

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

PONTES DE CONCRETO
NOTAS DE AULA - FASCICULO 1
INTRODUÇÃO

MOUNIR KHALIL EL DEBS

TOSHIAKI TAKEYA

0817781



SÃO CARLOS, JANEIRO DE 1990

SYSNO	0817781
PROD	002525
ACERVO EESC	

PONTES DE CONCRETO
NOTAS DE AULA - FASCICULO 1
INTRODUÇÃO

CONTEUDO

1- DEFINIÇÕES	1
2- ACENO HISTORICO	3
3- CARACTERISTICAS PARTICULARES	4
4- NOMENCLATURA	5
5- CLASSIFICAÇÃO	8
5.1- Material da superestrutura	9
5.2- Comprimento	9
5.3- Natureza do trafego	9
5.4- Desenvolvimento planimétrico	10
5.5- Desenvolvimento altimétrico	10
5.6- Sistema estrutural da superestrutura	10
5.7- Seção transversal	13
5.8- Posição do tabuleiro	14
5.8- Processo de execução	15
6- CONSIDERAÇÕES ECONOMICAS PRELIMINARES	17
BIBLIOGRAFIA	18

PONTES DE CONCRETO

NOTAS DE AULA - FASCICULO 1

INTRODUÇÃO

1- DEFINIÇÕES

Ponte é uma construção destinada a estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza. Nos casos mais comuns, e que serão tratados na disciplina, a via é uma rodovia, ou uma ferrovia ou passagem para pedestres.

O obstáculo a ser transposto pode ser de natureza diversa, e em função dessa natureza são associadas as seguintes denominações:

Ponte (propriamente dita) - quando o obstáculo é constituído de curso de água ou outra superfície líquida como por exemplo lago ou braço de mar (Fig. 1.1);

Viaduto - quando o obstáculo é um vale ou uma via (Fig. 1.2)

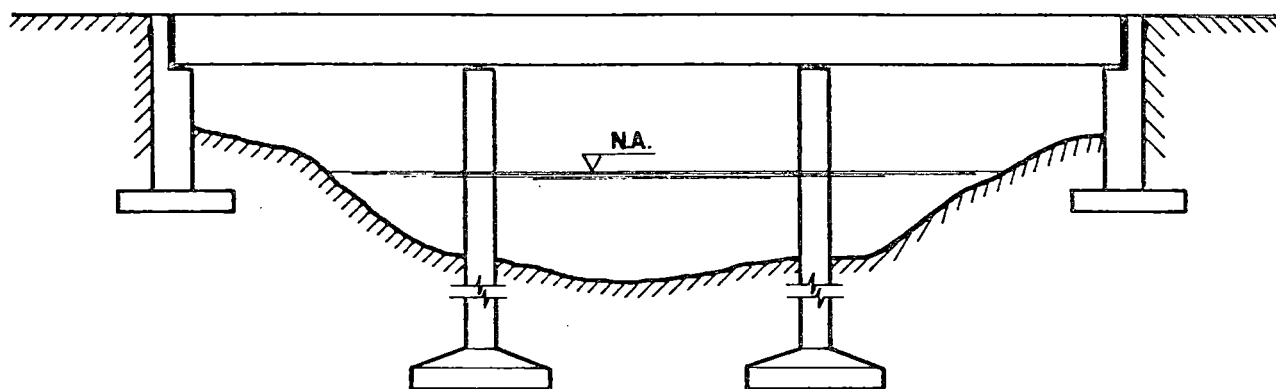


FIG. 1.1 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE PONTE

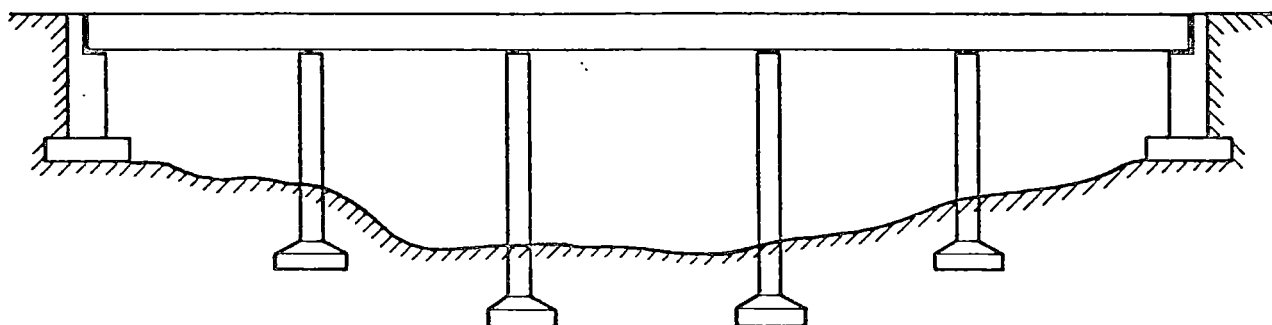


FIG. 1.2 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE VIADUTO

Os viadutos podem receber, em função de suas particularidades, as seguintes denominações:

Viaduto de acesso - viaduto que serve para dar acesso a uma ponte (Fig. 1.3);

Viaduto de meia encosta - viaduto empregado em encostas com o objetivo de minimizar a movimentação de solo em encostas íngremes (Fig. 1.4).

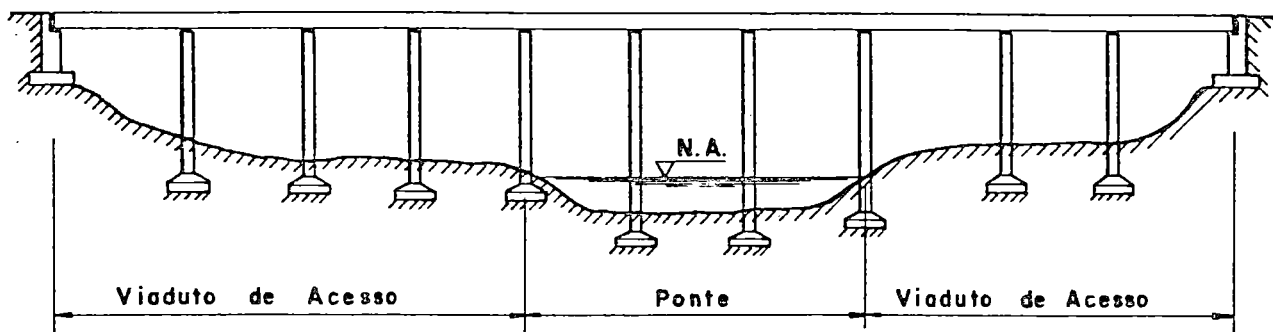
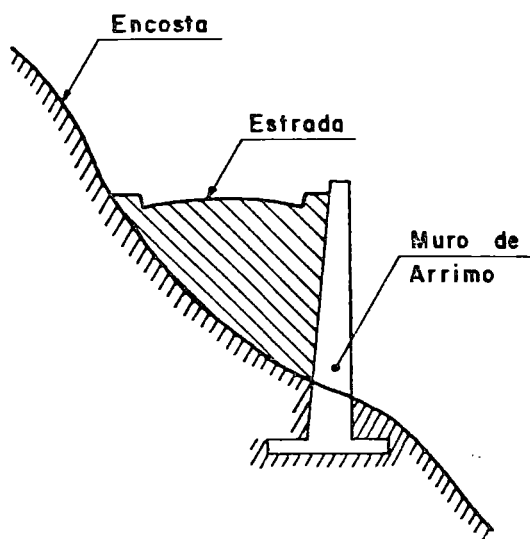
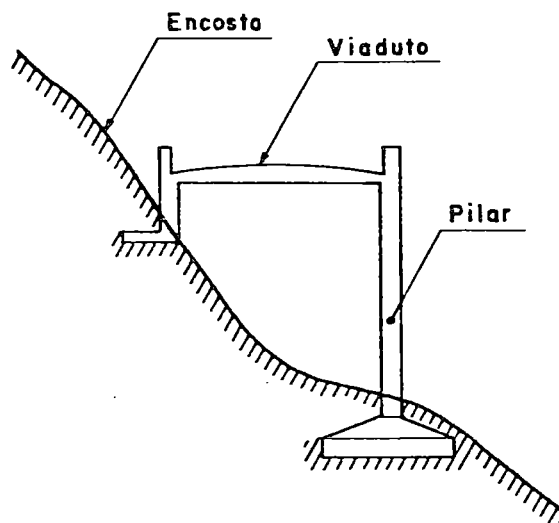


FIG. 1.3 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE VIADUTO DE ACESSO



Alternativa em aterro



Alternativa em viaduto

FIG. 1.4 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE VIADUTO DE MEIA ENCOSTA

Existe ainda um tipo de construção que, em determinadas situações pode ser enquadrado na categoria de pontes que são as galerias.

