CADERNO DE INSTRUÇÃO DE PONTES DE MADEIRA NO ÂMBITO DO EXÉRCITO BRASILEIRO

Departamento de Engenharia e Construção

DEC

MINISTÉRIO DA DEFESA

EXÉRCITO BRASILEIRO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO

(Departamento Técnico e de Produção do Exército / 1946)

(Departamento Real Corpo de Engenheiros)

CADERNO DE INSTRUÇÃO DE PONTES DE MADEIRA

1ª Edição

2019

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO
(Departamento Técnico e de Produção do Exército / 1946)
(Departamento Real do Corpo de Engenheiros)

PORTARIA Nº 137, DE 02 DE DEZEMBRO DE 2019.
BE: 64444,010462/2019-17

Aprova o Caderno de Instrução de Pontes de Madeira no âmbito do Exército Brasileiro. (EB50-CI-01.001).

O **CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO**, no uso das atribuições constantes nos incisos I e III, do art. 3º do Regulamento do Departamento de Engenharia e Construção (R-155), aprovado pela Portaria nº 891, do Comandante do Exército, de 28 de novembro de 2006; e em conformidade com o parágrafo único do art. 5º, o inciso II do art. 12 e o caput do art. 44, das Instruções Gerais para as Publicações Padronizadas do Exército (EB10-IG-01.002), aprovadas pela Portaria do Comandante do Exército nº 770, de 7 de dezembro de 2011, resolve:

Art. 1º Aprovar o Caderno de Instrução de Pontes de Madeira no âmbito do Exército Brasileiro, (EB50-CI-01-001).

Art. 2º Estabelecer que este Caderno de Instrução entre em vigor na data de sua publicação.

Gen Ex CLAUDIO COSCIA MOURA
Chefe do Departamento de Engenharia e Construção

(Publicado no Boletim do Exército nº ____, de _____ de _____ de 2019)

FOLHA REGISTRO DE MODIFICAÇÕES (FRM)			
NÚMERO DE ORDEM	**ATO DE APROVAÇÃO**	**PÁGINAS AFETADAS**	**DATA**

ÍNDICE DE ASSUNTOS

Pag

CAPÍTULO I - GENERALIDADES
1. Generalidades....12
1.1 Legislação Ambiental e Principais Conceitos....13
1.2 Conceitos....13
CAPÍTULO II - CLASSIFICAÇÃO TEÓRICA DAS PONTES DE MADEIRA
2. Configurações....14
2.1 Quanto a Forma....14
2.2 Quanto ao Tipo de Madeira Empregada....15
2.3 Quanto ao Tipo de Fundação dos Pilares....15
2.4 Quanto ao Tipo de Revestimento Empregado....16
CAPÍTULO III – AS MADEIRAS
3. Tipos de Madeiras Utilizadas nas Pontes....16
3.1 Introdução....16
3.2 Formas de Madeira Utilizadas nas Pontes....16
3.2.1 Madeira Roliça....16
3.2.2 Madeira Serrada....17
3.2.3 Madeira Laminada Colada ou Protendida....18
3.3 Classes das Madeiras Utilizadas nas Pontes....18
3.4 A Umidade da Madeira Utilizada nas Pontes....19
3.5 O Tratamento da Madeira....19
3.5.1 Introdução....19
3.5.2 Agentes que Contribuem para a Deterioração das Pontes de Madeira....19
3.5.2.1 Os Agentes Bióticos....19
3.5.2.2 Os Agentes Abióticos....21
3.5.3 Métodos de Proteção para as pontes de Madeira....21
3.5.3.1 Proteção por Desenho de Projeto....22
3.5.3.2 Proteção por Tratamento Preservativo....23
3.5.4 Produtos Preservativos....24
3.5.5 Métodos de Tratamentos....24
3.5.5.1 Outras Considerações Relativas à proteção por Tratamento Preservativo....25

3.5.5.2 Proteção por Inspeção.....26
CAPÍTULO IV – OS COMPONENTES DAS PONTES DE MADEIRA
4. A Infraestrutura.....27
4.1 Introdução.....27
4.2 Os Componentes da Infraestrutura.....27
4.2.1 As Sapatas.....28
4.2.2 A Soleira.....28
4.2.3 Os Pilares.....29
4.2.4 O Contraventamento Diagonal.....29
4.2.5 O Chapéu (Berço ou Travesseiro).....29
4.2.6 Os Apoios do Chapéu.....30
4.2.7 O Dormente.....31
4.2.8 O Batente.....31
4.3 Os Componentes da Superestrutura.....31
4.3.1 O Balancim (Ou Sub-Viga).....31
4.3.2 As Vigas (Ou Longarinas).,.....32
4.3.3 O Piso de Repartição (Ou Tabuleiro).....,.....33
4.3.4 O Piso de Uso (Ou Rodeiro).....,..34
4.3.5 O Rodapé (Ou Guarda-Rodas).....34
4.3.6 O Balaústre, a Escora e o Corrimão).....,.....34
CAPÍTULO V – OS ENCONTROS PARA AS PONTES DE MADEIRA
5. Tipos de Encontros.....35
5.1 Características dos Encontros.....36
5.1.1 Estacas com Contenção em Pranchas de Madeira.....,..,.....36
5.1.2 Estacas com Contenção Mista de Gabiões e Madeira.....,...,.....37
5.1.3 Estacas com Contenção de Vigas de Madeira.....,..,.....37
5.1.4 Muro de Contenção de Gabiões.....,.....37
5.1.5 Estacas com Contenção em Crib-Wall (Parede de Engradados).....,.....38
5.1.6 Muro de Contenção de Alvenaria.....,.....38
5.1.7 Muro de Contenção em Concreto.....39
5.1.8 Muro de Contenção de Concreto sobre Estacas.....,....39
CAPÍTULO VI – A CONSTRUÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA
6. A Construção das Pontes de Madeira.....40
6.1 O Reconhecimento para a Construção de uma Ponte de Madeira.....,,.....40

6.1.2 Aspectos a serem Considerados.....40
6.1.2.1 As Informações Técnicas Pré-Existentes.....40
6.1.2.2 A Profundidade do Curso D`Água e a Velocidade da Correnteza.....40
6.1.2.3 A Natureza do Leito do Curso D`Água.....41
6.1.2.4 A Largura do Curso D`Água.....41
6.1.2.5 A Natureza e Situação das Margens.....41
6.1.2.6 A Existência de Recursos Locais.....41
6.2 O Dimensionamento das Pontes de Madeira.....42
6.2.1 Dimensionamento da Superestrutura.....42
6.2.1.1 Sequência de Cálculos para o Dimensionamento da Superestrutura.....42
6.2.1.2 Exemplos de Cálculos de Dimensionamento da Superestrutura.....42
6.2.2 O Dimensionamento da Infraestrutura.....,.....47
6.2.2.1 Sequência de Cálculos para o Dimensionamento da Infraestrutura de uma Ponte de Madeira.....47
6.2.2.2 Exemplos de Cálculos de Dimensionamento da Infraestrutura.....49
6.3 Características das Vigas de Madeiras.....63
6.4 Características das Vigas de Aço.....64
6.5 Características dos Pilares de Madeira.....66
6.6 Características do Bate-Estaca Empregado.....66
6.7 Relação entre a Largura Mínima entre Rodapés e a Classe da Ponte.....66
6.8 A Execução do Projeto de Uma Ponte de Madeira.....66
6.8.1 Equipamentos Úteis.....67
6.8.1.2 Motosserra e Implemento com Furadeira.....67
6.8.1.3 A Retroescavadeira ou Trator Multiuso com Implemento Escavadeira.....67
6.8.1.4 O Bate-Estacas.....69
6.8.2. A Construção da Infraestrutura.....69
6.8.2.1 A Construção da Fundação e Fixação de Pilares.....69
6.8.2.2 O posicionamento do chapéu e balancins (caso necessário).....71
6.8.3 A Construção da Superestrutura.....72
6.8.3.1 O Posicionamento das Vigas.....72
6.8.3.2 O Posicionamento do Piso de Repartição e Piso de Uso.....73
6.8.3.3 O Posicionamento dos Rodapés.....73
6.8.3.4 Outras Considerações.....74
6.8.3.5 Ações Complementares após a Construção.....74

CAPÍTULO VII – A CLASSIFICAÇÃO DE PONTES DE MADEIRA EXISTENTES
7.1 Cálculos para Determinar a Classe da Ponte de Madeira.....74
7.1.2 Classificação de Uma Ponte de Madeira.....75
7.1.2.1 Sequência de Cálculos para a Classificação de uma Ponte de Madeira.....76
7.1.2.2 Exemplos de Cálculos para a Classificação de uma Ponte de Madeira.....78
7.2 Sistema Militar de Sinalização de Pontes.....81
7.2.2 Sinalização de Ponte de Duas Vias ou Faixas de Tráfego.....82
7.3 Os Tipos de Travessia de Uma Ponte.....82
7.3.1 Características da Travessia Normal.....82
7.3.1.2 Características da Travessia Especial.....82
7.3.1.2.1 Travessia Especial com Cautela.....82
7.3.1.2.2 Travessia Especial com Perigo.....83
CAPÍTULO VIII – AS LIGAÇÕES ENTRE OS COMPONENTES DAS PONTES DE MADEIRA
8.1 As Ligações Para as Madeiras.....83
8.1.1 Formas de Ligações Existentes.....83
8.1.1.1 Pregos.....83
8.1.1.2 Parafusos.....85
8.1.1.3 Anéis metálicos.....86
8.1.1.4 Chapas metálicas.....86
8.1.1.5 Colas.....87
8.1.1.6 Protensão.....87
8.1.1.7 Ligação madeira-asfalto ou madeira-concreto.....88
CAPÍTULO IX – A REPARAÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA
9.1 Generalidades.....89
9.2 Reparação Devido à Deterioração Inicial.....90
9.2.1 Técnicas de Reparação Devido à Deterioração Inicial.....90
9.2.1.1 A Técnica da Fumigação.....90
9.2.1.2 A técnica da injeção.....91
9.2.1.3 A técnica da aspersão.....91
9.2.1.4 A técnica do pincelamento.....91
9.3 Reparação Devido à Deterioração Severa ou Tardia.....91
9.3.1 Técnicas De Reparação Devido À Deterioração Tardia.....92
9.3.1.1 A Substituição.....92

9.3.1.2 Os Reforços por Conectores.....92
9.3.1.3 Os Reforços por Emendas.....92
9.3.1.4 Os Reforços por Camisa de Concreto.....92
9.3.1.5 Os Reforços por Adesivos.....92
CAPÍTULO X – NOVAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM PONTES DE MADEIRA
10. Generalidades.....93
10.1 A Ponte de Madeira Protendida.....93
10.2 A Ponte Madeira-Concreto.....96
10.3 A Ponte de Madeira Protegida por Cobertura.....97
10.4 Pontes de Madeira Construídas nos Últimos Anos.....99
ANEXO A - NOMENCLATURAS APLICADAS AO CÁLCULO DE PONTES DE MADEIRA.....101
ANEXO B - MADEIRAS APLICADAS À CONSTRUÇÃO DE PONTES.....103
ANEXO C - CLASSE DAS VIATURAS E EQUIPAMENTOS EMPREGADOS PELO EB.....105
ANEXO D - MODELO DE RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO DE LOCAL PARA PONTE 106
ANEXO E - MODELO DE RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO DE PONTE.....108
ANEXO F - MODELO DE PEDIDO DE MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO DE PONTE DE MADEIRA 110
ANEXO G- SUGESTÃO DE EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAIS NECESSÁRIOS À CONSTRUÇÃO DE PONTE DE MADEIRA.....112

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

As pontes de madeira tiveram grande importância para o desenvolvimento da Humanidade. Com elas, se permitiu vencer maiores distâncias terrestres, ajudando a desenvolver o comércio entre as diversas regiões, como também, a transposição e mobilidade de tropas em diversas batalhas travadas ao longo de tempos remotos.

