NOTAS DE AULA - FASCICULO 3

### SISTEMAS ESTRUTURAIS

#### 1- INTRODUÇÃO

A análise do comportamento estrutural das pontes pode, de uma forma simplificada, ser subdividida em duas etapas:

- a) Análise da distribuição dos esforços na direção transversal da ponte, que depende fundamentalmente do tipo de seção transversal;
- b) Análise do efeito das cargas equivalentes, obtidas a partir da análise da distribuição dos esforços na direção transversal, no sistema estrutural principal.

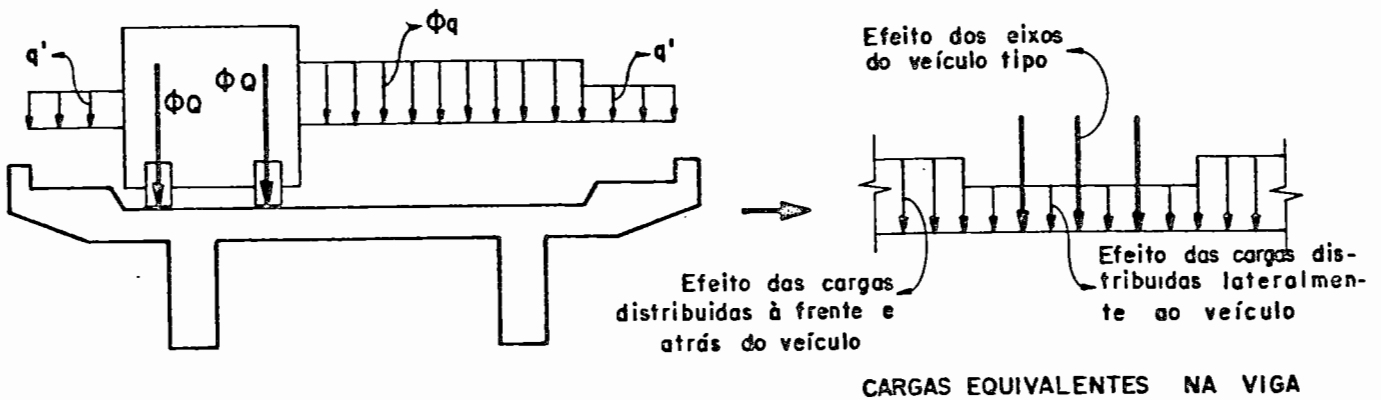


FIG. 3.1 - ILUSTRAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DOS ESFORÇOS NA DIREÇÃO TRANSVERSAL.

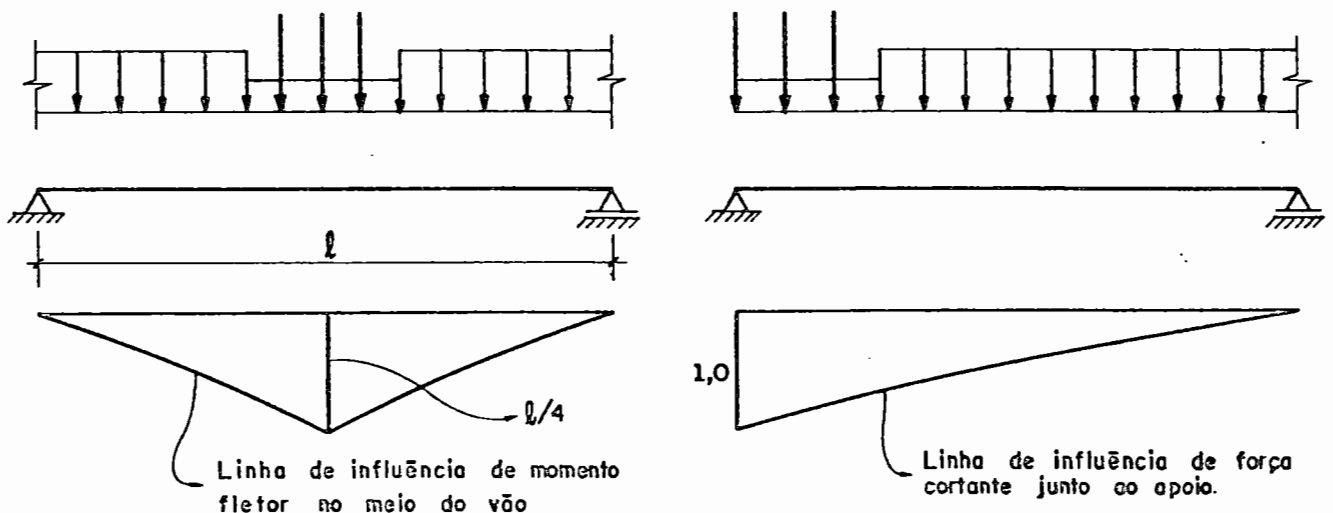


FIG. 3.2 - ILUSTRAÇÃO DO ESTUDO DO EFEITO DAS CARGAS EQUIVALENTES NO SISTEMA ESTRUTURAL PRINCIPAL

A Fig. 3.1 ilustra a obtenção da distribuição dos esforços na direção transversal, em uma ponte com duas vigas principais; as cargas equivalentes na viga, são também denominadas trem-tipo da viga;

A Fig.3.2 ilustra a colocação das cargas equivalentes no sistema estrutural principal de uma ponte de viga simplesmente apoiada, para a determinação do máximo momento fletor no meio do vão, e da máxima força cortante no apoio.

Esta análise é mais realista no caso de pontes de viga e mais aproximada no caso de pontes de laje, pois no segundo caso existe uma maior interdependência das solicitações nas duas direções.

Em face do exposto, conclui-se que é possível abordar de uma forma genérica, os sistemas estruturais separadamente das seções transversais, embora sabendo que existe uma interdependência de maior ou menor grau, entre eles.

No presente fascículo serão abordados os sistemas estruturais e no seguinte serão vistas as seções transversais.

Os sistemas estruturais empregados nas pontes de concreto são:

- pontes em viga
- pontes em pórtico
- pontes em arco
- pontes estaiadas

Chama-se a atenção para o fato de que, nesta relação não estão incluídas as pontes pênséis, que constaram da relação apresentada no Fascículo 1 - INTRODUÇÃO. Este tipo estrutural não é apropriado para as pontes de concreto, sendo por isto empregado apenas em raras ocasiões.

Tramo único



Sucessão de  
tramos



FIG. 3.3 - ESQUEMAS ESTÁTICOS DE PONTES EM VIGAS SIMPLEMENTE APOIADAS SEM BALANÇOS

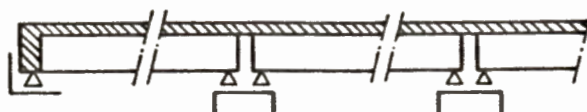


FIG. 3.4 - VIGAS SIMPLEMENTE APOIADAS COM TABULEIRO CONTÍNUO [LEONHARDT(1979)]

## 2- TIPOLOGIA DAS PONTES EM VIGA

As pontes em viga se caracterizam por apresentarem vinculações que não permitem a transmissão de momentos fletores da superestrutura para a infraestrutura.