As galerias, também denominadas de bueiros, são obras completamente ou parcialmente enterradas que fazem parte do sistema de drenagem, permanentes ou não, das vias ou são obras destinadas a passagens inferiores. Na Fig. 1.5 é ilustrada uma situação em que a galeria apresenta as características das pontes e uma outra situação em que as características fogem muito daquelas apresentadas pelas pontes. Evidentemente, existem situações intermediárias, para as quais, o porte e a altura de terra sobre a galeria conferem a este tipo de obra características que se aproximam mais ou menos das pontes.

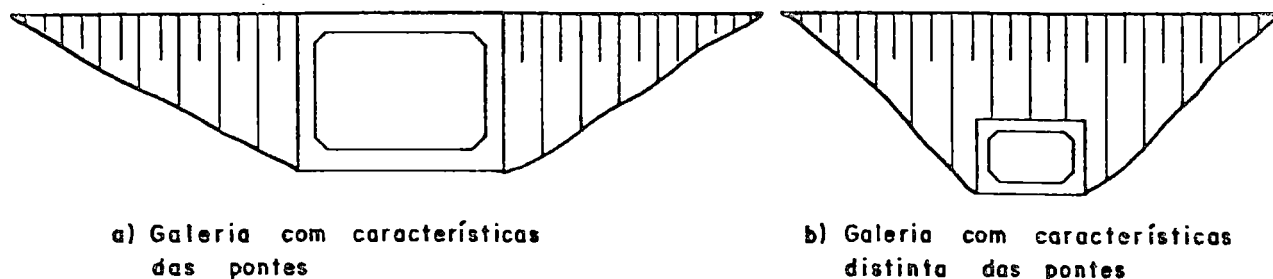


FIG. 1.5 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE GALERIA

2- ACENO HISTORICO

Um histórico das pontes, pode ser visto, de forma resumida, a partir dos materiais empregados na sua construção. Desta forma tem-se, na ordem cronológica, segundo LEONHARDT (1979), os seguintes tipos de pontes:

Pontes de madeira - A madeira tem sido empregada desde a antiguidade na construção de pontes, inicialmente com arranjos estruturais bastante simples. Destaca-se que com este material chegou-se a construir pontes com vãos consideráveis, como a ponte construída em 1758, sobre o rio Reno, com 118 metros de vão.

Pontes de pedra - A pedra, assim como a madeira, era empregada desde a antiguidade, na construção de pontes. Os romanos e os chineses já construíam abóbadas em pedra antes de Cristo. Os romanos chegaram a construir pontes, em forma de arco semi-circular com até 30 metros de vão. Foi grande o número de pontes em pedra construídas pelos romanos; a maior parte destas desabaram, principalmente por problemas de fundação ou então foram demolidas por questões bélicas, mas existem algumas que permanecem até os dias de hoje. Na idade média as abóbadas ficaram mais abatidas, chegando a atingir vãos da ordem de 50 metros.

Pontes metálicas - Embora as primeiras pontes metálicas tenham surgido no fim do século XVIII, em ferro fundido, foi a partir da metade do século seguinte, com o desenvolvimento das ferrovias - que produziam cargas bem mais elevadas que as que ocorriam até então - é que floresceu o emprego do aço na cons-

trução das pontes. Cabe destacar que já a partir de 1850 construíam-se pontes em treliça com 124 metros de vão.

Pontes de concreto armado - As primeiras pontes em concreto apareceram no início deste século. Eram pontes de concreto simples em arco triarticulado, com o material substituindo a pedra. Embora já se empregasse o concreto armado na execução do tabuleiro das pontes de concreto simples, foi a partir de 1912 que começaram a ser construídas as pontes de viga e de pórtico em concreto armado, com vãos de até 30 metros.

Pontes de concreto protendido - Embora as primeiras pontes em concreto protendido tenham sido feitas a partir de 1938, foi após a Segunda Guerra Mundial, devido ao grande número de pontes a serem feitas, é que o concreto protendido começou a ser empregado com grande frequência.

Para um aprofundamento neste assunto recomenda-se a leitura de STEINMANN, D.B. & WATSON, S.R. - Bridges and their Builders, e de WITTFORT, H. - Puentes. Ejemplos internacionales.

3- CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

Ao se comparar as pontes com os edifícios, pode-se estabelecer certas particularidades das pontes em relação aos edifícios. As principais particularidades, que fundamentalmente se constituem no objetivo da disciplina, podem ser agrupadas da seguinte forma:

Ações - Devido ao carácter da carga de utilização das pontes torna-se necessário considerar alguns aspectos que normalmente não são considerados nos edifícios. Nas pontes, em geral, deve-se considerar o efeito dinâmico das cargas, e devido ao facto das cargas serem móveis, torna-se necessário determinar a envoltória dos esforços solicitantes e a verificação da possibilidade de fadiga dos materiais.

Processos construtivos - Em razão da adversidade do local de implantação, que é comum na construção das pontes, existem processos de construção que, em geral, são específicos para a construção de pontes.

Composição estrutural - Em razão da natureza da carga de utilização, dos vãos a serem vencidos, e às vezes do processo construtivo, existem composições estruturais mais indicadas para cada tipo de ponte.

Análise estrutural - Na análise estrutural existem simplificações e recomendações em função da composição estrutural.

Nas construções, de uma maneira geral deve-se atender os seguintes quesitos: segurança, economia, funcionalidade e estética. No caso das pontes, dois destes quesitos merecem ser destacados: a estética e a funcionalidade.

Para determinadas pontes, nas quais o impacto visual no ambiente é importante, a estética assume um papel de grande desta-

que, justificando inclusive, em determinados casos um aumento do custo. Reforçando ainda este aspecto, salienta-se que na construção de uma rodovia, as pontes e os viadutos são denominados de obras de arte. Sobre este assunto pode-se consultar LEONHARDT, F. - Bridges: aesthetic and design.

No projeto das pontes deve-se visar o atendimento das condições de uso, com um mínimo de manutenção, buscando assim evitar transtornos de uma interrupção do tráfego, que em determinadas situações pode-se tornar calamitosa.