A construção deste tipo de ponte, largamente empregada por séculos em todo o mundo, diminuiu fortemente devido à utilização quase que exclusiva de pontes de concreto armado e metálicas no século passado.

No entanto, em diversos países o seu emprego vem crescendo ano-a-ano devido a vários fatores, tais como: a consciência mundial relacionada à preservação ambiental; a possibilidade da madeira ser extraída agredindo menos o meio ambiente do que outros materiais (madeira de reflorestamento).

A madeira legal é aquela que cumpre todos os requisitos previstos na lei quanto à documentação (emitida pelo órgão ambiental federal, estadual ou municipal) e pode vir tanto de manejo florestal como de desmatamento, desde que autorizado pelos órgãos ambientais. Já a madeira ilícita é oriunda da exploração ilegal e refere-se à extração ou remoção sem a licença exigida ou em desacordo com uma licença ou lei de exploração. A exploração ilegal de madeira e o desmatamento estão diretamente associados.

O uso de madeira em Obras de Artes Especiais, também cresceu devido ao menor custo por metro de ponte construída; uma maior versatilidade nos projetos e construções; e o inegável valor estético das pontes de madeira para os usuários. Também, ao contrário do que muitos imaginam, essas pontes podem ter grande durabilidade e vencer vãos consideráveis.

Para o Brasil que possui imensa malha viária secundária, sua importância é representativa, uma vez que se estima a necessidade de pequenas pontes em mais de 100 mil unidades. Assim, necessitamos de alternativas para dar mobilidade as nossas tropas, uma vez que, muito provavelmente, em um conflito, as necessidades em equipagens de pontes de Engenharia serão muito maiores que as disponibilidades. Sendo assim, a ponte de madeira não vem para substituir as demais, senão para complementá-las, caso necessário. Esta é a principal função deste tipo de ponte, ser uma alternativa viável quando não dispusermos de equipagens suficientes para atender à demanda nas diversas operações militares.

É importante frisar que as manutenções preventivas em pontes de madeira devem ser programadas, pois as intempéries a que estão sujeitas podem causar danos, que se forem tratados corretamente em seu devido tempo, possibilitará à estrutura ter uma vida útil prolongada.

Este Caderno de Instrução, portanto, visa auxiliar o entendimento do assunto por parte dos militares de Engenharia do Exército Brasileiro no projeto, execução e manutenção de pontes de madeira, as quais desempenham importante papel em todo o território Nacional.

1.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E PRINCIPAIS CONCEITOS

A Portaria nº 001, de 26 de setembro de 2011, do Departamento de Engenharia e Construção - Aprova as Instruções Reguladoras para o Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército (IR 50 - 20). Assim, suas orientações são um valioso instrumento a ser utilizado em quaisquer atividades que possam gerar algum impacto ambiental.

A seguir, apresentam-se importantes conceitos atinentes às questões ambientais, os quais devem ser de conhecimento de todos.

1.2 CONCEITOS

Acidentes Ambientais - qualquer evento anormal, indesejado e inesperado, com potencial para causar danos diretos ou indiretos à saúde humana e ao meio ambiente.

Controle Ambiental - conjunto de ações voltadas a conservar a qualidade do meio ambiente.

Estudos ambientais - são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentados como subsídios para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

Gestão de resíduos - Corresponde às operações de recolhimento, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos, incluindo o monitoramento dos locais de descarga após o encerramento das respectivas instalações, bem como o planejamento dessas operações.

Impacto Ambiental - qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e, a qualidade dos recursos ambientais.

Meio Ambiente - o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.

Mitigação - em ambiente consiste numa intervenção humana com o intuito de reduzir ou remediar um determinado impacto ambiental negativo.

Monitoramento - coleta, com um propósito determinado, de medições ou observações de variáveis ambientais em uma série espaço-temporal que forneça uma visão resumida ou uma amostra representativa do meio ambiente.

CAPÍTULO II

CLASSIFICAÇÃO TEÓRICA DAS PONTES DE MADEIRA

2. INTRODUÇÃO

Por ser um material bastante versátil, as madeiras permitem que a ponte seja construída apresentando diversas configurações. Sendo assim, podemos classificar as pontes de madeira considerando os seguintes aspectos:

2.1 QUANTO À FORMA

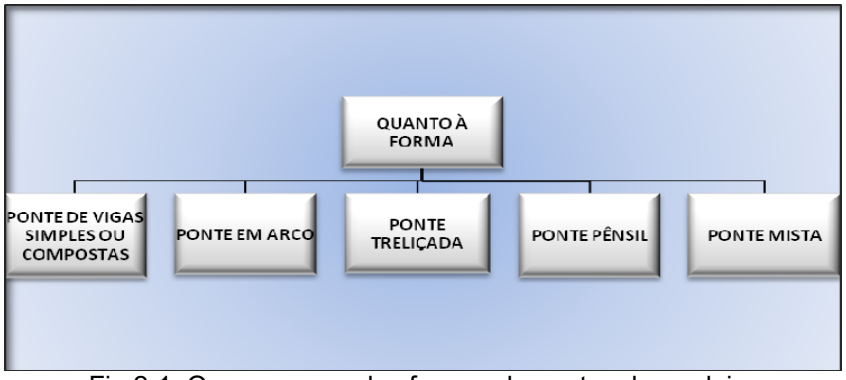


Fig 2-1. Organograma das formas de pontes de madeira

Existem diversas maneiras de realizar o projeto de cada ponte citada acima, sendo a seguir, apresentados apenas alguns esquemas de pontes:

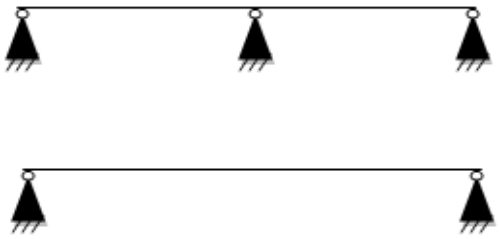


Fig 2. Esquemas de pontes de vigas simples ou compostas

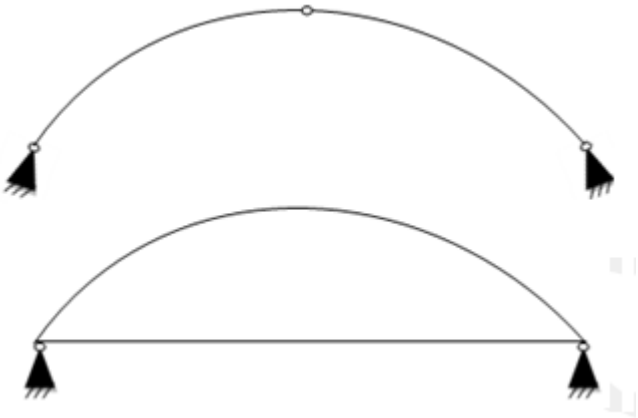


Fig 2-3. Esquemas de pontes em arco

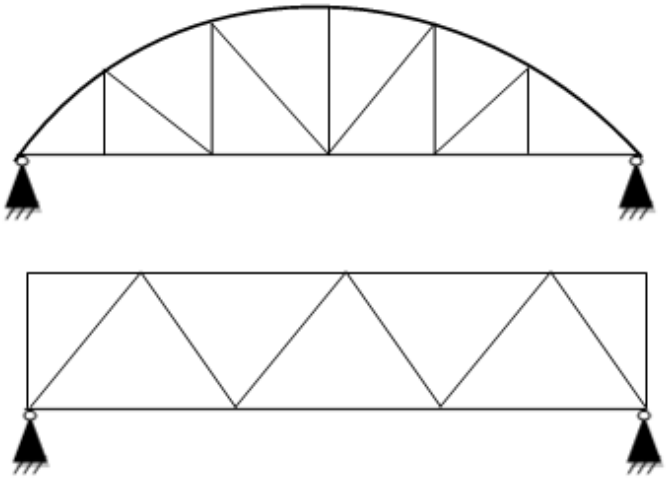


Fig 2-4. Esquemas de pontes treliçadas

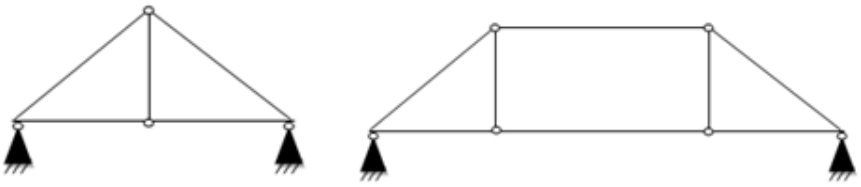


Fig 2-5. Esquemas de pontes pênsil

2.2 QUANTO AO TIPO DE MADEIRA EMPREGADA

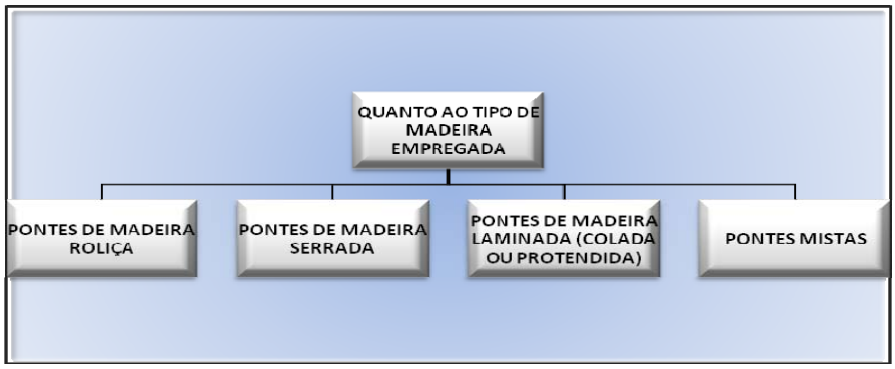


Fig 2-6. Organograma dos tipos de madeiras empregadas

2.3 QUANTO AO TIPO DE FUNDAÇÃO DOS PILARES

Fig 2-7. Organograma dos tipos de fundações empregadas

2.4 QUANTO AO TIPO DE REVESTIMENTO EMPREGADO

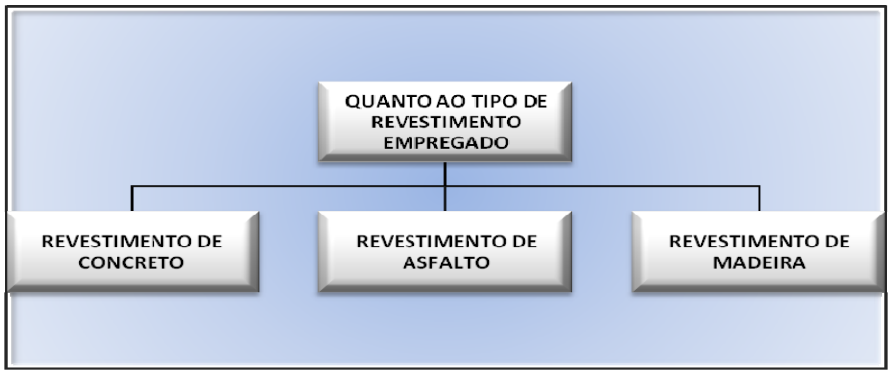


Fig 2-8. Organograma dos tipos de revestimentos empregados

CAPÍTULO III
AS MADEIRAS

3. TIPOS DE MADEIRAS UTILIZADAS NAS PONTES

3.1 INTRODUÇÃO

As madeiras apresentam vantagens interessantes para a utilização em pontes, tais como: recurso natural, baixo custo, possibilidade de renovação das reservas (reflorestamento), elevada resistência mecânica para uma baixa massa específica (densidade), boa elasticidade, baixa condutibilidade térmica, permite fáceis ligações e emendas (flexibilidade na montagem ou substituição de peças da estrutura). Além destas vantagens, a madeira é o material que apresenta maior resistência à compressão em relação a seu peso, equiparável ao concreto de alta resistência, sendo superior a este quanto à flexão e ao cisalhamento.