Este tipo estrutural é o mais empregado no Brasil sendo por isto privilegiado nesta apresentação.

### 2.1 - VINCULAÇÕES TÍPICAS

#### 2.1.1- Vigas simplesmente apoiadas sem balanços

Neste caso pode-se ter um tramo único ou uma sucessão de tramos, conforme, ilustra a Fig. 3.3.

A sucessão de tramos simplesmente apoiados é adequada nas pontes em que se utiliza o processo construtivo com vigas pré-moldadas.

As vigas simplesmente apoiadas sem balanços se constituem num tipo estrutural relativamente pobre, pois imposto um determinado vão, existem poucas possibilidades de melhorar a distribuição dos esforços. Em razão disto, os vãos empregados com este tipo estrutural, dificilmente ultrapassam a casa dos 50 metros.

Embora não seja comum no Brasil, existe a possibilidade, no caso da sucessão de tramos, de se fazer a laje do tabuleiro contínua, para diminuir o número de juntas na pista, conforme ilustra a Fig. 3.4.

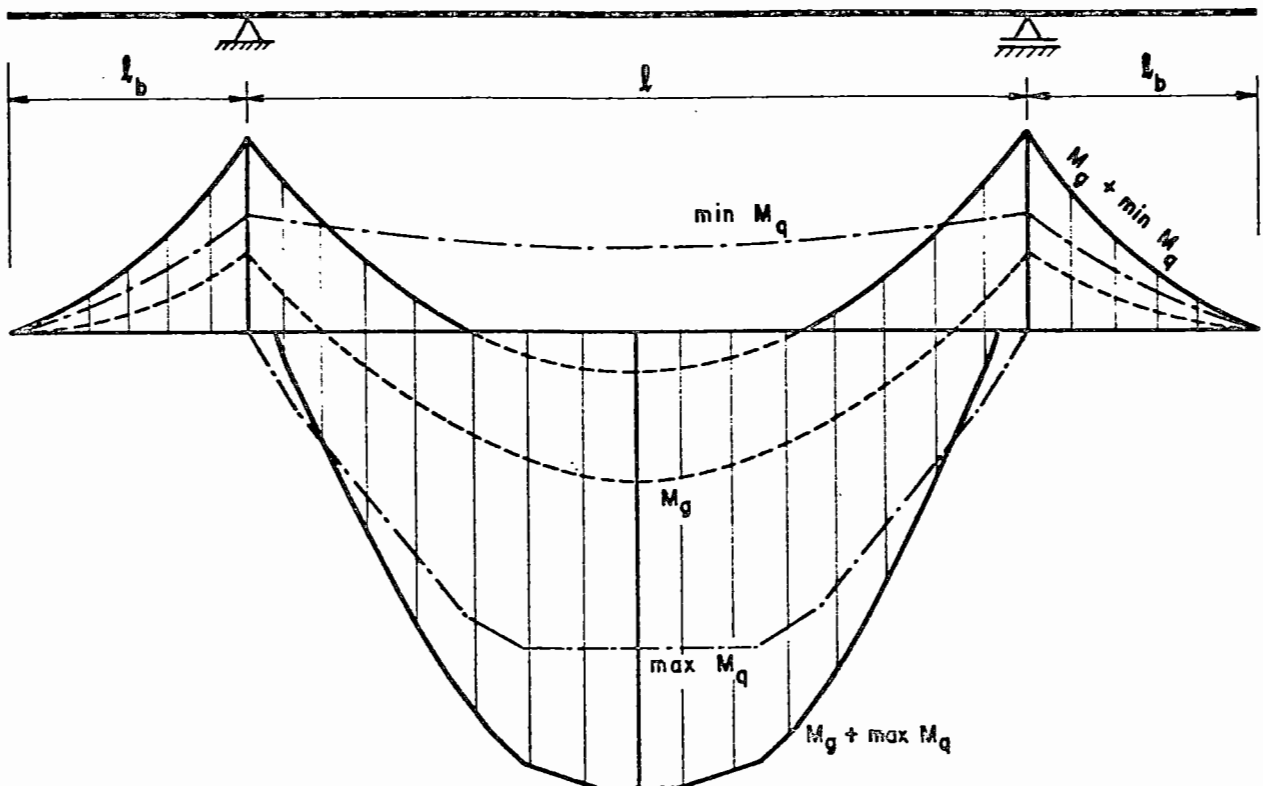


FIG. 3.5 - MOMENTOS FLETORES EM VIGAS SIMPLEMENTE APOIADAS C/ BALANÇOS

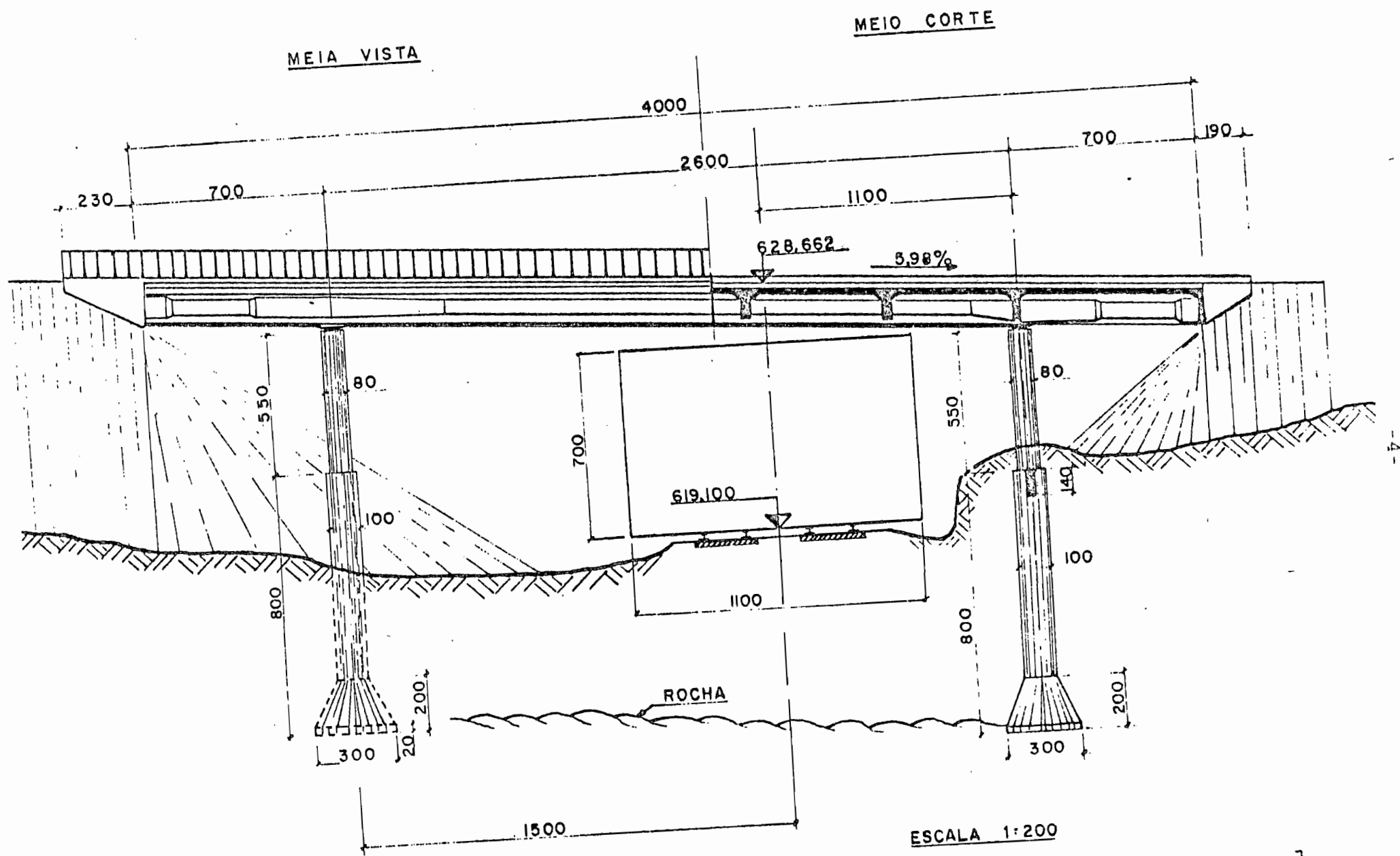


FIG. 3.6 - EXEMPLO DE PONTE EM VIGA SIMPLEMENTE APOIADA COM BALANÇOS [MARTINELLI (1971)]

### 2.1.2- Vigas simplesmente apoiadas com balanços

Este tipo estrutural possibilita uma melhor distribuição de esforços solicitantes, conforme ilustrado na Fig. 3.5, pois ao introduzir momentos negativos nos apoios haverá uma diminuição dos momentos positivos no meio do vão.

Além dessa vantagem, o tipo estrutural em questão possibilita, de uma forma simples, a eliminação do encontro, que é uma estrutura relativamente cara, conforme ilustrado na Fig. 3.6.

O comprimento do balanço deve ser fixado de forma a se ter uma boa distribuição de esforços, atendendo no entanto às condições topográficas. Como valor inicial, em fase de pré-dimensionamento, pode-se adotar para o comprimento do balanço um valor igual a cerca de 15% a 20% do comprimento da ponte.

Ao se empregar este tipo estrutural deve-se tomar as devidas precauções para que não haja fuga de material nas extremidades da ponte junto ao aterro.

Deverão ser evitados balanços muito grandes para não introduzir vibrações excessivas nas suas extremidades, e também porque irá dificultar a já comentada contenção do solo nas extremidades da ponte.

### 2.1.3- Vigas contínuas

Quando o comprimento da ponte pode ser subdividido em vãos parciais, o esquema de vigas contínuas, ilustrado na Fig. 3.7, aparece como solução natural.

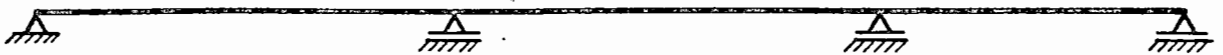


FIG. 3.7 - ESQUEMA ESTÁTICO DE PONTE EM VIGA CONTÍNUA

Quando houver liberdade e não houver inconveniência com relação à construção, deve-se fazer os vãos extremos cerca de 20% menores que os vãos internos de forma que os momentos no vão sejam aproximadamente iguais, resultando assim uma melhor distribuição das solicitações.