4- NOMENCLATURA

Tendo em vista os aspectos estruturais, as pontes podem ser subdivididas nos seguintes elementos, como mostra a Fig. 1.6:

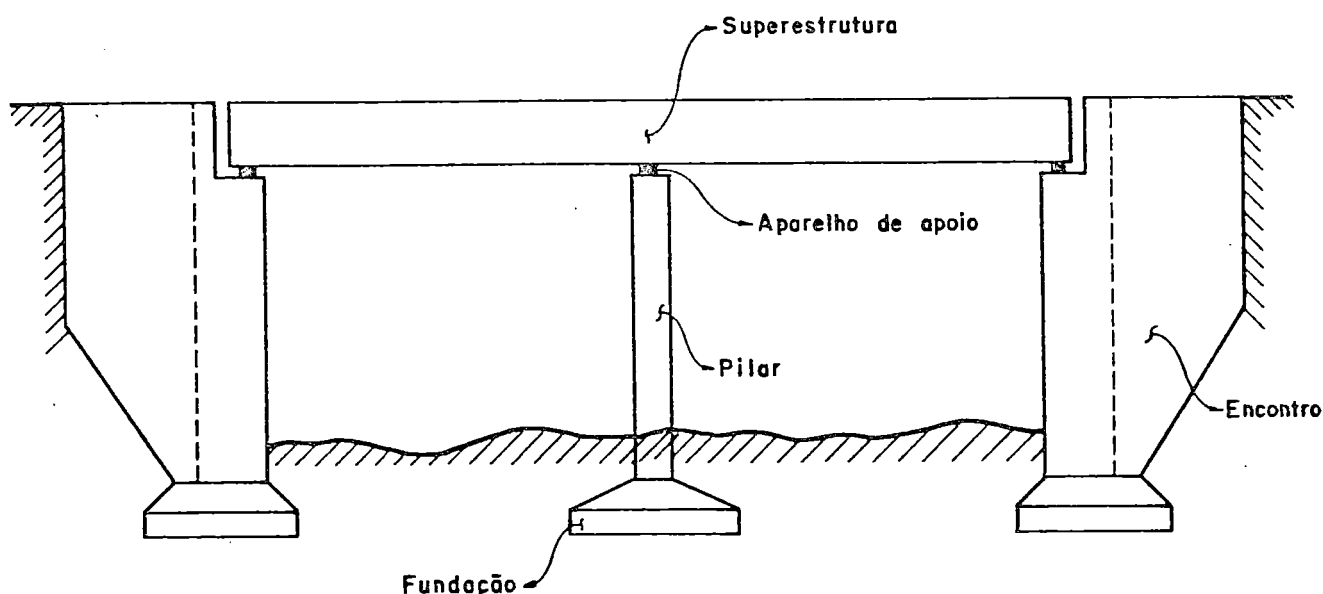


FIG. 1.6 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE COMPOSIÇÃO DE PONTES

SUPERESTRUTURA		Estrutura principal
	<	
		Estrutura secundária

APARELHO DE APOIO

INFRAESTRUTURA		Suporte
	<	
		Fundação

A superestrutura é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo. A superestrutura pode ser subdividida em duas partes:

Estrutura principal - que tem a função de vencer o vão livre;

Estrutura secundária (ou tabuleiro ou estrado) - que recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal.

O aparelho de apoio é o elemento colocado entre a infraestrutura e a superestrutura, destinado a transmitir as reações de apoio e permitir determinados movimentos de superestrutura.

A infraestrutura é a parte da ponte que recebe as cargas da superestrutura através dos aparelhos de apoio e as transmite ao solo. A infraestrutura pode ser subdividida em suportes e fundações. Os suportes podem ser subdivididos em:

encontro - elemento situado nas extremidades da ponte, na transição da ponte com o aterro da via, e que tem a função de suporte e de arrimar o solo;

pilar - elemento de suporte, normalmente situado na região intermediária, e que não tem a finalidade de arrimar o solo.

Cabe destacar que além da subdivisão aqui apresentada, encontra-se na literatura nacional, outra subdivisão que é a seguinte:

SUPERESTRUTURA;

MESOESTRUTURA (aparelho de apoio, pilar e encontro);

INFRAESTRUTURA (fundação).

Salienta-se que determinados tipos de pontes não apresentam separação nítida entre os elementos o que torna a aplicação da nomenclatura, para ambas as subdivisões apresentadas, não muito clara.

Com relação à seção transversal, conforme mostrado na Fig. 1.7 podem aparecer os seguintes elementos:

Pista de rolamento - largura disponível para o tráfego normal dos veículos, podendo ser subdividida em faixas;

Acostamento - largura adicional à pista de rolamento destinada à utilização em casos de emergência, pelos veículos;

Defensa - elemento de proteção aos veículos, colocado lateralmente ao acostamento;

Passeio - largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres;

Guarda-roda - elemento destinado a impedir a invasão dos passeios pelos veículos;

Guarda-corpo - elemento de proteção aos pedestres.

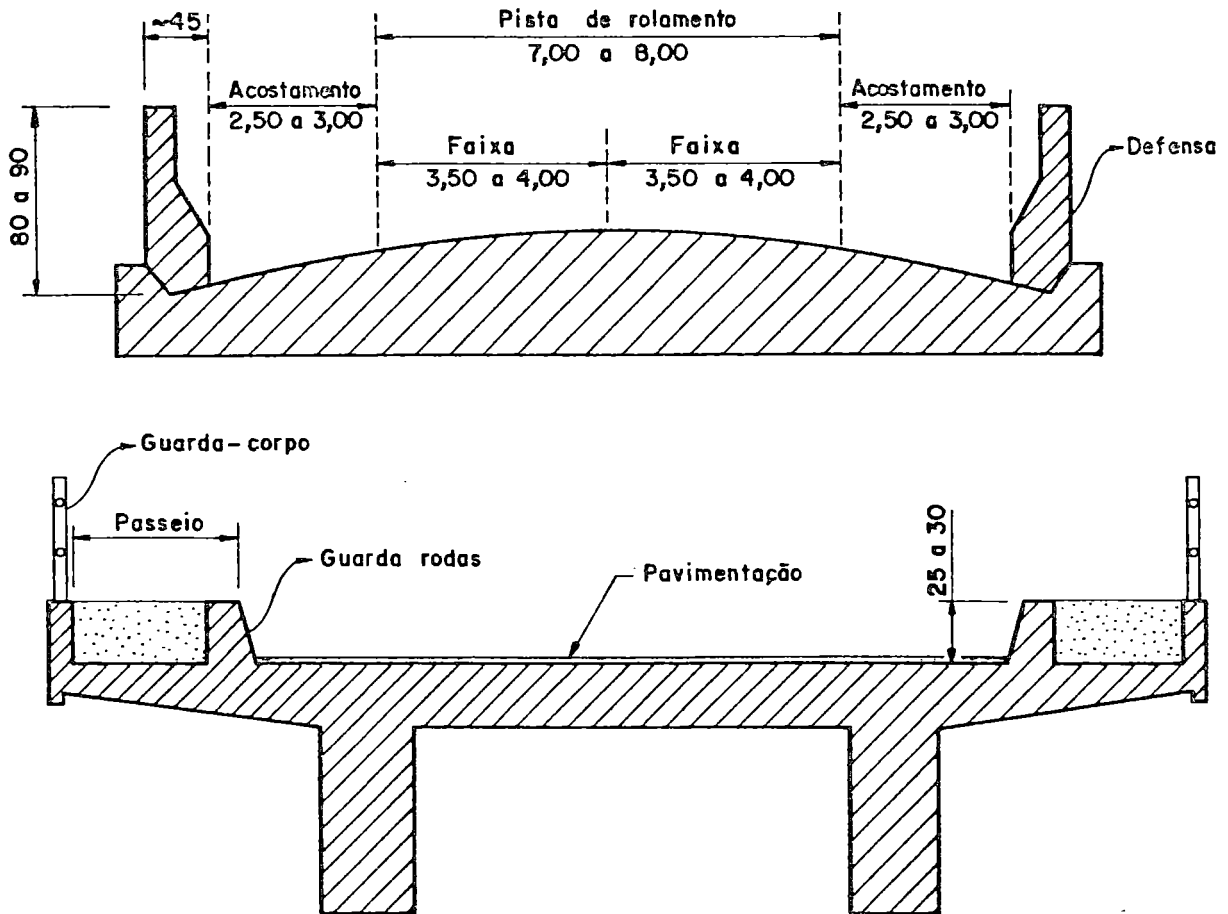


FIG. 1.7 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS

Com relação à seção longitudinal, mostrada na Fig. 1.8, tem-se as seguintes denominações:

Comprimento da ponte (também denominado de vão total) - distância, medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte;

Vão (também denominado de vão teórico e de tramo) - distância, medida horizontalmente, entre os eixos de suportes consecutivos;

Vão livre - distância entre as faces de dois suportes consecutivos;

Altura de construção - distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura;

Altura livre - distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo.