Em contrapartida, a madeira apresenta as seguintes desvantagens: porosidade, incerta homogeneidade da estrutura, combustibilidade e vulnerabilidade à ação de microorganismos inferiores (apodrecimento) e necessidade de legalização para a utilização.

3.2 FORMAS DE MADEIRAS UTILIZADAS NAS PONTES

Basicamente, podemos dividir as formas de madeira utilizadas em construção de pontes em três tipos: a madeira roliça, a madeira serrada e a madeira laminada ou colada. Os graus de beneficiamento destas madeiras variam conforme as necessidades e disponibilidades, podendo a madeira receber diversos tipos de tratamentos.

3.2.1 MADEIRA ROLIÇA

A madeira roliça é o produto com menor grau de processamento. Consiste da extração da madeira "*in loco*", geralmente utilizando a motosserra. As dimensões desta madeira variam conforme a espécie e idade da árvore utilizada.

Na região centro-sul do país, normalmente, é proveniente de reflorestamentos, principalmente, daqueles realizados com as diversas espécies de eucalipto. Já na

Amazônia, existe grande oferta de madeiras, sendo a região Norte a maior produtora do país, oferecendo grande diversidade de madeiras de elevada resistência mecânica e durabilidade natural.

Fig 3-1. Detalhe de ponte utilizando madeira roliça (eucalipto)

Cabe ressaltar, que as madeiras roliças têm, naturalmente, uma melhor resistência que as madeiras serradas, evidentemente, considerando madeiras similares e de mesmas dimensões, conforme podemos observar na tabela 6.7 deste Caderno de Instrução.

3.2.2 MADEIRA SERRADA

A madeira serrada é produzida em unidades industriais (serrarias), onde as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente roliça em peças retangulares, de menor dimensão.

Este tipo de madeira proporciona maior maneabilidade à construção de uma ponte, sendo seu emprego quase imprescindível para a utilização no piso de repartição e de uso. Em vista disso, quando não houver a disponibilidade desta madeira para a construção dos pisos citados, podemos utilizar a motosserra para fazer o desdobro da madeira roliça, ou seja, transformá-la em madeira serrada.

Essas madeiras comerciais podem ser adquiridas em diferentes dimensões, podendo ser utilizadas para a construção de pontes de madeira em estruturas como: vigas, pilares, pranchões piso de repartição, pranchões para o piso de uso, dentre outras utilidades.

Fig 3-2. Detalhe de ponte utilizando madeira serrada

3.2.3 MADEIRA LAMINADA COLADA OU PROTENDIDA

A madeira laminada colada é constituída basicamente por tábuas de pequena espessura, normalmente entre 1,5 e 3,0 cm, associadas umas às outras por colagem resistente. Essa associação por colagem permite que sejam projetadas pontes com geometrias curvas, o que permite uma maior gama de possibilidades aos projetistas, já que as suas dimensões são “ilimitadas”.

As madeiras protendidas, que consistem em lâminas de madeira serradas dispostas lado-a-lado e comprimidas transversalmente por meio de barras de protensão representam, atualmente, uma evolução na construção das pontes de madeira, uma vez que permitem o surgimento de propriedades de resistência e de elasticidade na direção transversal da ponte, aumentando assim a sua classe se comparada a tabuleiros não protendidos.

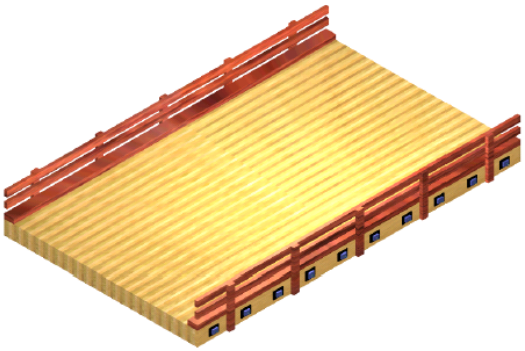


Fig 3-3. Detalhe de seção de ponte utilizando madeira laminada protendida

3.3 CLASSES DAS MADEIRAS UTILIZADAS NAS PONTES

Semelhante ao que ocorre com as pontes, as madeiras também possuem uma classificação baseada em classes. Sendo assim, devemos analisar a classe da madeira que estamos utilizando, verificando se ela é compatível com a classe da ponte que vamos construir. No entanto, isso não significa que para se fazer uma ponte classe 40 necessitamos obrigatoriamente de madeiras C 40, preferencialmente estas madeiras devem ser iguais ou superiores a C40. Exemplificando: o que, via de regra, não é viável é a utilização de uma madeira C20 para a construção de uma ponte classe 60, a não ser que pelo método construtivo a capacidade suporte daquela ponte seja otimizada.

CLASSES	RESISTÊNCIA PARALELA AS FIBRAS (MPA)	DENSIDADE APARENTE (KG / M^3) A 12%	GRUPO
C20	20	500	Coníferas
C25	25	550	
C30	30	600	
C20	20	650	Dicotiledôneas
C30	30	800	
C40	40	950	
C50	50	970	
C60	60	1000	

Tabela 3-1. Classes das madeiras

Basicamente, podemos definir o grupo das coníferas referenciados na tabela anterior, como sendo aquelas árvores em que suas sementes têm a forma de pinha, são os conhecidos pinheiros. Sua resistência é, normalmente, menor que as árvores dicotiledôneas, sendo assim, sua utilização em pontes de madeira é limitada.

Já as árvores do grupo das Dicotiledôneas têm a característica básica de apresentar flores. Estas possuem maior vocação para o emprego em pontes de madeira, sendo suas espécies mais recomendadas para este fim apresentadas em anexo a este Caderno de Instrução.

3.4 A UMIDADE DA MADEIRA UTILIZADA NAS PONTES

O projeto das estruturas de madeira deve levar em consideração a umidade de equilíbrio da madeira em relação ao meio em que está inserida. As classes de umidade têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas. Além disso, estas classes serão também utilizadas para a escolha do mais adequado método de tratamento preservativo, conforme a umidade existente na região em que a estrutura será construída.

CLASSES	UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE (u_{amb})	UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA (u_{eq})
1	≤ 65%	12%
2	65% < U_{amb} ≤ 75%	15%
3	75% < U_{amb} ≤ 85%	18%
4	> 85% durante longos períodos	≥ 25%

Tabela 3-2. Classes das umidades das madeiras

3.5 O TRATAMENTO DA MADEIRA

3.5.1 INTRODUÇÃO

Quando uma árvore é derrubada inicia-se a evaporação da água contida em seus espaços intracelulares, assim, gradualmente, e dependendo da espécie e do meio, ela vai atingindo um estado estável no qual não sofre mais alterações significativas de seu volume e propriedades físicas. No entanto, junto com a evaporação da água inicia-se, também, o processo de deterioração, tanto por **agentes bióticos (vivos) como por agentes abióticos (não vivos)**. Esta deterioração provocará uma diminuição gradativa da resistência e rigidez da madeira, diminuindo a sua durabilidade.

Assim, a fim de retardar ou mesmo impedir a ação dos agentes bióticos e agentes abióticos na madeira, foram desenvolvidos métodos de proteção, os quais serão abordados neste capítulo.

3.5.2 AGENTES QUE CONTRIBUEM PARA A DETERIORAÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA

3.5.2.1 Os Agentes Bióticos

São principalmente os fungos, insetos e furadores marinhos, mas também podemos citar as bactérias. Para a maior parte destes agentes, o seu alimento é

constituído pelo material leitoso existente na madeira. Importante ressaltar que a deterioração da madeira e a conseqüente diminuição de sua vida útil ocorrem se estiverem presentes de forma simultânea três fatores: oxigênio, temperatura adequada e umidade. A estes fatores chamaremos de triângulo da deterioração.

A presença de oxigênio e de umidade são fatores facilmente compreensíveis. Já com relação ao conceito da temperatura adequada expõem-se algumas considerações. A maioria dos organismos prejudiciais à madeira se desenvolve a uma temperatura entre 21 e 30 graus centígrados. Temperaturas inferiores a 21 graus ocasionam um decréscimo gradativo na atuação e proliferação desses organismos. Isto ocorre, também, quando há um aumento desta temperatura, superando os 30 graus. No entanto, existem organismos que mantém uma atuação eficiente até a temperatura de 40 graus.

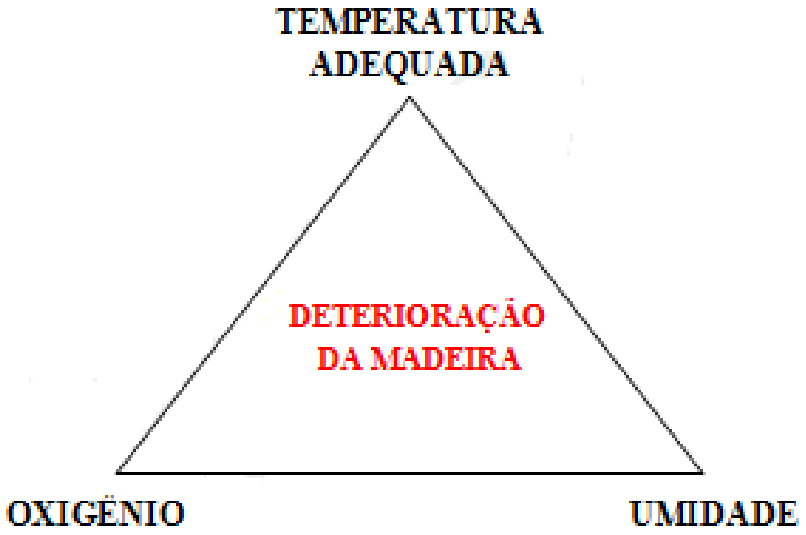


Fig 3-4. triângulo da deterioração da madeira

Observando este triângulo da deterioração podemos entender o porquê da menor deterioração dos pilares de madeira que se encontram totalmente submersos em relação àqueles que estão em presença de oxigênio. Evidentemente, na água também existe oxigênio, porém em quantidades muito inferiores, o que, de certa forma, ajuda a proteger a madeira.