A distribuição de momentos fletores pode também ser melhorada através da adoção de momentos de inércia da seção variáveis ao longo dos vãos. O aumento dos momentos de inércia das seções junto aos apoios, implicará no aumento dos momentos negativos dessas seções, e na diminuição dos momentos positivos das seções do meio dos vãos, o que possi-

bilitará a redução da altura das seções no meio dos vãos; essa redução da altura das seções no meio dos vãos poderá por seu turno, facilitar o atendimento dos gabaritos relativos à transposição do obstáculo.

Outro aspecto relevante das pontes de vigas contínuas é o fato de não se ter juntas no tabuleiro. No entanto, quando o comprimento da ponte é grande, o que torna os efeitos da variação de temperatura importantes, é conveniente introduzir juntas. Em princípio, como indicação inicial, pode ser adotado espaçamento de 100 m entre as juntas, no caso de se empregar aparelhos de apoio comuns. No caso de aparelhos de apoio especiais à base de teflon, o espaçamento entre as juntas pode ser aumentado chegando até cerca de 400 m, como por exemplo é o caso da ponte Rio-Niterói.

As pontes de vigas contínuas devem ser evitadas em situações nas quais estão previstos deslocamentos de apoio significativos, pois recalques diferenciais irão introduzir esforços adicionais neste tipo de estrutura.

#### 2.1.4- Vigas Gerber

A viga Gerber, cujo esquema estático está apresentado na Fig. 3.8, pode ser entendida como derivada da viga contínua, na qual são colocadas articulações de tal forma a tornar o esquema isostático, e como consequência disto, não receberá esforços adicionais devidos aos recalques diferenciais dos apoios.



FIG. 3.8 - ESQUEMA ESTÁTICO DE PONTE EM VIGA GERBER

Se as articulações forem dispostas nos pontos de momento nulo do diagrama de momentos fletores provocados pela carga permanente, tem-se, o comportamento da viga Gerber, em relação às cargas permanentes, igual ao das vigas contínuas. Assim para pontes de grandes vãos, em que o peso próprio representa uma grande parcela da totalidade das cargas, as vigas Gerber teriam um comportamento próximo ao das vigas contínuas, sem sofrer a influência danosa dos recalques diferenciais.

As pontes de vigas Gerber, normalmente, apresentam três ou cinco tramos, com a posição das articulações mostrada na Fig. 3.8.

As vigas Gerber podem também ser entendidas como uma sucessão de tramos simplesmente apoiados com balanços e de

tramos suspensos. Vistas desta maneira, as pontes de vigas Gerber possibilitam alternativas construtivas bastante interessantes. Na Fig. 3.10 está ilustrado um esquema de viga Gerber em que os tramos laterais podem ser moldados no local, ou mesmo pré-moldados e o tramo central é pré-moldado.

Cabe destacar ainda que se de um lado as juntas (dentes Gerber) acarretam as vantagens já mencionadas, de outro lado, elas representam trechos em que devem ser tomados cuidados redobrados tanto no detalhamento da armadura como na execução.