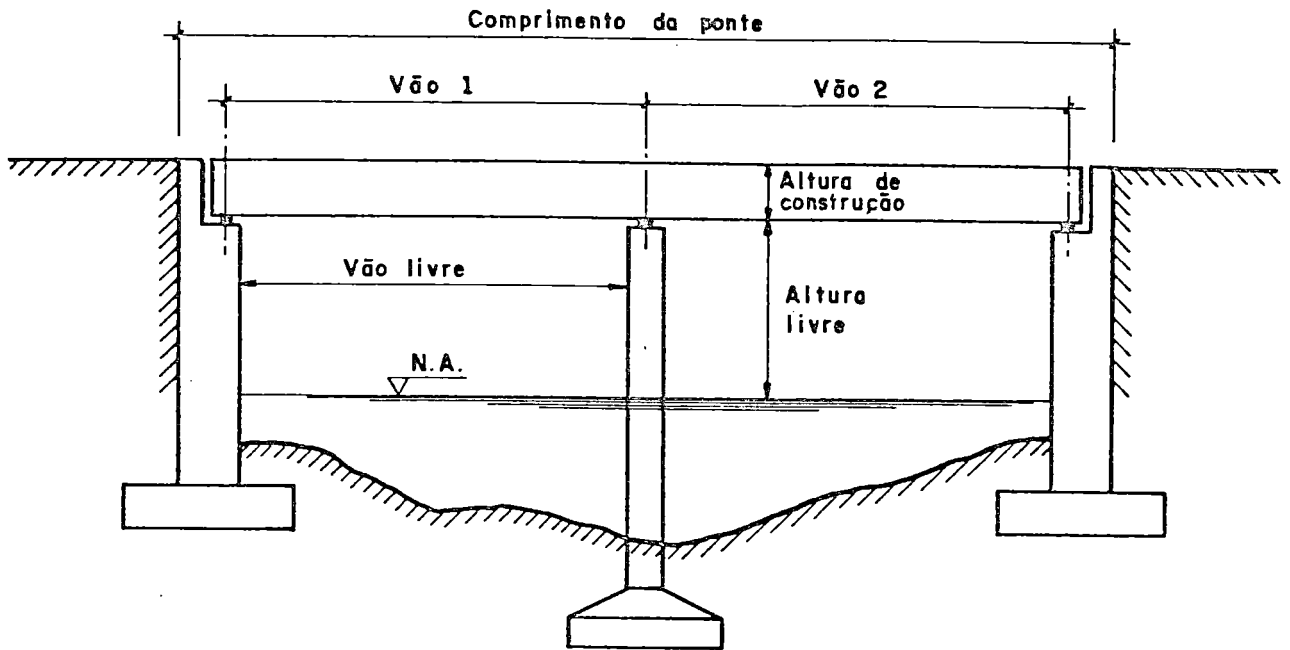


FIG. 1.8 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE SEÇÃO LONGITUDINAL

5- CLASSIFICAÇÃO

As pontes podem ser classificadas segundo vários critérios; os mais importantes são os seguintes:

- material da superestrutura;
- comprimento;
- natureza do tráfego;
- desenvolvimento planimétrico;
- desenvolvimento altimétrico;
- sistema estrutural da superestrutura;
- seção transversal;
- posição do tabuleiro;
- processo de execução.

Apresenta-se a seguir a classificação das pontes segundo cada um dos critérios relacionados. Esta apresentação serve também para completar a nomenclatura.

5.1- Material da superestrutura

As pontes se classificam segundo o material da superestrutura em pontes:

- de madeira;
- de alvenaria;
- de concreto simples;
- de concreto armado;
- de concreto protendido;
- de aço;
- mistas (concreto e aço);

O concreto simples e a alvenaria tem o emprego bastante restrito atualmente na execução da superestrutura das pontes.

A madeira é normalmente empregada atualmente em obras provisórias ou obras de pequeno vulto na zona rural.

Na infraestrutura das pontes emprega-se normalmente o concreto armado, dispensando assim uma classificação segundo o material da infraestrutura. Ressalta-se entretanto que para obras de pequeno porte têm sido empregados também gabiões.

5.2- Comprimento

Segundo o seu comprimento, as pontes podem ser classificadas em:

- Galerias (bueiros) - de 2 a 3 metros;
- Pontilhões - de 3 a 10 metros;
- Pontes - acima de 10 metros.

Esta classificação tem importância apenas para apresentar as denominações que as pontes recebem em função do seu comprimento ou porte, embora não exista consenso - e nem grande importância - sobre as faixas de valores aqui indicadas.

5.3- Natureza do tráfego

Segundo a natureza do tráfego, as pontes podem ser classificadas em:

- rodoviárias;
- ferroviárias;
- passarelas (pontes para pedestres);
- aeroviárias;
- aquetudos;
- mistas.

Estas denominações são associadas ao tipo de tráfego principal. As pontes mistas são aquelas destinadas a mais de um tipo de tráfego, por exemplo ponte rodo-ferroviária que serve para estabelecer a continuidade de uma rodovia e de uma ferrovia.

5.4- Desenvolvimento planimétrico

Segundo o desenvolvimento em planta do traçado, as pontes podem ser classificadas em:

		ortogonais
retas	<	
		esconsas

curvas

As pontes retas, como o próprio nome diz, são aquelas que apresentam eixo reto. Em função do ângulo que o eixo da ponte forma com a linha de apoio da superestrutura, estas pontes podem ser divididas em ortogonais (quando o ângulo é de 90° , e esconsas (quando o ângulo é menor que 90°). As Fig. 1.9-a e 1.9-b ilustram estas situações.

As pontes curvas são aquelas que apresentam o eixo curvo, conforme ilustra a Fig. 1.9-c.

5.5- Desenvolvimento altimétrico

As pontes se classificam segundo o seu desenvolvimento altimétrico em:

		horizontal
retas	<	
		em rampa

		tabuleiro convexo
curvas	<	
		tabuleiro côncavo

As Fig. 1.10-a, b, c, e d ilustram estas situações.

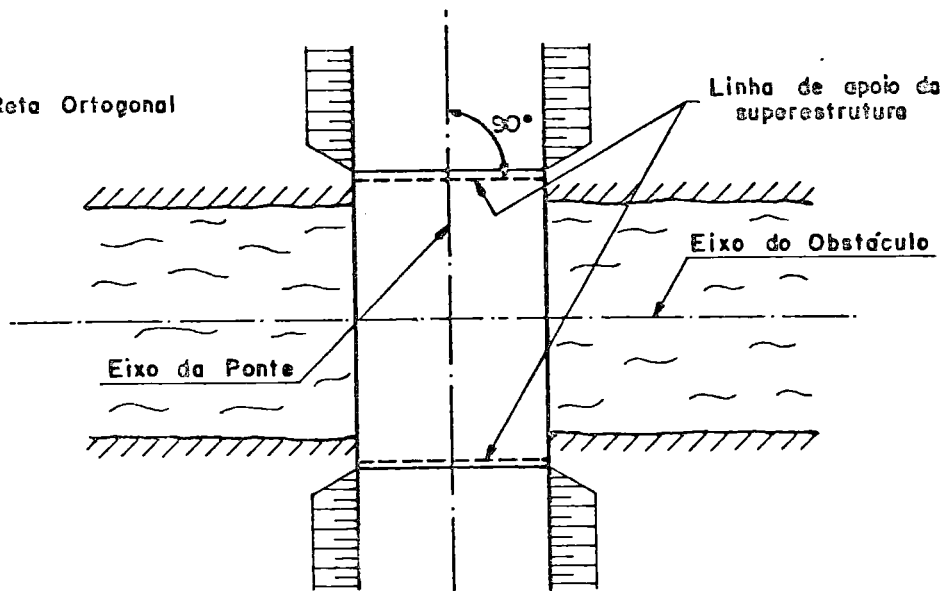
5.6- Sistema estrutural da superestrutura