O problema mais comum na deterioração da madeira é o seu apodrecimento. Ele é ocasionado pela proliferação de **fungos** que geram na madeira a perda de resistência, o amolecimento, a desintegração e a sua descoloração. Convém destacar que em ambientes muito secos, onde a média de umidade está abaixo de 20%, a madeira não será atacada por fungos, ou seja, nestes locais a deterioração poderá ser observada por outros agentes, que não os fungos.

A infestação por **insetos** é outro agente biótico de grande importância. Eles utilizam a madeira como fonte de alimentação e abrigo, podendo ser: **cupins, formigas, abelhas**, entre outros. O ataque de um inseto, normalmente, é visível pela presença de túneis ou cavidades na madeira ou pela presença de uma espécie de pó sobre a superfície da mesma.

Os **furadores marinhos** são basicamente moluscos e crustáceos que atuam na madeira localizada em águas salgadas ou salobras. Sua importância para este estudo decresce à medida que, no Brasil, quase a totalidade das pontes de madeira são empregadas em locais de água doce.

Fig 3-5. Exemplo de madeira atacada por agente biótico

3.5.2.2 Os Agentes Abióticos

São compostos principalmente por agentes físicos, químicos e climáticos. Entre estes agentes podemos citar: **a abrasão mecânica**, a luz solar (ultra-violeta), a corrosão (em virtude de conectores metálicos utilizados), a degradação química, as fissuras, danos devido ao fogo, entre outros.

O mais importante deles, provavelmente, é a **abrasão mecânica** que, em uma de suas formas, consiste no desgaste ou degradação da superfície do tabuleiro devido ao tráfego sobre o mesmo. Este desgaste deve ser considerado como inevitável, sendo necessário o planejamento da substituição das peças afetadas por esse agente abiótico.

Um agente indireto, mas que deve ser sempre considerado inimigo da madeira é a **umidade**. Seu acúmulo nas estruturas da ponte proporciona a condição necessária para a proliferação de fungos e consequente apodrecimento da madeira.

Fig 3-6. Detalhe de ponte danificada pelo fogo e pela abrasão mecânica

3.5.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO PARA AS PONTES DE MADEIRA

Os métodos de proteção para as pontes de madeira visam a basicamente: reduzir o acúmulo de água e, em consequência, de umidade nas estruturas da ponte; modificar, mediante produtos preservativos, a estrutura do material lenhoso da madeira, o que a inutiliza como fonte de alimento aos agentes bióticos; acompanhar periodicamente a situação da estrutura da ponte.

Podemos resumir estes métodos conforme o organograma a seguir:

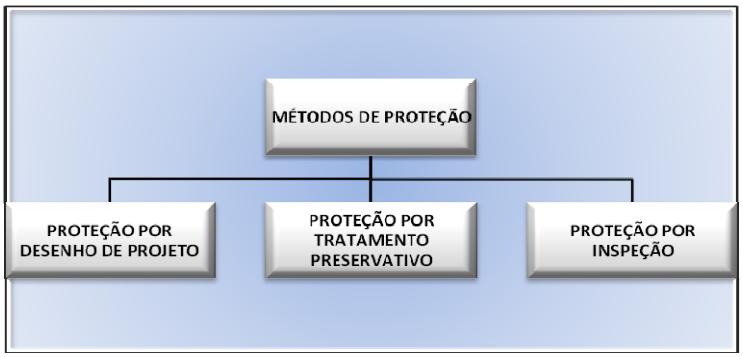


Fig 3-7. Organograma dos métodos de proteção numa ponte de madeira

3.5.3.1 Proteção por Desenho de Projeto

Muitas vezes, os problemas que podem surgir nas estruturas das pontes de madeira são decorrentes de erros no projeto destas pontes. Assim, a proteção por desenho de projeto consiste em diminuir ao máximo a exposição dos elementos da madeira às intempéries como a umidade, chuva, sol, etc.

A primeira e mais antiga medida de proteção por desenho de projeto é a construção de pontes com cobertura (telhado, normalmente coberto por pequenas placas de madeira). Desta maneira, as estruturas das pontes têm uma incrível proteção contra as ações nocivas do tempo. Existem pontes que aplicam esse conceito e que estão em pleno uso há centenas de anos.

Outro exemplo, são as pontes madeira com revestimento asfáltico ou de concreto. Nelas o revestimento deve permitir o escoamento da água para pontos predeterminados. Preferencialmente, as quinas das madeiras expostas às intempéries devem receber uma proteção física como chapas metálicas ou mesmo pequenas placas de madeira.

Outra medida é a de projetar as emendas na madeira, sempre que possível, com um relativo afastamento do solo, para a proteção da estrutura contra a umidade.

As medidas de proteção contra umidade deverão ser tomadas independentemente do tratamento preservativo utilizado, uma vez que, assim, estaremos melhorando ainda mais a resistência da madeira aos organismos nocivos.

Fig 3-8. Exemplo de ponte de madeira com revestimento asfáltico protegida por cobertura

3.5.3.2 Proteção por tratamento preservativo

A proteção por tratamento preservativo consiste em utilizar o mais adequado método preservativo àquela madeira do projeto em questão. Para isso, devemos levar em consideração alguns aspectos: que agentes bióticos ou abióticos incidirão sobre a

madeira; em que ambiente a madeira será utilizada (umidade ambiente); qual a expectativa de durabilidade da madeira; qual o grau de tratabilidade (impregnabilidade) da madeira utilizada; qual a umidade da madeira no momento do tratamento; qual o mais adequado processo de aplicação do produto preservativo; quais os riscos para o meio ambiente da utilização dos produtos preservativos.

Devemos, sempre, seguir o princípio de aplicar o mínimo possível do produto preservativo, ou seja, utilizar somente o necessário para a proteção da madeira evitando, assim, riscos desnecessários tanto a quem maneja os produtos quanto ao meio ambiente.

A fim de melhor escolher o método de tratamento e o produto preservativo a ser utilizado devem ser consultadas as classes de risco para o uso da madeira. Normalmente, as madeiras utilizadas nas pontes se enquadram nas classes 4, 5 e 6. A tabela a seguir, nos fornece a classe de risco, a condição de utilização e o provável organismo prejudicial à madeira.

CLASSE DE RISCO	CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO	ORGANISMOS PREJUDICIAIS
1	Interior de construções, fora do contato com o solo, as fundações ou alvenaria, protegidas das intempéries e das fontes internas de umidade	• Cupins de madeira seca • Brocas de madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, mas sem contato com o solo ou fundações, protegidas das intempéries e das fontes internas de umidade	• Cupins de madeira seca • Brocas de madeira • Cupins subterrâneos/arborícolas
3	Interior de construções, fora do contato com o solo e continuamente protegidas das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade	• Cupins de madeira seca • Brocas de madeira • Cupins subterrâneos/arborícolas • Outros insetos • Fungos
4	Uso exterior, fora do contato com o solo e sujeito a intempéries	
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis a deterioração, como engaste em concreto e alvenaria	
6	Exposição a água salgada ou salobra	• Perfuradores marinhos • Fungos

Tabela 3-3. Classes de risco para as madeiras

De posse da classe de risco obtida na tabela anterior, pode-se escolher o mais adequado método de tratamento, produto preservativo e quantidade de retenção mínima do produto preservativo. Como, normalmente, as pontes de madeira estão enquadradas nas classes de risco de 4 a 6, a tabela, a seguir, nos fornece os dados referentes a estas classes.

CLASSE DE RISCO	EMPREGO	MÉTODO DE TRATAMENTO	PRESERVATIVO	RETENÇÃO MÍNIMA (KG/M^3)	PENETRAÇÃO
4	Madeira serrada, roliça ou laminada	sob pressão	CCA-C	4,0 ou 6,5[(a)]	100 % do alburno e porção permeável do cerne
			CCB	4,0 ou 6,5[(a)]	
			Óleo Creosoto	96	
5	Madeira serrada, roliça, laminada ou painel		CCA-C	6,5 ou 9,6 [(a)] ou 12,8[(b)]	
			CCB	6,5 ou 9,6 [(a)] ou 12,8[(b)]	

	compensado		Óleo Creosoto	96 ou 130[(a)] ou 192 [(b)]	
6	Madeira serrada, roliça ou painel compensado	sob pressão	CCA-C	40	
			Óleo Creosoto	400	
		sob pressão Duplo tratamento	CCA-C	24	
			Óleo Creosoto	320	

Tabela 3-4. Tabela para o tratamento da madeira utilizada em pontes

(a) Componentes estruturais de difícil manutenção, reparo ou substituição e critico para o desempenho e segurança do sistema construtivo.

(b) Componentes estruturais críticos como pilares enterrados no solo ou em contato permanente com umidade. Madeiras utilizadas em ambientes que possuem alta incidência de insetos e que facilitem a proliferação de fungos.

3.5.4 PRODUTOS PRESERVATIVOS

O produto preservativo a ser utilizado para a proteção da madeira da ponte deve atender às seguintes propriedades: eficiência contra organismos nocivos; baixa toxidade para o aplicador e meio ambiente; não corrosivo; de custo acessível; disponível no mercado; não deve alterar as propriedades da madeira; ser de boa tratabilidade para a madeira.

Existem vários produtos disponíveis, sendo que os quatro preservativos de ação prolongada responsáveis por cerca de 80% da madeira tratada no mundo são: o creosoto (derivado do petróleo e talvez o mais utilizado); o pentaclorofenol; o CCA (Cromo - Cobre - Arsênio); e o CCB (Cromo - Cobre - Boro).

Normalmente, estes produtos têm ação fungicida e contra insetos e são apresentados em forma líquida ou sólida dependendo do método de tratamento a ser empregado para a sua aplicação. Eles atuam reagindo com a celulose e a seiva das madeiras e, de certa forma, as contaminando, ou seja, as tornando impróprias para o consumo por parte dos agentes nocivos da madeira.

Existem também os preservativos de ação temporária, os hidrossolúveis, que são os fungicidas e inseticidas. Eles são mais comumente utilizados em plantações a fim de controle de pragas diversas.

Devemos ter cuidado especial com o manejo de todos estes produtos, uma vez que, via de regra, são nocivos ao homem e ao meio ambiente. Além disso, muitos deles mancham a madeira ou impedem a fixação de tintas na mesma, o que pode trazer um possível inconveniente para a estética do projeto.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) é o órgão responsável pela catalogação e autorização dos produtos preservativos para a madeira. Assim, torna-se importante uma consulta a este órgão, a fim de se verificar quais os produtos preservativos disponíveis são os mais viáveis ao projeto da ponte.

3.5.5 MÉTODOS DE TRATAMENTOS

A seleção do método de tratamento é tão importante quanto à escolha do produto preservativo. Basicamente, existem dois métodos de tratamento: sob pressão e sem pressão.

Observando a tabela 3.4 (tabela para o tratamento da madeira utilizada em pontes), o melhor método de tratamento para as madeiras utilizadas nas pontes é o sob

pressão, isto porque sua utilização proporciona uma proteção profunda à madeira. No entanto, como alternativa, pode-se utilizar o tratamento sem pressão uma vez que é preferível utilizá-lo a deixar a madeira sem proteção alguma.

O tratamento sob pressão se caracteriza por utilizar a pressão externa para forçar a penetração do preservativo na madeira. Ele é possível mediante o emprego de fornos de autoclave disponíveis em usinas de preservação de madeiras.