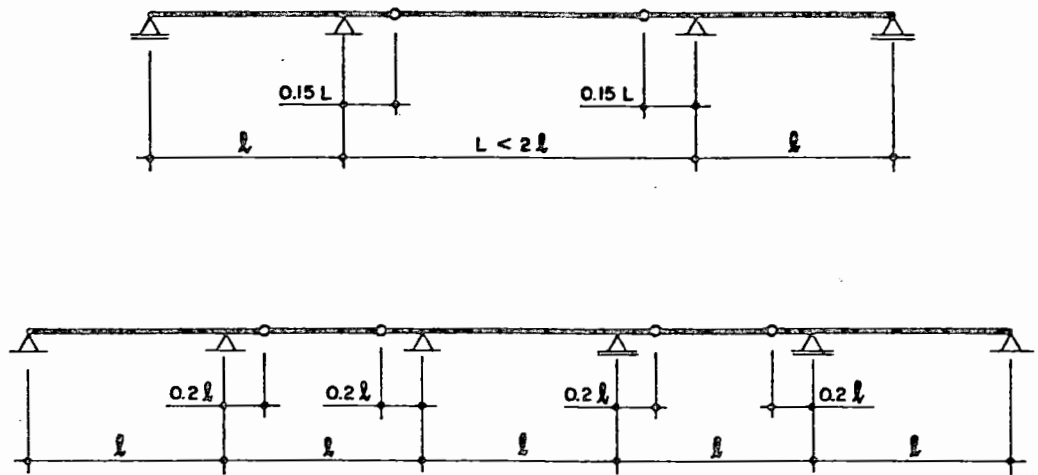


FIG. 3.9 - POSIÇÃO DAS ARTICULAÇÕES NAS PONTES DE VIGAS GERBER [MARTINELLI(1971)]

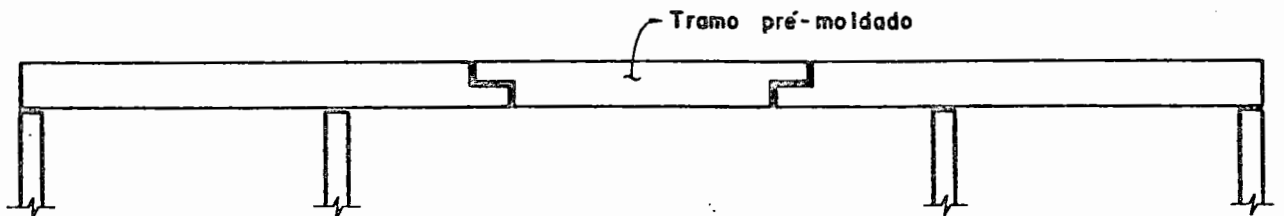


FIG. 3.10 - ILUSTRAÇÃO DE POSSIBILIDADE CONSTRUTIVA DE PONTE EM VIGAS GERBER

## 2.2- FORMAS DA VIGA

As pontes em vigas podem ser de altura constante ou de altura variável. A variação da altura das vigas ao longo do vão, quando empregada, deve ser de forma a se ajustar melhor à variação dos momentos fletores.

Para as pontes de vigas simplesmente apoiadas sem balanços, a altura é maior no meio do vão diminuindo para os apoios, conforme ilustra a Fig. 3.11.

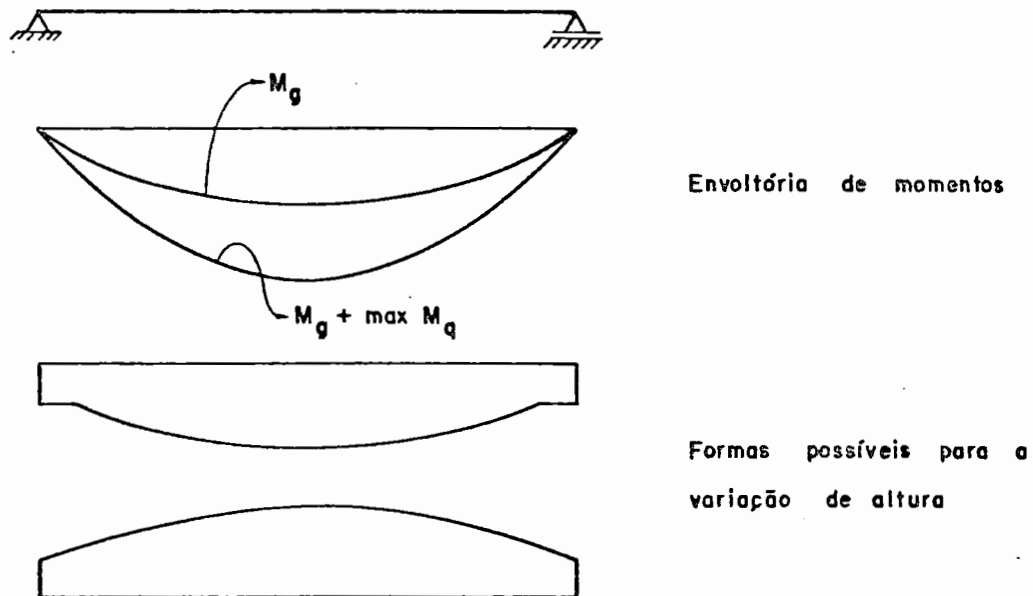


FIG. 3.11 - VARIAÇÃO DE ALTURA NAS PONTES DE VIGAS SIMPLEMENTE APOIADAS SEM BALANÇOS

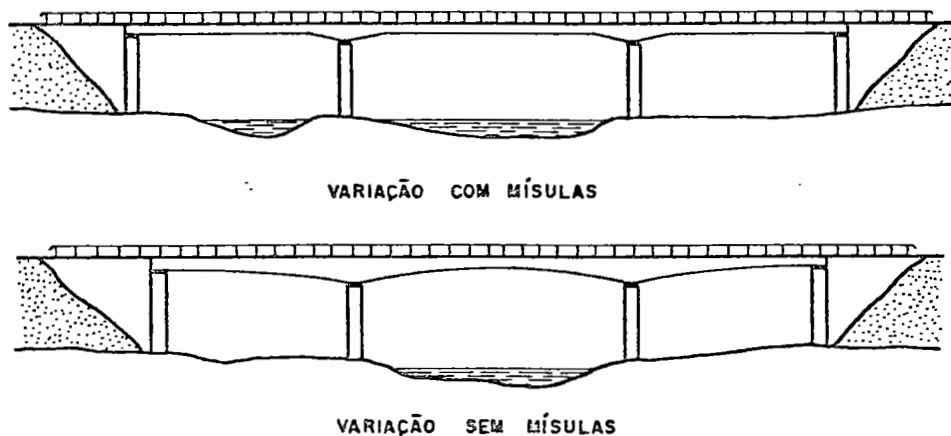


FIG. 3.12 - ALTERNATIVAS DE VARIAÇÃO DE ALTURA DAS VIGAS PARA PONTES DE VIGAS CONTÍNUAS [LEONHARDT(1979)]

Para as pontes em vigas contínuas, Gerber e simplesmente apoiadas com balanços, a altura é maior nos apoios diminuindo para o meio do vão. A Fig. 3.12 ilustra as alternativas da variação de altura para pontes em viga contínua: variação de altura com mísula, e variação da altura ao longo de todo o vão.