As pontes podem ser classificadas, quanto ao sistema estrutural da superestrutura, também denominado de sistema estrutural principal ou simplesmente sistema estrutural, em:

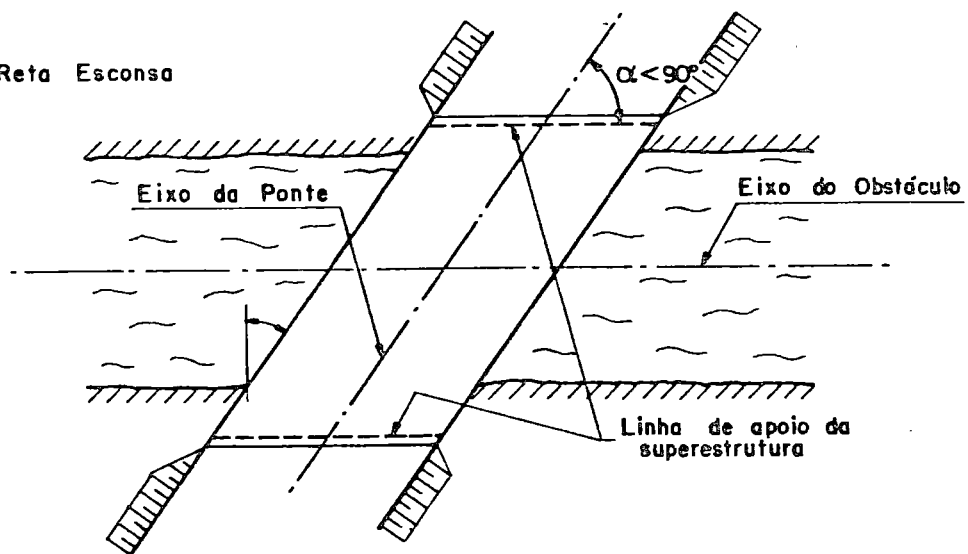
ponte em viga;
ponte em pórtico;
ponte em arco;
ponte estaiada;
ponte pênsil.

Estes tipos de pontes podem apresentar subdivisões, em função dos tipos de vinculação dos elementos, como por exemplo, ponte em viga simplesmente apoiada, ponte em arco biarticulado, etc. Estas subdivisões serão tratadas posteriormente. A Fig. 1.11 ilustra estes tipos de pontes.

a) Ponte Reto Ortogonal



b) Ponte Reto Esconso



c) Ponte Curva

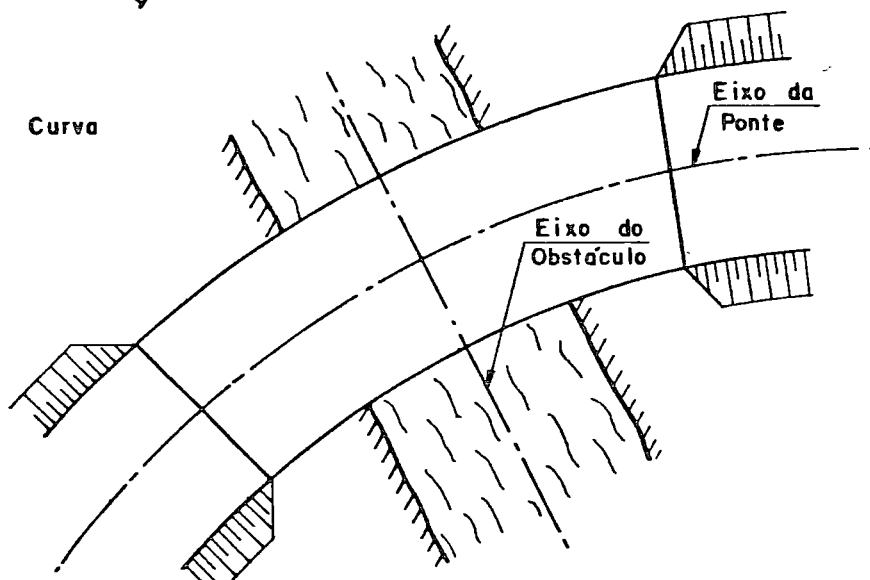


FIG. 1.9 - CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES SEGUNDO O DESENVOLVIMENTO EM PLANTA.

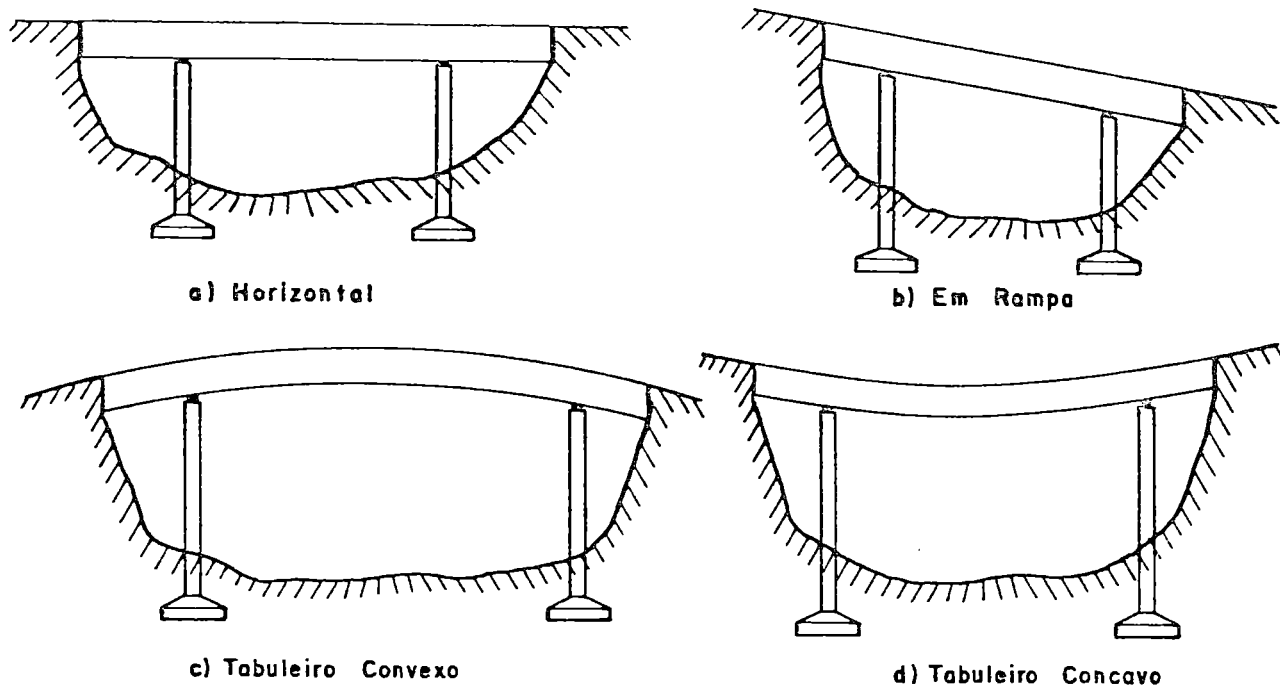


FIG. 1.10 - CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES SEGUNDO O DESENVOLVIMENTO ALTIMÉTRICO.