Fig 3-9. Exemplo de madeira sendo tratada em autoclave (o antes e o depois)

Já o tratamento sem pressão é todo aquele que não utiliza este recurso para a penetração do preservativo na madeira. Este tratamento pode ser por aspersão, por imersão ou por pincelamento, todos estes conferem à madeira apenas uma proteção superficial.

Estes tratamentos, de custos mais reduzidos se comparados ao sob pressão, podem ser aplicados na madeira tanto antes da construção da ponte quanto depois, periodicamente, como forma de prevenção contra os agentes nocivos. No entanto, terá pouca eficiência caso a madeira a ser tratada já estiver sido atacada internamente.

3.5.5.1 Outras considerações relativas à proteção por tratamento preservativo

Antes de realizar o tratamento preservativo a madeira deve estar o mais seca possível, preferencialmente, com a umidade adequada ao ambiente exterior conforme a tabela 3.2 (classes das umidades das madeiras). Isto porque, quanto mais seca estiver a madeira, melhor ela absorverá e reterá o produto preservativo.

Existem espécies naturalmente mais resistentes que outras e espécies que aceitam mais o tratamento (impregnabilidade). Assim, em ambientes de alta agressividade biológica, a madeira deve possuir boa tratabilidade, a fim de garantir uma retenção e penetração adequada dos produtos preservativos.

Muitas pessoas, de forma equivocada, creditam à madeira uma pequena durabilidade e, por isso, acabam optando por utilizar outro material construtivo. Entretanto, ela é um material bastante durável quando submetida a um correto tratamento preservativo, ficando efetivamente protegida por décadas. No entanto, recomenda-se uma reaplicação do produto preservativo nas pontes anualmente.

O óleo queimado poderá ser utilizado para conferir à madeira um tratamento superficial. Este produto, facilmente encontrado em todas as OM de Engenharia, deve ser aplicado na madeira seca pelo método do pincelamento. Após a aplicação, a madeira

deve ser envolta em lona plástica a fim de evitar a evaporação precoce do produto preservativo e para que haja uma melhor absorção do mesmo. Após a construção da ponte, podemos voltar a aplicar o óleo queimado em todas as partes da mesma, exceto no piso de uso. Ressalta-se que este produto preservativo é apenas uma alternativa quando não se possui os especificados anteriormente, os quais são bem mais eficientes para um tratamento superficial.

Fig 3-10. Detalhe da aplicação por pincelamento de um tratamento superficial à madeira.

Caso o tratamento seja feito pela OM de Engenharia devem ser considerados aspectos relativos à segurança de manipulação de material químico, que pode causar maiores danos a saúde dos operantes, bem como contaminação de solo e água, se for manipulado de forma indiscriminada.

A aplicação de produtos químicos para o tratamento da madeira deve ser realizada em observância a legislação que apresenta normas de segurança do trabalho e uso de equipamentos de proteção individual para as referidas atividades.

Ressalta-se que o mercado possui uma grande quantidade de madeira já tratada que podem ser destinadas para a construção de pontes e, portanto devem ser consideradas como uma opção na tomada de decisão.

3.5.5.2 Proteção por inspeção

A proteção por inspeção corresponde a vistorias que são realizadas tempos depois de terminada a construção da ponte. Ela tem a finalidade de evitar que pequenos problemas encontrados se transformem em danos estruturais mais sérios. Para isso, anualmente, as pontes de madeira devem ser vistoriadas e, em intervalos de cinco anos, esta vistoria deve ser realizada de maneira mais detalhada.

Nestas oportunidades, deve-se realizar a manutenção e pequenos reparos na ponte, tais como: remoção de sujeiras para evitar o acúmulo de umidade, limpeza e desobstrução de possíveis canaletas e drenos de água, aplicação de tintas protetoras, troca de peças metálicas danificadas, aplicação de fungicidas e inseticidas, se for o caso, etc.

Essas inspeções devem procurar na madeira sinais que possam indicar se a mesma está sendo atacada pelo seu maior inimigo, o apodrecimento, causado, principalmente, pelos fungos e pelos insetos. Se existem manchas ou descoloração, crescimento de musgos ou plantas, presença de minúsculos túneis ou cavidades na madeira, presença de uma espécie de pó sobre a superfície da madeira, todos estes são sinais de que a madeira pode estar sendo sujeita ao apodrecimento.

CAPÍTULO IV

OS COMPONENTES DAS PONTES DE MADEIRA

4. A INFRAESTRUTURA

4.1 INTRODUÇÃO

Basicamente, podemos dividir uma ponte de madeira em duas partes principais: A INFRAESTRUTURA e a SUPERESTRUTURA. A seguir, serão apresentados os itens pertencentes a cada componente.

4.2 OS COMPONENTES DA INFRAESTRUTURA

Os componentes da infraestrutura, que têm a finalidade de receber as cargas da superestrutura e as cargas móveis e as transmitir para o solo, são: sapata, soleira, pilar, contraventamento diagonal, chapéu, batente e dormente.

Estes componentes estão presentes parcial ou totalmente nos encontros (extremidades da ponte) e nos suportes fixos intermediários (ou cavaletes), conforme se observa a seguir:

4.2.1 AS SAPATAS

Nos encontros, as sapatas devem ser utilizadas quando a superfície de apoio do dormente não é suficiente para a distribuição ao solo da carga total que ele recebe, isto ocorre quando o terreno oferece pequena resistência.

Nos suportes fixos intermediários (ou cavaletes), as sapatas cumprem a mesma função, melhor distribuindo o peso aplicado à soleira.

Ainda existem algumas pontes que possuem a sapata de madeira, no entanto, este componente está caindo em desuso, devido à melhor eficiência das sapatas de concreto, as quais têm sido largamente empregadas.

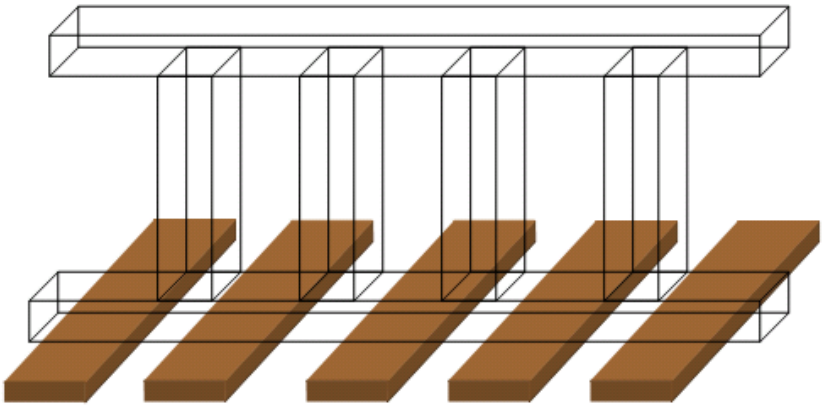


Fig 4-1. Sapatas em destaque

Fig 4-2. Exemplo de ponte com sapatas de concreto

4.2.2 A SOLEIRA

A soleira deve ser utilizada nos suportes fixos intermediários onde as estacas não são cravadas e não se utiliza sapatas de concreto. Suas dimensões devem ser, no mínimo, as mesmas do chapéu. Assim como as sapatas de madeira, cada vez menos se utiliza este componente, o qual se torna dispensável em sapatas de concreto.

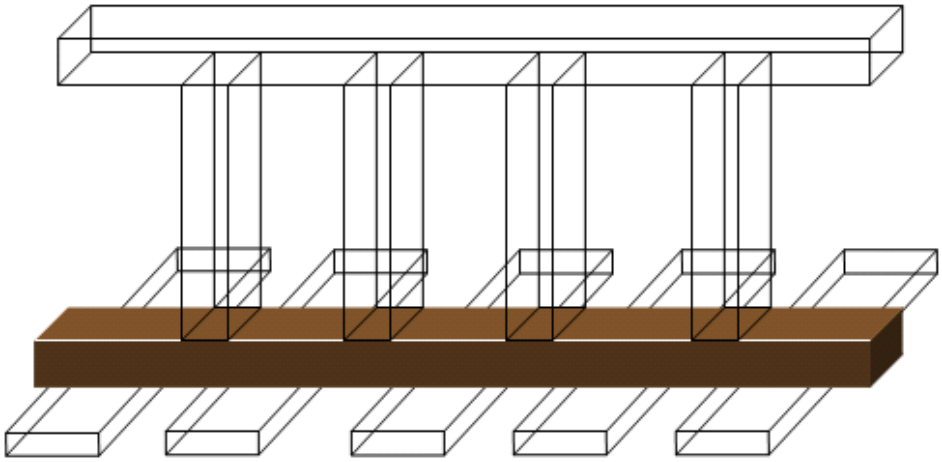


Fig 4-3. Soleira em destaque

4.2.3 OS PILARES

São peças verticais colocadas entre o chapéu e a soleira ou entre o chapéu e o solo (pilar cravado com bate-estaca) ou entre o chapéu e a sapata de concreto.

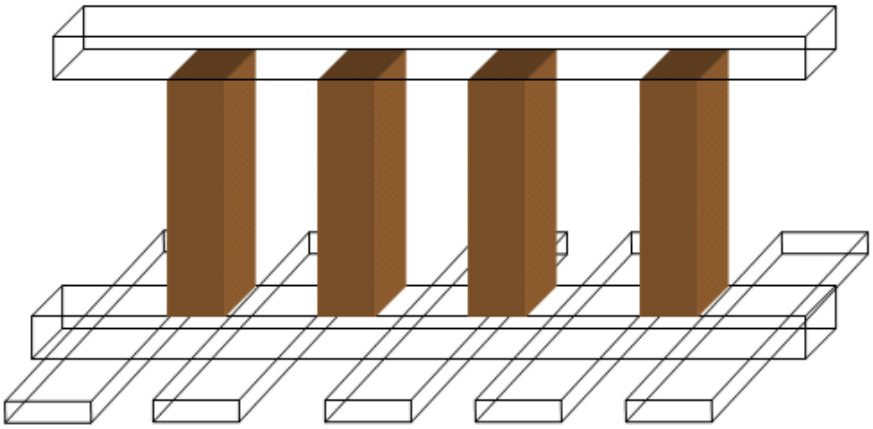


Fig 4-4. Pilares em destaque

4.2.4 O CONTRAVENTAMENTO DIAGONAL

São pranchões de madeira dispostos na diagonal dos pilares e cruzados, um de cada lado da estrutura. Têm a função de estabilização do conjunto devendo ser sempre empregados em cavaletes com mais de 1,20 metros de altura.

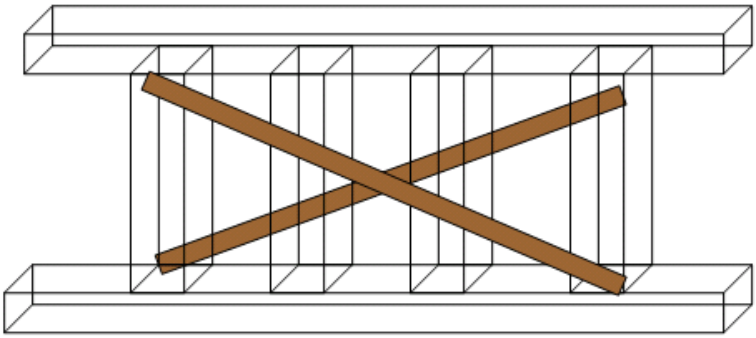


Fig 4-5. Contraventamento diagonal em destaque

4.2.5 O CHAPÉU (BERÇO OU TRAVESSEIRO)

É a peça disposta sobre os pilares e na direção transversal ao eixo da ponte e tem a finalidade de receber as vigas da superestrutura.