A variação de altura neste último caso faz com que o peso próprio do trecho central seja menor e consequentemente os momentos fletores serão também menores, o que possibilitará a adoção de altura reduzida no meio do vão. No caso de vigas contínuas este efeito irá se superpor ao fato de que a rigidez maior no apoio irá diminuir ainda mais os momentos no meio do vão, conforme já foi dito anteriormente. Salienta-se que neste tipo de variação de altura a obediência ao gabarito do obstáculo transposto pela ponte, fica facilitada conforme já foi comentado, e além disto, as pontes construídas desta forma apresentam uma estética agradável, na maioria dos casos.

Cabe destacar ainda que o emprego da variação de altura deve ser equacionado considerando que as vantagens estáticas, e às vezes estéticas, podem ser acompanhadas por desvantagens construtivas.

### 3- TIPOLOGIA DAS PONTES EM PORTICO

Quando a ligação entre a superestrutura e a infraestrutura transmitir momentos fletores tem-se as pontes em pórticos.

Neste tipo estrutural, parte da flexão da viga é transmitida para os pilares, o que possibilita a redução das solicitações na superestrutura à custa da flexão da infraestrutura, conforme ilustra a Fig. 3.13.

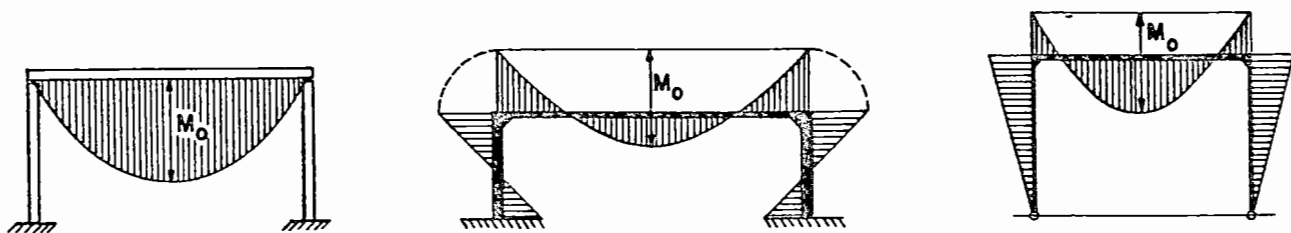


FIG.3.13 - ILUSTRAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PONTE EM PÓRICO

#### 3.1- VINCULAÇÕES TÍPICAS

No caso de pontes de pequenos vãos, os esquemas estáticos empregados são os apresentados na FIG. 3.14.

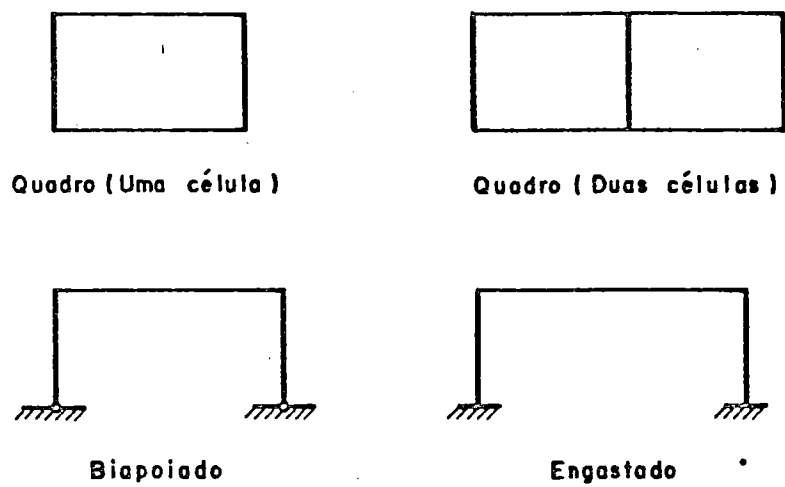


FIG. 3.14 - ESQUEMAS ESTÁTICOS DE PÓRTICOS PARA PONTES DE PEQUENOS VÃOS.

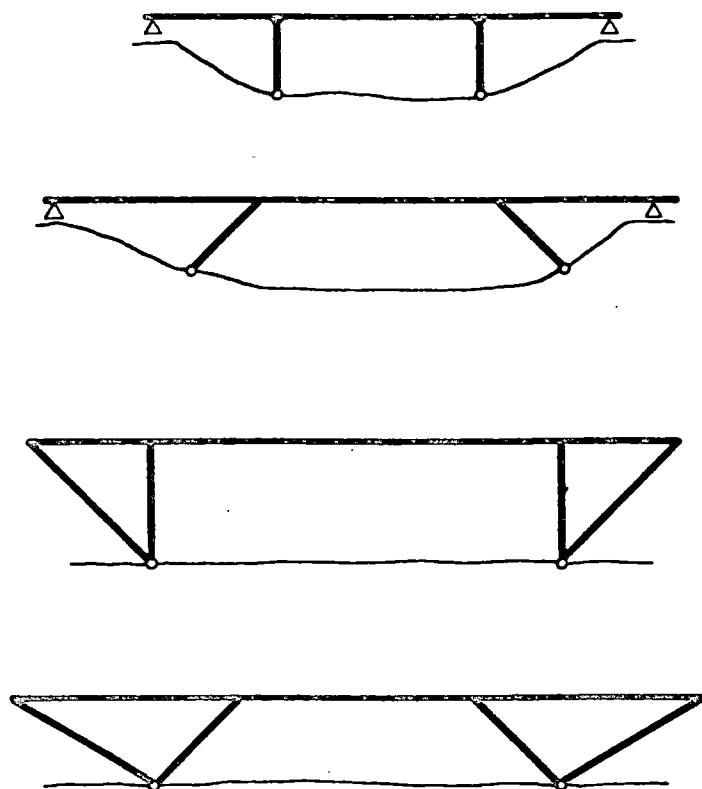
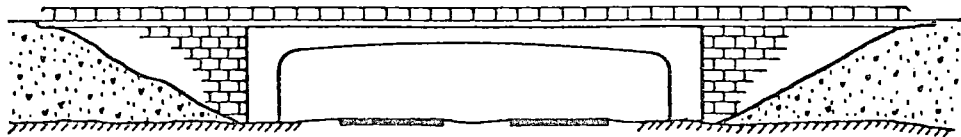
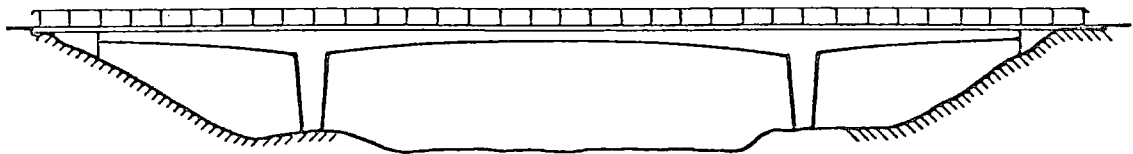