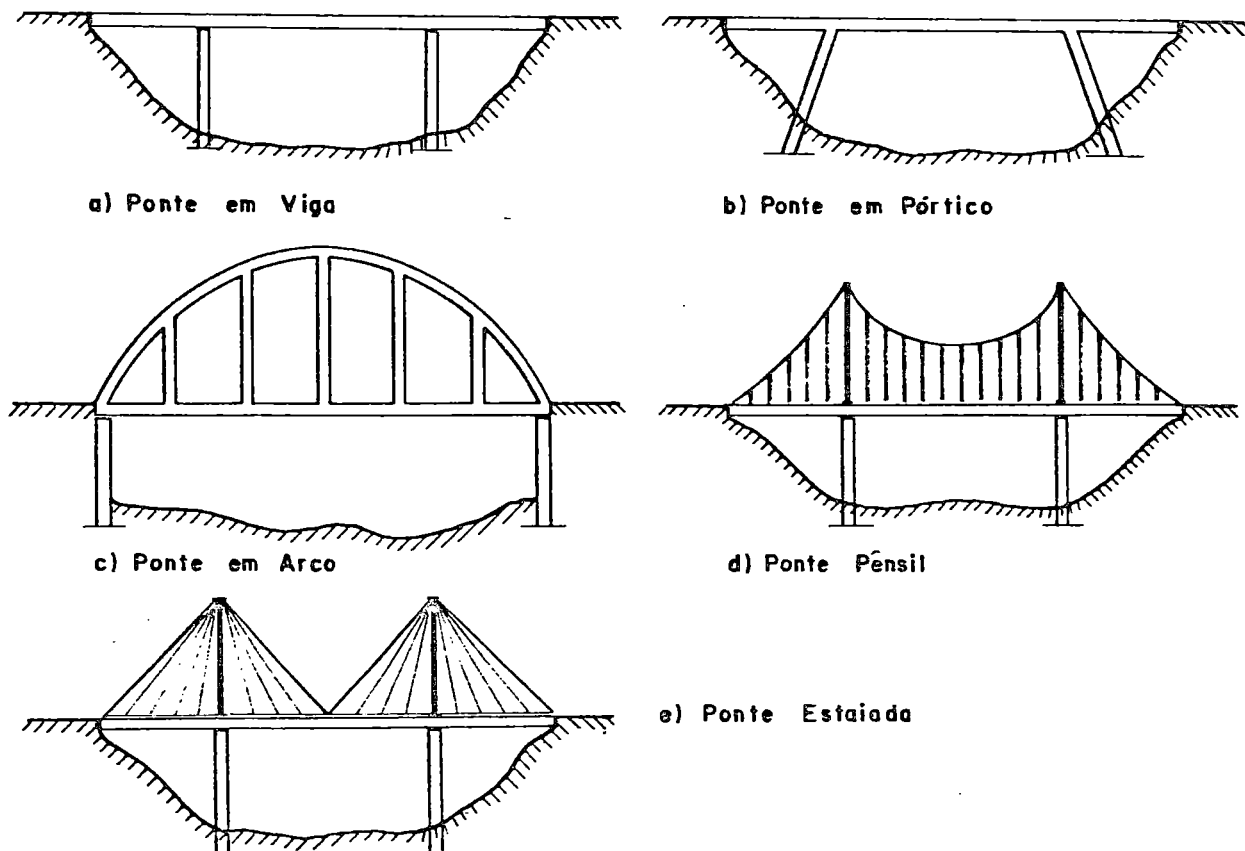


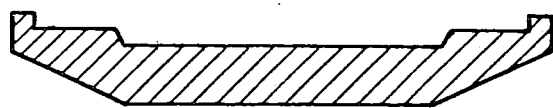
FIG. 1.11 - ESQUEMAS DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DA SUPERESTRUTURA.

5.7- Seção transversal

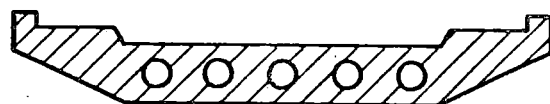
Quanto à seção transversal as pontes de concreto se classificam em:

ponte de laje		maciça
	<	vazada
ponte de viga		seção T
	<	seção celular
		treliça

Salienta-se que estas denominações são empregadas para pontes de concreto e que o emprego de viga em treliça é muito raro nas pontes de concreto. As Fig. 1.12-a e 1.12-b ilustram os casos em questão.

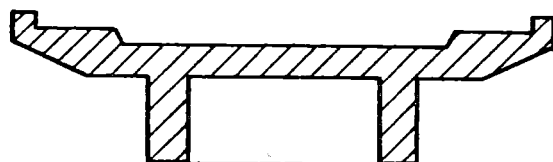


Maciça

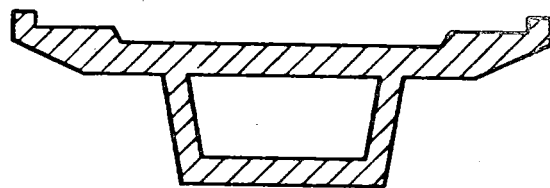


Vazada

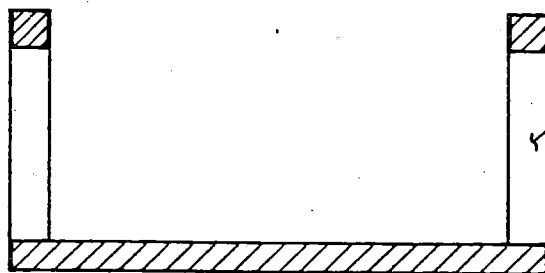
a) Pontes de laje



Seção "T"



Seção Celular



Treliça

b) Pontes de Viga

FIG.1.12 - SEÇÕES TRANSVERSAIS DAS PONTES DE CONCRETO

Observe-se que está sendo feita uma distinção, na classificação das pontes quanto ao sistema estrutural da superestrutura e quanto à seção transversal, através da preposição que segue a palavra ponte. Assim, ponte em viga refere-se ao sistema estrutural da superestrutura em viga qualquer que seja a seção transversal, e ponte de viga refere-se à seção transversal em viga, independente do sistema estrutural da superestrutura.

Salienta-se ainda que estas denominações não são de uso comum nem na literatura nacional nem na prática da Engenharia no país, mas foram julgadas adequadas para evitar que haja confusão na hora de classificar as pontes.

5.8- Posição do tabuleiro

Quanto à posição do tabuleiro as pontes se classificam em:

- ponte com tabuleiro superior;
- ponte com tabuleiro intermediário;
- ponte com tabuleiro inferior;

As pontes com tabuleiro superior recebem também a denominação de pontes com tabuleiro normal, e as pontes com tabuleiro intermediário e inferior são também chamadas de pontes com tabuleiro rebaixado.

A Fig. 1.13 ilustra estas situações. Salienta-se que para as pontes pênséis e para as pontes estaiadas o tabuleiro é sempre inferior.