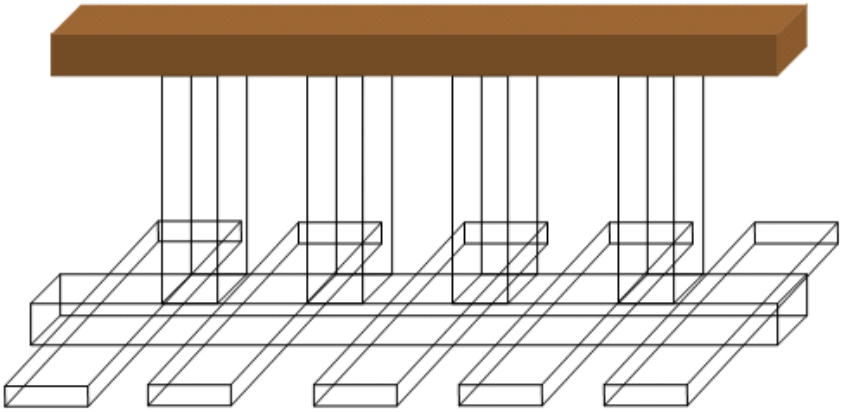


Fig 4-6. Chapéu em destaque

4.2.6 OS APOIOS DO CHAPÉU

Em caso de cavaletes duplos (como representado pela figura abaixo), tornam-se necessários apoios para o chapéu, uma vez que o mesmo será disposto sobre estes apoios e na direção transversal ao eixo da ponte.

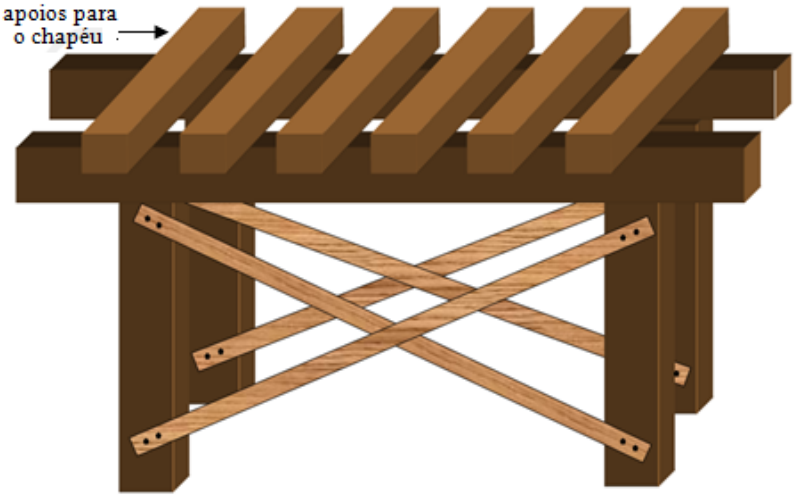


Fig 4-7. Os apoios do chapéu

4.2.7 O DORMENTE

É a peça localizada na margem de uma ponte que tem por finalidade receber as vigas das extremidades da estrutura e apoiá-las nos encontros, diretamente no terreno ou sobre sapatas, distribuindo assim as cargas móveis e permanentes. O dormente deve ficar afastado da margem o suficiente para prevenir desmoronamentos.

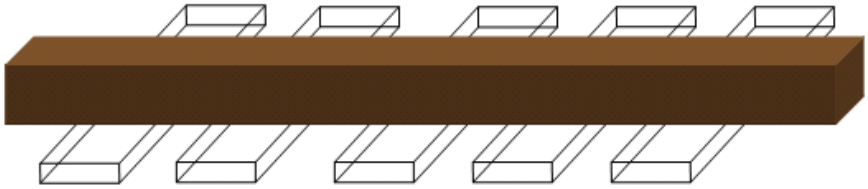


Fig 4-8. Dormente em destaque

4.2.8 O BATENTE

Elemento opcional, normalmente é um pranchão colocado junto e no mesmo sentido do dormente, protegendo-o fisicamente contra uma ação direta.

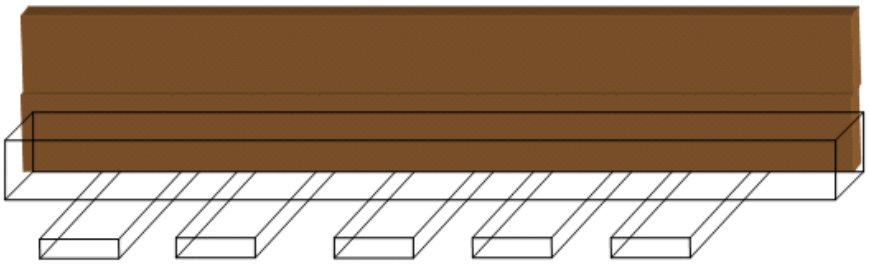


Fig 4-9. Batente em destaque

4.3 OS COMPONENTES DA SUPERESTRUTURA

Os componentes da superestrutura que têm a finalidade de suportar as cargas móveis (viaturas e tropas) e as cargas permanentes (peso próprio) e as transmitir para a infraestrutura são: o balancim, as vigas, o piso de repartição, o piso de uso, o rodapé, o balaustre, a escora e o corrimão.

4.3.1 O BALANCIM (OU SUB-VIGA)

Os balancins são as peças dispostas nos suportes intermediários sobre o chapéu e sob as vigas. Tem a finalidade de unir as vigas topo-a-topo. Normalmente, eles têm a mesma largura e altura das vigas, diferindo apenas em seu comprimento (são bem mais curtas que as vigas).

4.3.2 AS VIGAS (OU LONGARINAS)

As vigas são peças dispostas na mesma direção do eixo da ponte localizadas sobre o chapéu. Normalmente, as vigas das extremidades são colocadas de tal maneira que coincidem com a largura útil do tabuleiro da ponte. Nos suportes intermediários, podemos utilizar os balancins para uní-las topo-a-topo ou dispor as vigas justapostas em suas extremidades o que dispensa o uso do balancim, neste caso as extremidades devem ultrapassar o chapéu em no mínimo 15 cm (Fig 4.12), no entanto, é aconselhável utilizar, sempre que possível, o balancim para realizar a referida união.

Fig 4-10. Detalhe da fixação das vigas nos balancins

As vigas podem ser simples ou compostas. As vigas simples são aquelas constituídas por uma única peça de madeira, enquanto as vigas compostas apresentam a união de duas ou mais peças mediante a utilização de pinos ou outros meios de ligação.

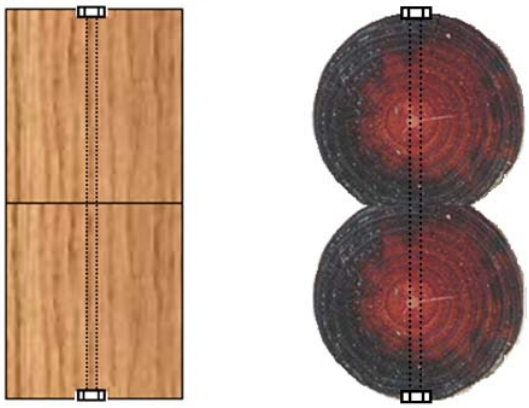


Fig 4-11. Detalhe de vigas compostas de peças serradas e roliças respectivamente

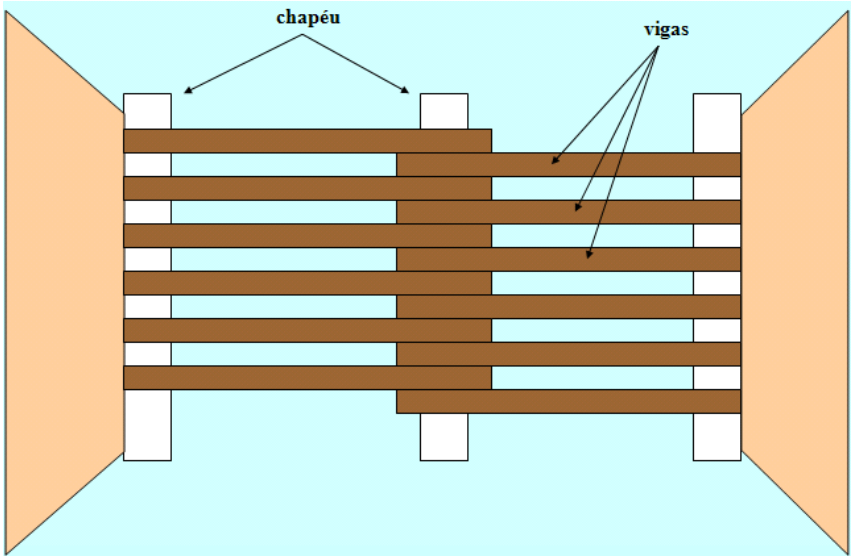


Fig 4-12. Detalhe da disposição das vigas intercaladas que dispensa o uso do balancim (vista superior)

4.3.3 O PISO DE REPARTIÇÃO (OU TABULEIRO)

O piso de repartição é composto por pranchões dispostos transversalmente ao eixo da ponte. Tem a função de distribuir as cargas móveis às vigas.

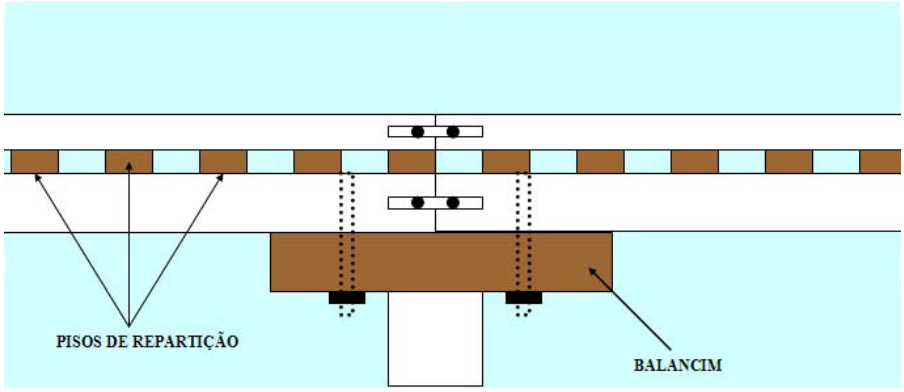


Fig 4-13. Em destaque o balancim e os pisos de repartição (vista lateral)

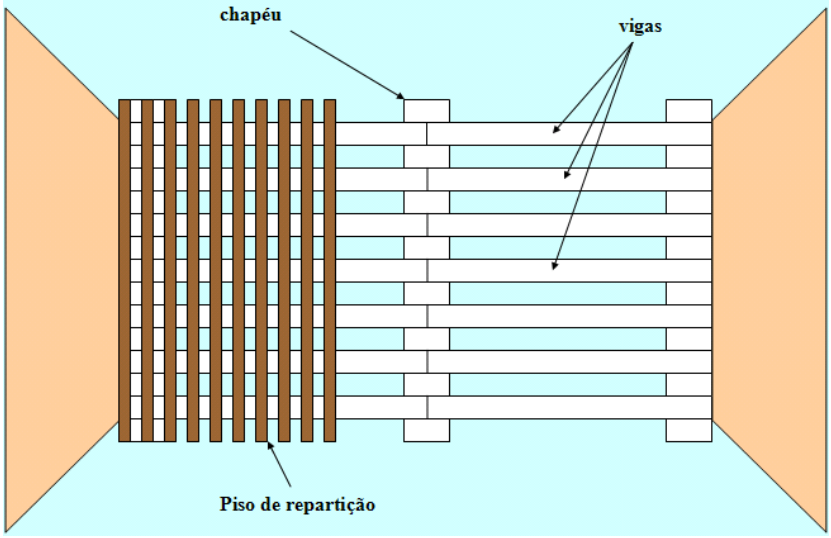


Fig 4-14. Em destaque o piso de repartição (vista superior)

4.3.4 O PISO DE USO (OU RODEIRO)

O piso de uso é composto por pranchões dispostos na mesma direção do eixo da ponte. Ele recebe diretamente o pneu ou lagarta da viatura transmitindo as cargas móveis ao piso de repartição.