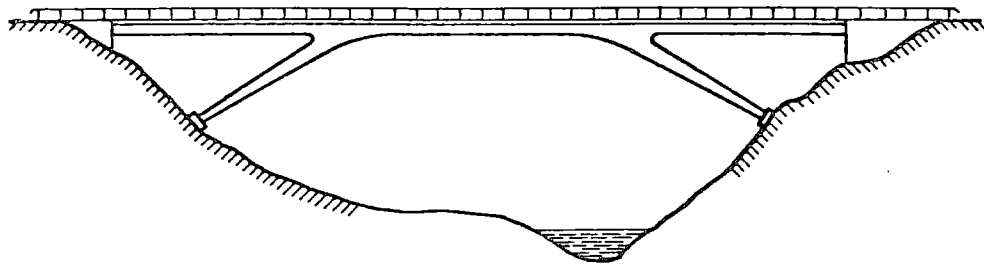
FIG. 3.15 - ESQUEMAS ESTÁTICOS DE PÓRTICOS PARA PONTES DE VÃO MAIORES



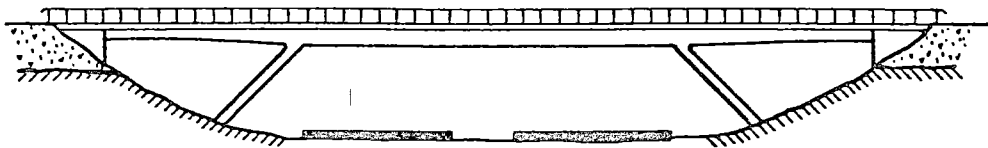
PÓRTICO DE PEQUENA ALTURA SOBRE ESTRADA DE 2 PISTAS



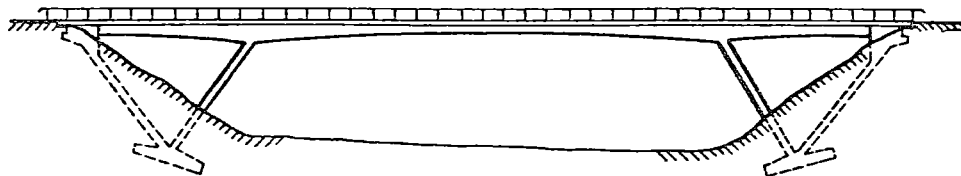
PÓRTICO COM TRAMOS ADJACENTES



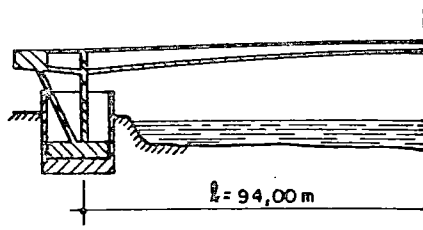
PÓRTICO ESCORADO SOBRE VALE COM ENCOSTAS ÍNGREMES



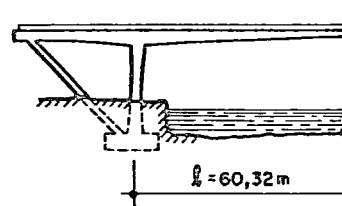
VIADUTO SOBRE RODOVIA, SOLUÇÃO TÍPICA SUIÇA, DE PREFERÊNCIA P/ CORTES



PÓRTICO COM MONTANTES CONCORRENTES



$l = 94,00 \text{ m}$



$l = 60,32 \text{ m}$

EXEMPLOS DE GRANDES PONTES EM PÓRTICO COM MONTANTES CONCORRENTES

FIG. 3.16 - EXEMPLOS DE PONTES EM PÓRTICO. [LEONHARDT(1979)]

Os pórticos fechados também chamados de quadros, podem ser empregados com uma célula, duas células, ou mais, e são utilizados para vãos bastante pequenos.

Os esquemas biapoiado e biengastado são indicados para vãos maiores que os atingidos pelos quadros.

No caso de vãos maiores, os esquemas estáticos empregados são apresentados na Fig. 3.15. Salienta-se que estes tipos estruturais são de uso pouco comum no país.

### 3.2- FORMAS DO PORTICO

A Fig. 3.16 mostra alguns exemplos das formas de pórtico, onde se destaca o emprego da variação de altura para acentuar a esbeltez da estrutura.

## 4- TIPOLOGIA DAS PONTES EM ARCO

O arco é um tipo estrutural que tem um comportamento estrutural interessante, pois apresenta a possibilidade de ter os esforços de flexão reduzidos em função da sua forma. No caso de arcos de concreto, essa possibilidade de redução da flexão resultando na predominância da compressão, é adequada ao material.

Atualmente o emprego das pontes em arco tem sido bem menor que no passado, principalmente devido ao avanço da tecnologia do concreto protendido, que ampliou os vãos franqueados às pontes em viga, e que até então eram exclusivos dos arcos.

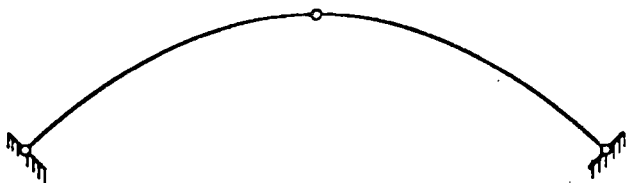
Via de regra, os arcos são indicados para vales profundos, com tabuleiro superior, quando se pode resistir aos empuxos do arco com uma fundação não muito onerosa (solo de boa qualidade ou rocha); em terrenos planos a ponte em arco normalmente tem o tabuleiro inferior, o qual funciona como tirante para aliviar os empuxos do arco.

Em contrapartida ao bom comportamento estrutural do arco, tem-se o alto custo da construção de fôrmas e do cimbramento.

Destaca-se ainda que no caso de pontes em arco com tabuleiro superior, em que a largura do arco é igual à largura do tabuleiro, o arco recebe a denominação de abóbada.

### 4.1- VINCULAÇÕES TÍPICAS

A Fig. 3.17 mostra os esquemas estáticos empregados nas construções de pontes em arco.



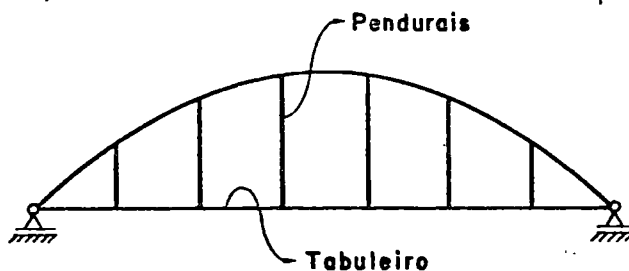
Arco Triarticulado  
Isostático



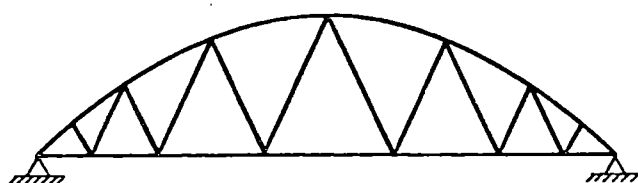
Arco Biarticulado



Arco Biengastado



Arco atirantado com pendurais  
verticais (tabuleiro desempenha a  
função de tirante)



Arco atirantado com pendurais inclinados  
(o efeito da treliça reduz os momentos  
fletores no arco)