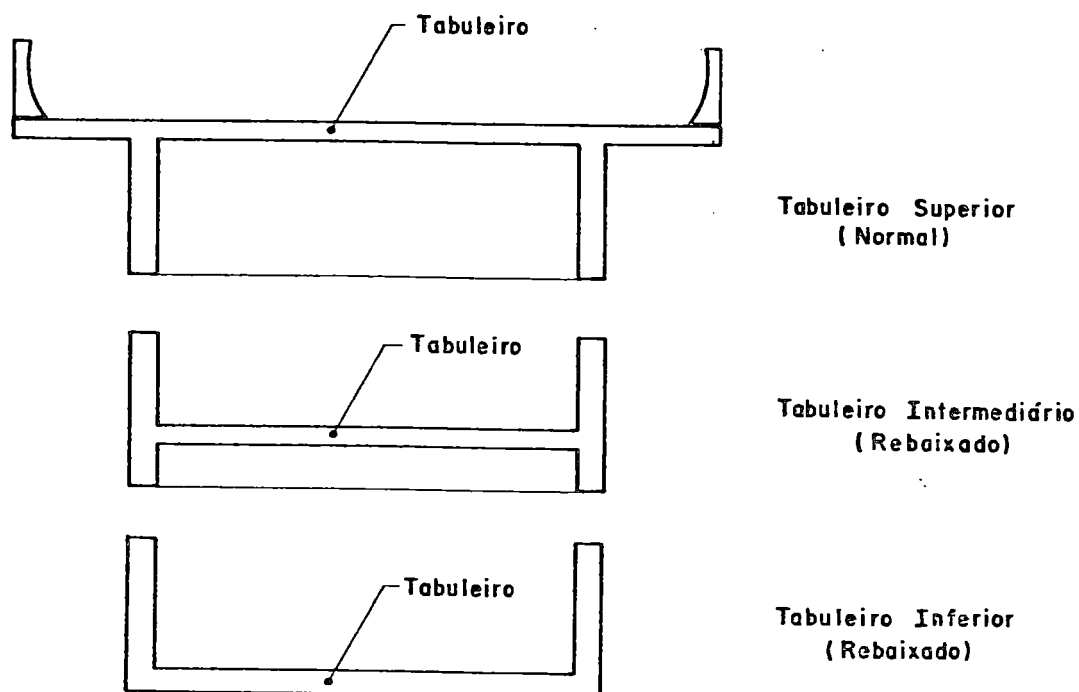


FIG. 1.13 - ESQUEMA DE SEÇÕES TRANSVERSAIS ILUSTRANDO A POSIÇÃO DO TABULEIRO

5.9- Processo de execução

Os processos de execução a serem apresentados referem-se às pontes de concreto. O assunto é aqui tratado de forma bastante sucinta, com um caracter introdutório e será desenvolvido, de forma mais completa, oportunamente. Assim, tendo em vista o processo de execução, as pontes podem ser classificadas em:

- construção com concreto moldado no local;
- construção com elementos pré-moldados;
- construção com balanços sucessivos;
- construção com deslocamentos progressivos.

A construção com concreto moldado no local é a denominação aqui apresentada para o tipo tradicional de execução de concreto armado, e que consiste na concretagem da superestrutura no local, com o emprego de fôrmas apoiadas em cimbraento fixo.

A construção com o emprego de elementos pré-moldados, na sua forma mais comum, consiste no lançamento de vigas pré-moldadas por meio de dispositivo adequado, sendo o tabuleiro moldado no local, com fôrmas que se apoiam nas vigas pré-moldadas, eliminando - ou reduzindo drasticamente - o cimbramento (Fig. 1.14).

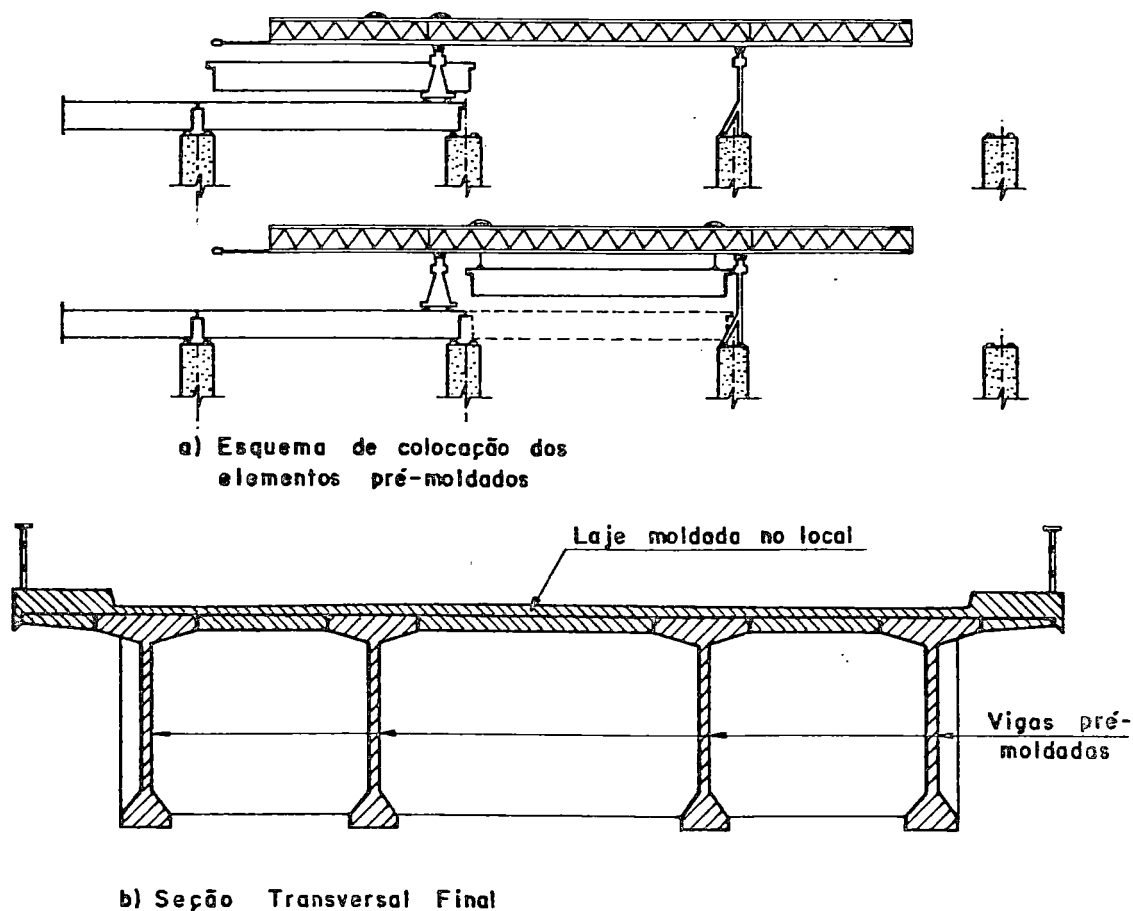


FIG. 1.14 - ILUSTRAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE PONTES
COM O EMPREGO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS.

Em linhas gerais, a construção das pontes em balanços sucessivos é feita a partir dos lados dos pilares, em segmentos; a fôrma para a moldagem de cada segmento é sustentada pelo segmento anterior, sendo portanto necessário que o concreto desse segmento anterior esteja com a resistência adequada. Também, neste caso, elimina-se - ou reduz-se drasticamente - o cimbramento (Fig. 1.15). Existe também a alternativa de se fazer estes segmentos pré-moldados.

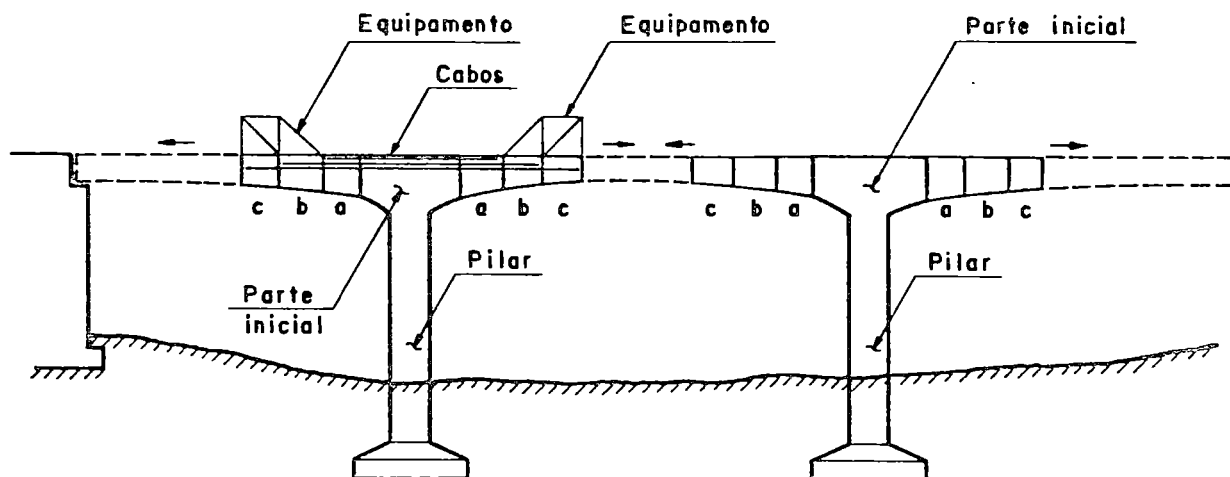


FIG. 1.15 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE CONSTRUÇÃO DE PONTES EM BALANÇOS SUCESSIVOS [FREITAS(1981)]