Fig 4-15. Detalhe da fixação do piso de uso

4.3.5 O RODAPÉ (OU GUARDA-RODAS)

O rodapé é composto por peças que se unem topo-a-topo na mesma direção do eixo da ponte e tem a finalidade de limitar a largura da ponte trazendo mais segurança à mesma. A distância compreendida entre a parte interna dos rodapés recebe a denominação de largura útil da ponte. Ele pode ser fixado às vigas da ponte ou mesmo aos próprios pisos de repartição.

Fig 4-16. Detalhe dos rodapés da ponte (em amarelo)

4.3.6 O BALAÚSTRE, A ESCORA E O CORRIMÃO

Estes componentes são opcionais a uma ponte de madeira, devendo ser construídos, principalmente, quando se tratar de pontes localizadas em áreas urbanas. Servem para dar uma segurança adicional (passagem de pedestres) ou balizar melhor as extremidades da ponte (passagem de viaturas). O corrimão também é conhecido por defensa.

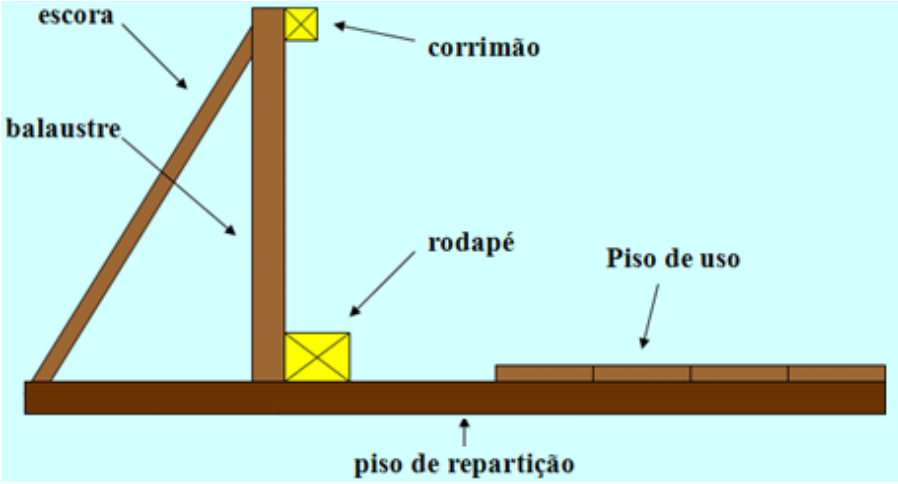


Fig 4-17. Detalhe do balaustre, da escora e do corrimão (corte longitudinal)

CAPÍTULO V

OS ENCONTROS PARA AS PONTES DE MADEIRA

5. TIPOS DE ENCONTROS

Para a construção de uma ponte de madeira, tão fundamental quanto a escolha do tipo de ponte, é também a escolha de um ENCONTRO adequado para suportar as cargas e evitar a erosão no aterro do acesso à ponte. Os encontros, também denominados de FUNDAÇÕES, estão localizados nas extremidades da ponte, recebendo as cargas da mesma e as distribuindo ao solo. Podem ser construídos de diversas formas a fim de suportar variadas cargas.

Podemos observar que boa parte dos problemas que surgem em uma ponte estão relacionados ao seu encontro. Sendo assim, não devemos negligenciar este importante componente, o qual será apresentado em um capítulo em separado devido a sua grande relevância.

Conforme o tipo de terreno existente deve ser planejado o ENCONTRO que melhor suporte às necessidades do mesmo. Além disso, obrigatoriamente, nesse ENCONTRO, devem ser realizadas obras para a contenção de seu aterro de acesso.

Fig 5-1. Detalhe de encontro de ponte danificado

5.1 CARACTERÍSTICAS DOS ENCONTROS

Nas pontes de madeira os encontros mais utilizados são: estacas com contenção em pranchas de madeira; estacas com contenção mista de gabiões e madeira; estacas com contenção de vigas de madeira; muro de contenção de gabiões; muro de contenção de alvenaria; estacas com contenção em crib wall; muro de contenção em concreto; muro de contenção de concreto sobre estacas.

5.1.1 ESTACAS COM CONTENÇÃO EM PRANCHAS DE MADEIRA

Este é o encontro mais simples e deve ser utilizado em pequenas pontes que possuam baixa intensidade de tráfego. Consiste em fixar os pranchões de madeira nos próprios pilares de 1ª margem e, em moirões colocados na diagonal destes pilares, de maneira que o aterro fique todo apoiado nestes pranchões em uma espécie de caixote. Toda a madeira utilizada deve ser tratada e o encontro deve ser construído de tal maneira que permita a retirada posterior do aterro e de suas peças de madeira para a manutenção.

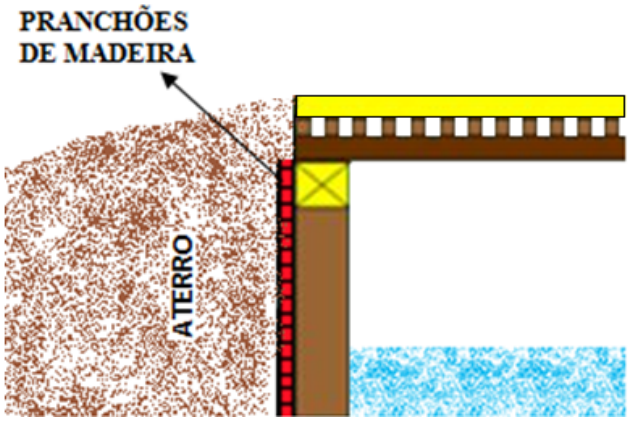


Fig 5-2. Encontro com contenção em pranchas de madeira

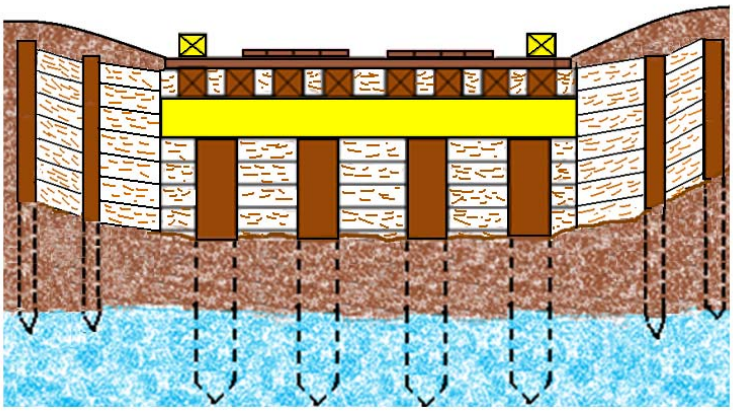


Fig 5-3. Encontro com contenção de pranchões de madeira (caixote)

5.1.2 ESTACAS COM CONTENÇÃO MISTA DE GABIÕES E MADEIRA

Este tipo de encontro é muito semelhante ao anterior, com a vantagem de diminuir a pressão horizontal do volume do aterro sobre os pranchões de madeira, isto devido à colocação de um muro de gabião, o qual se posiciona entre o aterro e os pranchões de madeira. Outra vantagem é o de permitir a manutenção da ponte sem a destruição do aterro de acesso. Este tipo de encontro, também, é indicado para pequenas pontes, com baixa intensidade de tráfego e a madeira utilizada também deve possuir tratamento preservativo.

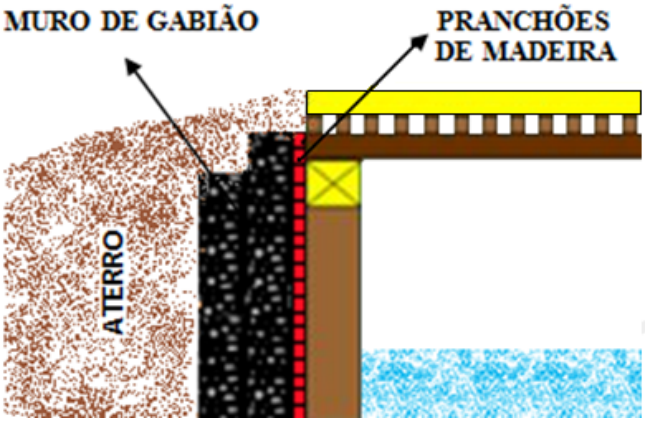


Fig 5-4. Encontro com contenção mista gabiões e madeira

5.1.3 ESTACAS COM CONTENÇÃO DE VIGAS DE MADEIRA

Neste encontro, as peças de madeira suportam a pressão horizontal do volume do aterro. Também deve ser construída uma caixa para a melhor contenção do aterro e as madeiras devem receber tratamento preservativo contra agentes biológicos.

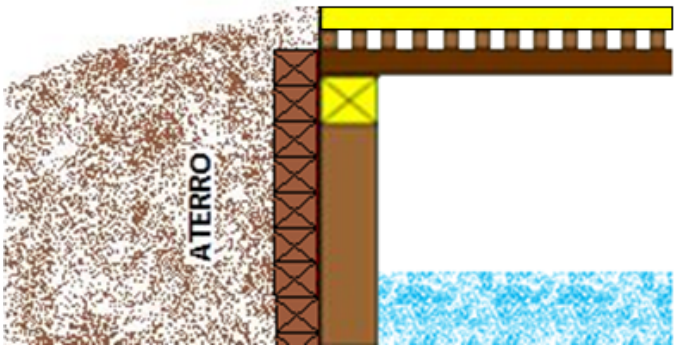


Fig 5-5. Encontro com contenção de vigas de madeira

5.1.4 MURO DE CONTENÇÃO DE GABIÕES

O muro de gabiões é bastante eficiente por se moldar às características de cada terreno. Além disso, possui uma confecção simples baseada em gaiolas aramadas e pedras de mão que são colocadas dentro dessas gaiolas. Ele tem a finalidade de suportar, por seu próprio peso, a pressão horizontal do volume do aterro. O muro de gabiões é muito comum em contenção de encostas em diversos tipos de obras realizadas em estradas. Acima dos gabiões, e a fim de receber as vigas da ponte, é construído um

chapéu (travesseiro) de concreto. Este tipo de muro é indicado para pontes de média capacidade de carga.