Arcos contínuos  
(arcadas)

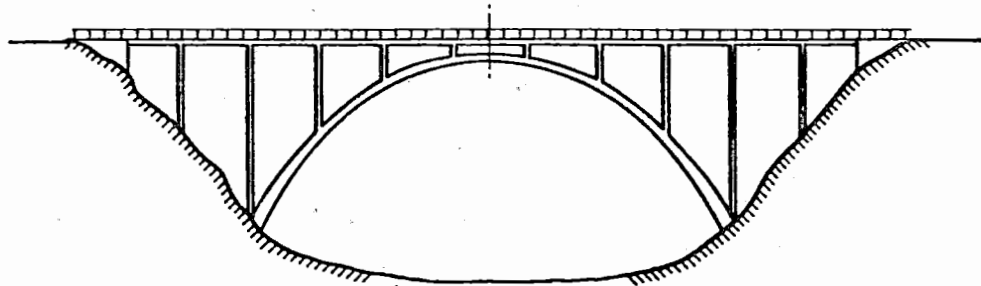
FIG. 3.17 - ESQUEMAS ESTÁTICOS DE PONTES EM ARCO [LEONHARDT(1979)]

#### 4.2- FORMAS DO ARCO

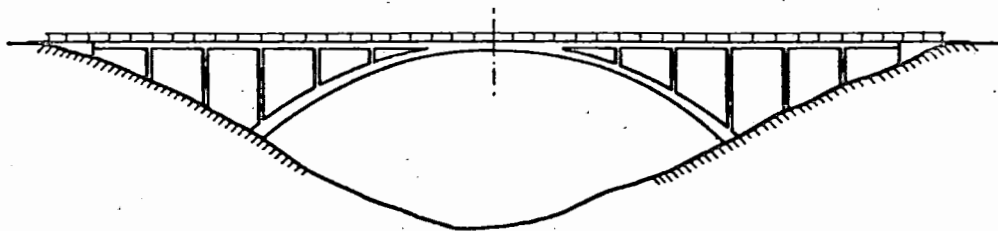
As FIG. 3.18-a e b mostram alguns exemplos de formas do arco.

A variação da seção transversal, quando utilizada, é de forma que a espessura do arco diminui junto às articulações.

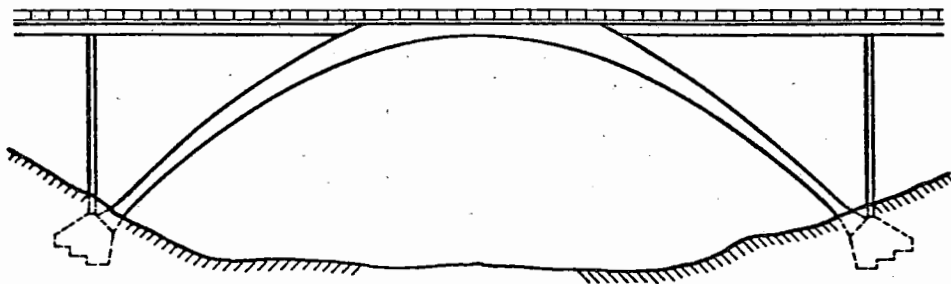
Cabe destacar, que via de regra, a estética das pontes em arco é muito boa.



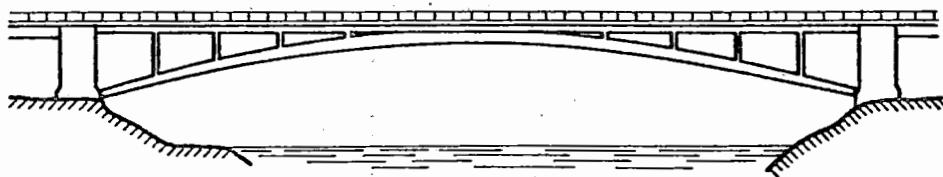
PONTE EM ARCO ELEVADO COM TABULEIRO SUPERIOR



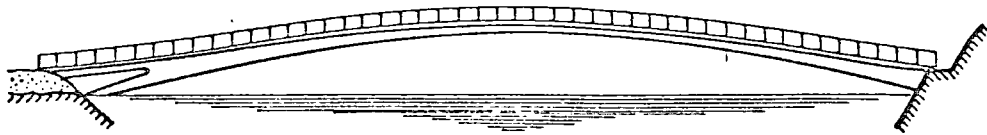
PONTE EM ARCO ABATIDO; NO FECHO, O ARCO SE FUNDE COM O TABULEIRO



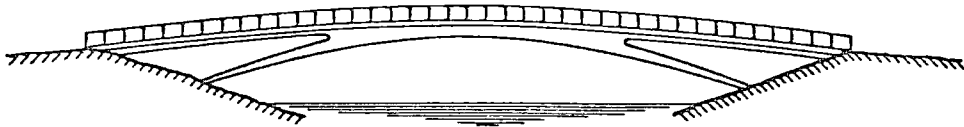
O TABULEIRO NÃO TEM APOIO DESDE AS IMPOSTAS ATÉ QUASE O FECHO



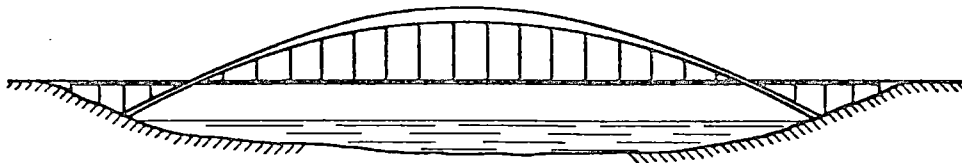
PONTE EM ARCO BIARTICULADO ABATIDO.



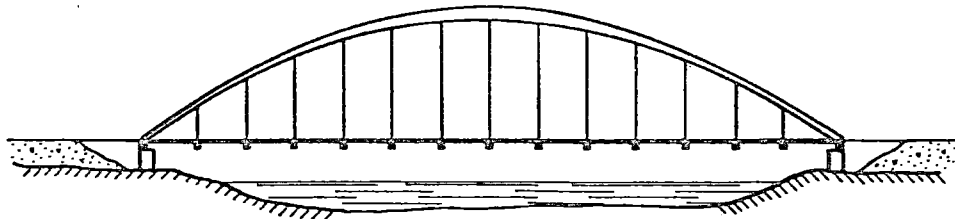
PONTE PARA PEDESTRES, VÃO  $\approx 38$  m



PONTE PARA PEDESTRES



PONTE EM ARCO PARA GRANDES VÃOS (80 a 200 m) COM TABULEIRO INTERMEDIÁRIO



PONTE EM ARCO COM TABULEIRO INFERIOR FUNCIONANDO COMO TIRANTE

FIG. 3.18b - EXEMPLOS DE PONTES EM ARCO. [LEONHARDT (1979)]