A construção com deslocamentos progressivos consiste na execução da ponte em segmentos, em local apropriado junto à cabeceira da ponte; à medida que o concreto de cada segmento vai adquirindo a resistência adequada, a ponte é progressivamente deslocada para o local definitivo, também eliminando - ou reduzindo drasticamente - o cimbramento (Fig. 1.16).

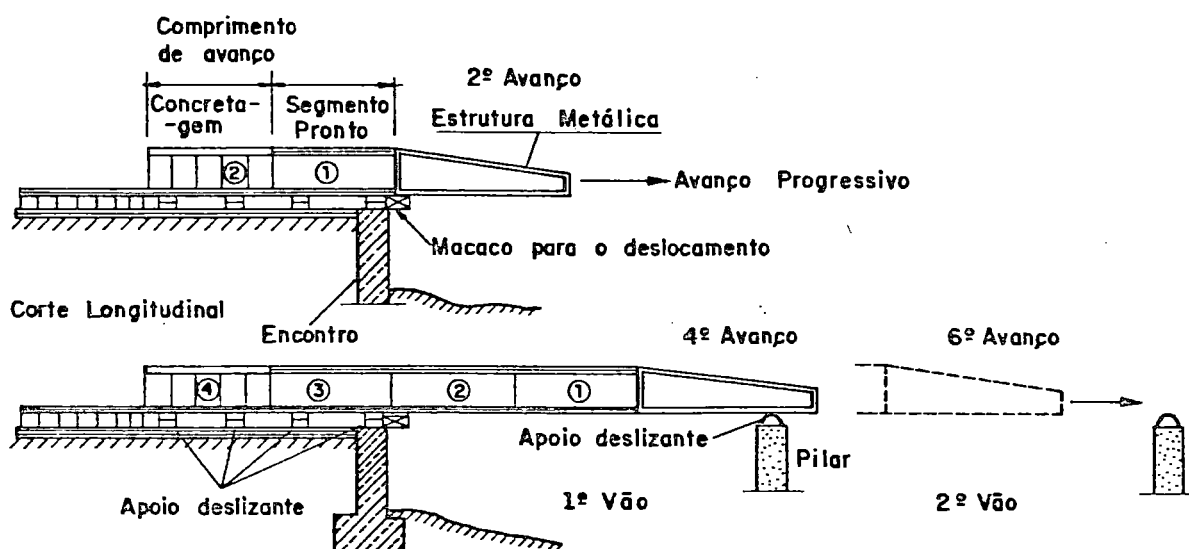


FIG. 1.16 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE CONSTRUÇÃO DE PONTES COM DESLOCAMENTOS PROGRESSIVOS. [LEONHARDT (1979)]

6- CONSIDERAÇÕES ECONOMICAS PRELIMINARES

Nas pontes, como em qualquer tipo de construção, deve-se procurar minimizar o custo, que é a soma dos custos da infraestrutura, dos aparelhos de apoio e da superestrutura.

Diversos fatores influem no custo de uma ponte, alguns de ordem técnica e outros não, sendo difícil estabelecer regras gerais para considerá-los.

Para uma ponte com um determinado comprimento, um dos fatores mais importantes que influe no custo é o vão ou os vãos. Quanto maior o vão, maior é o custo da superestrutura e menor o custo da infraestrutura e vice-versa, quanto menor o vão, menor é o custo da superestrutura e maior o custo da infraestrutura, conforme mostra o diagrama da Fig. 1.17, para uma situação genérica. Nesta análise foi desprezado o custo dos aparelhos de apoio pelo fato de representar uma parcela muito pequena no custo da ponte.

Numa primeira aproximação, o vão indicado é aquele em que o custo da superestrutura resulta aproximadamente igual ao custo da infraestrutura.

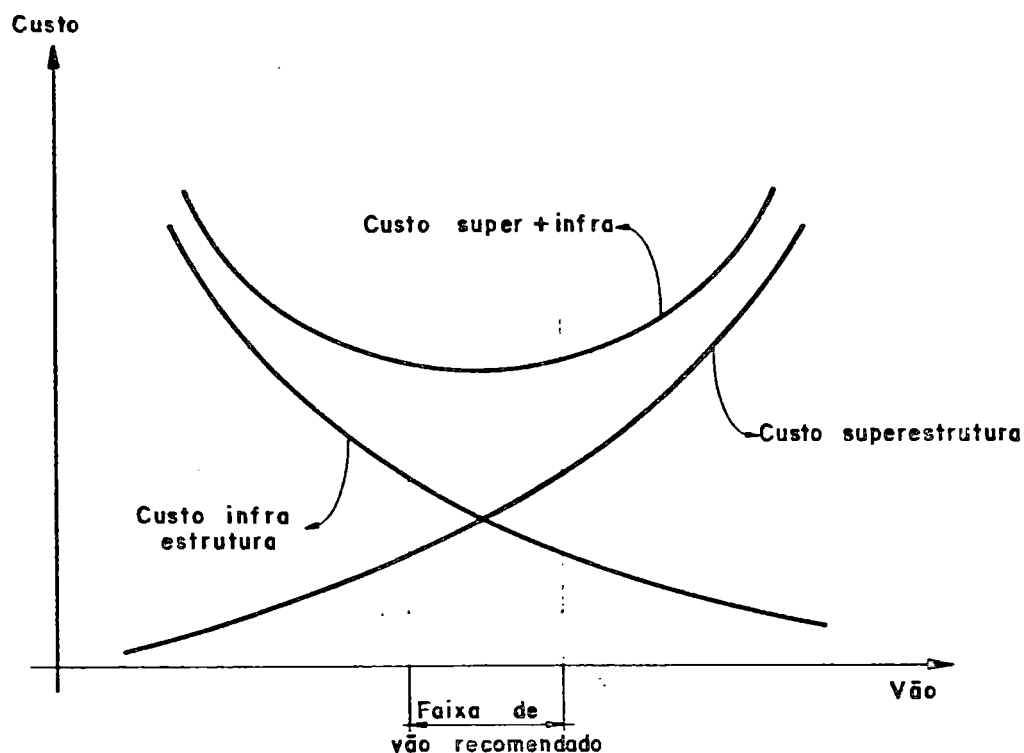


FIG. 1.17 - ILUSTRAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS EM FUNÇÃO DO VÃO.

BIBLIOGRAFIA

ACI 343R-77. Analysis and design of reinforced concrete bridge structures. Detroit, 1981.

FREITAS, M. Pontes: introdução geral - definições. São Paulo, EPUSP, 1981.

LEONHARDT, F. Construções de concreto, vol. 6: Princípios básicos da construção de pontes de concreto. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1978.

LEONHARDT, F. Bridges: aesthetics and design. London, The Architectural Press, 1982.

PFEIL, W. Pontes em concreto armado. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.

STEINMAN, D.B. ; WATSON, S.R. Bridges and their builders. New York, Dover Publications, 1957.

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