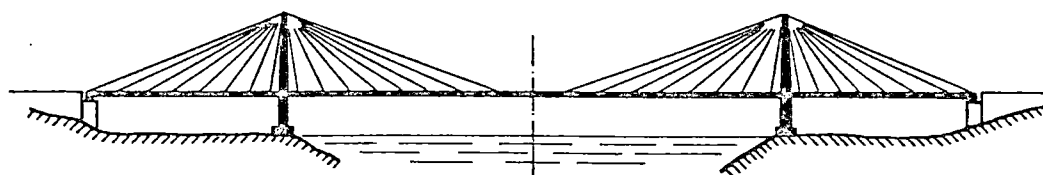
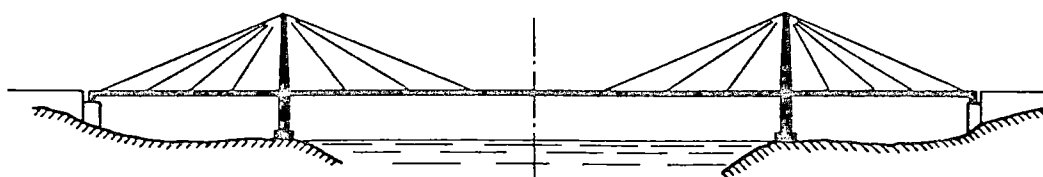
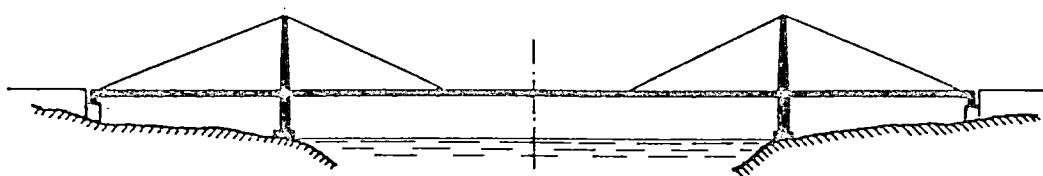
## 5- TIPOLOGIA DAS PONTES ESTAIADAS

Nas pontes estaiadas de concreto, normalmente, apenas o tabuleiro é de concreto; pontes com tirantes de concreto são de uso muito restrito.

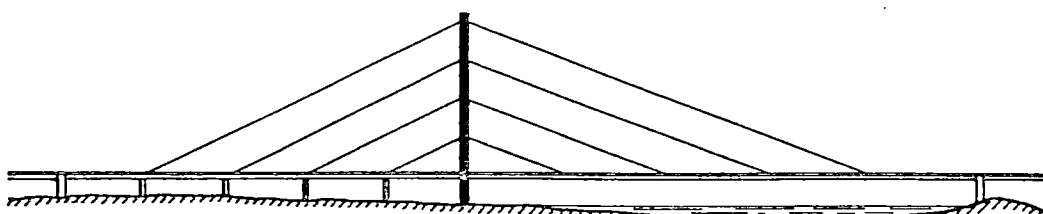
Este esquema estrutural, que pode ser considerado igual ao de uma viga atirantada em vários pontos, é empregado para vãos muito grandes. Embora não tenha sido empregado no país até o presente momento, trata-se de um tipo estrutural que tem se tornado cada vez mais frequente no exterior.

Este tipo estrutural pode apresentar grandes variações; algumas delas são mostradas na Fig. 3.19.

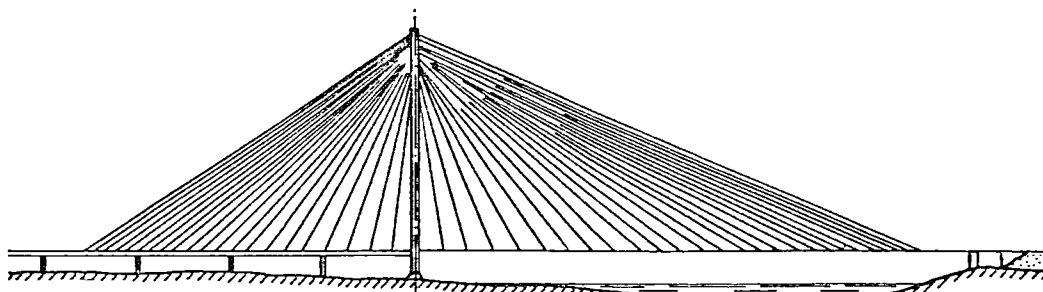
A Fig. 3.20 mostra algumas possibilidades de torres para as pontes estaiadas.



PONTES ESTAIADAS COM CABOS DISPOSTOS EM LEQUE



PONTE ESTAIADA COM OS CABOS DISPOSTOS EM FORMA DE HARPA



O ARRANJO DOS CABOS EM UMA FORMA INTERMEDIÁRIA ENTRE A DISPOSIÇÃO EM LEQUE E A EM HARPA

FIG. 3.19 - EXEMPLOS DE PONTES ESTAIADAS [LEONHARDT (1979)]

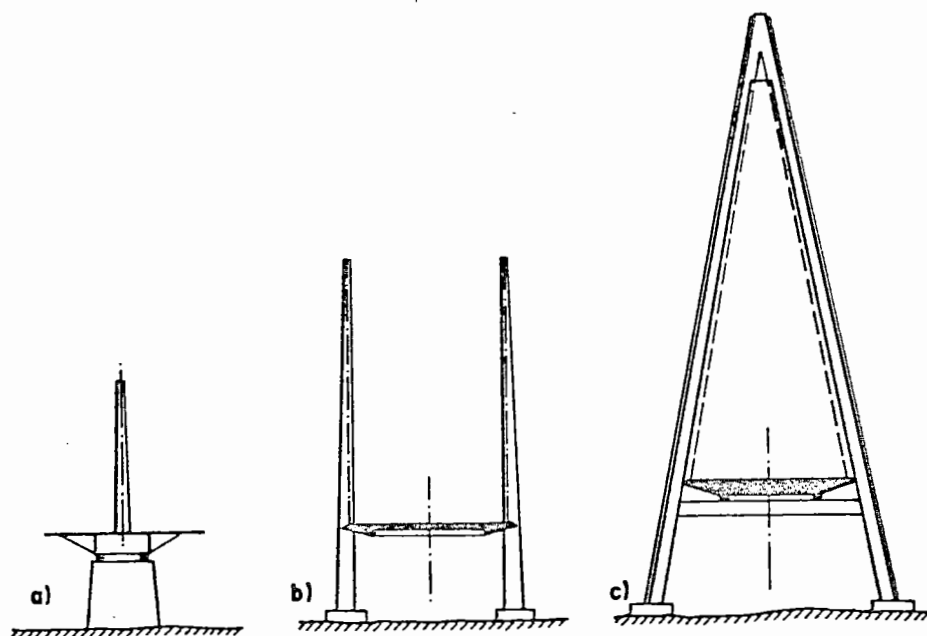


FIG. 3.20 - ALTERNATIVAS DE TORRES PARA PONTES  
ESTAIAADAS [LEONHARDT (1979)]

## 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.

WITTFOHT, H. Puentes: ejemplos internacionales. Barcelona, Editorial Gustavo Gilli, 1975.