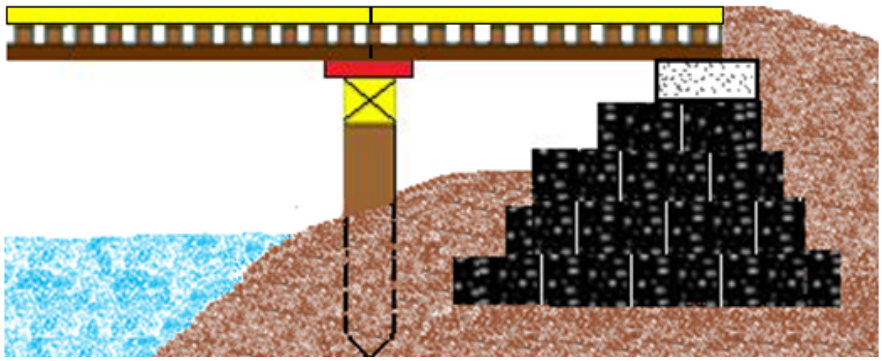


Fig 5-6. Encontro de muro de contenção de gabiões

5.1.5 ESTACAS COM CONTENÇÃO EM CRIB-WALL (PAREDE DE ENGRADADOS)

Neste Encontro, o talude é contido por um muro de pedras ou gabiões sendo que o chapéu da margem da ponte se apóia em pilares de madeira cravados no solo.

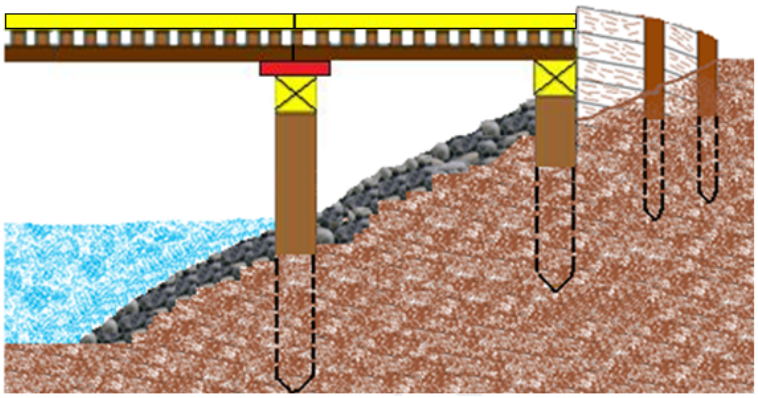


Fig 5-7. Encontro com muro de contenção em crib-wall

5.1.6 MURO DE CONTENÇÃO DE ALVENARIA

Neste tipo de Encontro, a ponte de madeira é apoiada diretamente sobre o muro de contenção de alvenaria. Podem ser utilizados tijolos ou pedras, sendo este tipo de Encontro indicado para pontes de pequena capacidade de carga em um terreno de boa capacidade de carga e com pequena altura a ser arrimada.

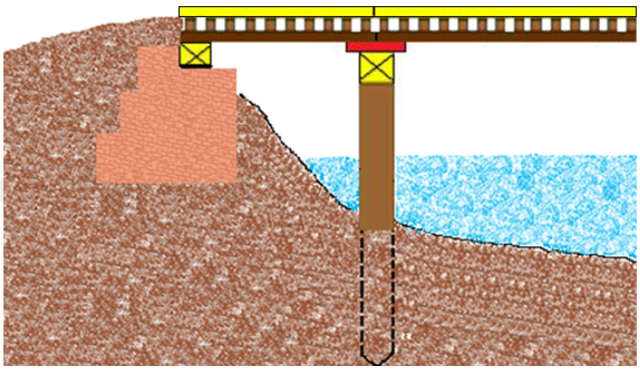


Fig 5-8. Encontro com muro de contenção de alvenaria

5.1.7 MURO DE CONTENÇÃO EM CONCRETO

Este tipo de Encontro pode ser construído de concreto simples ou outros tipos como o ciclópico (utilizando pedras de mão). São estruturas que visam a deter, por sua grande massa, a pressão horizontal do volume do aterro e são indicados quando se dispõe de espaço pra se acomodar a sua seção transversal, sendo que sua largura deve possuir no máximo 40 % da altura do encontro. Este Encontro é indicado para pontes com média capacidade de carga e em terrenos de boa capacidade de carga.

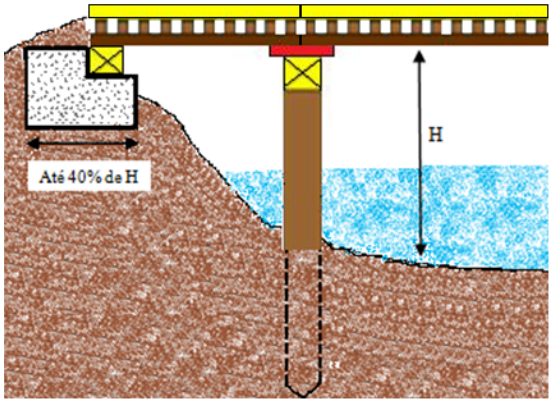


Fig 5-9. Encontro com muro de contenção em concreto

5.1.8 MURO DE CONTENÇÃO DE CONCRETO SOBRE ESTACAS

Este tipo de Encontro deve ser utilizado em pontes de madeira de elevada capacidade, com tráfego intenso ou em terrenos que ofereçam pouca resistência. A ponte de madeira é fixada diretamente sobre a estrutura de concreto. Como nos itens anteriores.

Fig 5-10. Encontro com muro de contenção de concreto sobre estacas

CAPÍTULO VI

A CONSTRUÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA

6. A CONSTRUÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA

Podemos dividir a construção das pontes de madeira em quatro fases: o **RECONHECIMENTO, o DIMENSIONAMENTO e a EXECUÇÃO DO PROJETO.**

Neste capítulo, serão abordados, em artigos em separado, cada um dos itens acima citados, a fim de proporcionar uma clara compreensão da dimensão desta **OPERAÇÃO MILITAR.**

6.1 O RECONHECIMENTO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA PONTE DE MADEIRA

Em qualquer missão de construção de uma ponte de madeira, devemos realizar, inicialmente, um reconhecimento detalhado do local, buscando todas as informações existentes e/ou necessárias, a fim de evitar surpresas durante a execução dos trabalhos.

6.1.1 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS

6.1.2.1 As Informações Técnicas Pré-Existentes

Estas informações podem ser conseguidas por meio de relatórios anteriores, cartas da região, fotografias aéreas, imagens de satélite, documentos civis.

Outra informação bastante interessante são os dados passados por moradores da própria região. Estes dados são valiosos, principalmente, para se ter uma noção do regime da cheia do curso d`água, o que vai influenciar no dimensionamento da altura dos pilares e tabuleiro da ponte, entre outras estruturas.

6.1.2.2 A Profundidade do Curso D`Água e a Velocidade da Correnteza

Seu conhecimento é fundamental para determinarmos o tipo de suporte intermediário necessário, a altura dos pilares da ponte, a possibilidade de utilização de vaus existentes para facilitar a construção da ponte, a viabilidade de construção da ponte branca ou auxiliar.

6.1.2.3 A Natureza do Leito do Curso D`Água

O melhor método, porém nem sempre disponível às unidades de Engenharia, para verificar a natureza do fundo do rio é a sondagem. No entanto, um militar experiente poderá determinar de maneira geral se o leito do rio é arenoso, argiloso, rochoso, etc. Esta informação é básica para a determinação do tipo de suporte intermediário a ser utilizado (suporte com sapatas de concreto, com sapatas de madeira, suporte com estacas cravadas).

6.1.2.4 A Largura do Curso D`Água

Essa medição será utilizada para determinarmos a quantidade de material necessário à construção da ponte e estimarmos o tempo desta construção.

6.1.2.5 A Natureza e Situação das Margens

A margem é o local que receberá os encontros da ponte. Assim, devemos atentar, cuidadosamente, para que tenhamos uma margem capaz de suportar o esforço a ela aplicado pelas cargas móveis e permanentes de uma ponte. Se sua capacidade não for adequada (normalmente terrenos pantanosos) teremos que reforçá-la ou buscar um outro local para a ponte.

6.1.2.6 A Existência de Recursos Locais

Este item é de grande importância no planejamento dos trabalhos. Devemos dar preferência a um local que tenha, nas suas proximidades, matas com árvores disponíveis e adequadas ao uso em pontes de madeira. O comércio local e equipamentos de engenharia existentes na região, também deverão ser considerados, uma vez que, dependendo da situação tática, estes meios poderão ser úteis. Além disso, o emprego dos recursos locais permitirá reduzir a manobra logística de apoio à missão.

Convém destacar que devemos evitar sempre a construção da ponte em uma curva do rio, pois isso irá facilitar a erosão dos encontros. Evitar, também, a 1ª e 2ª margens com dimensões reduzidas o que vai dificultar o posicionamento e manuseio dos equipamentos e materiais necessários à construção.

Fig 6-1. Exemplos de locais a serem reconhecidos para construção de pontes de madeira

6.2 O DIMENSIONAMENTO DAS PONTES DE MADEIRA

Antes de iniciarmos a construção de uma ponte de madeira devemos dimensioná-la de modo a suportar as cargas desejadas. Este dimensionamento se divide em 2 partes: DIMENSIONAMENTO DA SUPERESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA.

Cabe ressaltar que dimensionar uma ponte não é o mesmo que classificá-la.

Dimensionamos algo que vai ser construído e classificamos a ponte que já está lançada no terreno.

6.2.1 DIMENSIONAMENTO DA SUPERESTRUTURA

Iniciamos os cálculos pela superestrutura, isto porque a infraestrutura deve ser projetada para suportar as cargas da superestrutura (cargas permanentes) e as cargas móveis.

Um fator determinante para o dimensionamento da ponte é a natureza da tropa que estaremos proporcionando a mobilidade. Devemos ter completo domínio das classes e dimensões das viaturas que passarão pela ponte considerando, para efeito de cálculos, as viaturas de maior classe (a relação das classes das principais viaturas empregadas pelo EB está contida em anexo a este manual).

Neste momento, os dados necessários para iniciarmos os cálculos já terão sido colhidos: **a classe desejada para a ponte, o vão livre e a largura útil da ponte**. Com estes dados iniciamos a sequência de cálculos que nos levará às dimensões da superestrutura.

A seguir serão apresentados: a sequência de cálculos para o dimensionamento da superestrutura e exemplos de dimensionamento de superestrutura.

TODAS AS ABREVIATURAS NECESSÁRIAS AOS CÁLCULOS APRESENTADOS NESTE CADERNO DE INSTRUÇÃO ESTÃO REUNIDAS NO ANEXO A.

6.2.1.1 Sequência de Cálculos para o Dimensionamento da Superestrutura

Veremos agora a sequência de cálculos necessários para o dimensionamento da superestrutura, sendo conhecidos: **a classe desejada para a ponte (Cl), o vão livre (V), a largura útil da ponte (Lu) e o número de faixas de tráfego.**

O objetivo final destes cálculos é o de determinarmos **o número de vigas necessárias e suas dimensões, assim como a espessura do piso de repartição**. Para isso, os cálculos apresentados a seguir têm o objetivo de nos levar a dois valores o **MOMENTO FLETOR TOTAL, POR VIGA (m) E AO ESFORÇO CORTANTE TOTAL, POR VIGA (q).** Com esses valores, mais o valor do vão livre (V), podemos encontrar as dimensões da SUPERESTRUTRURA da ponte.

	Calcular	Procedimentos	Observações
1º	Número de vigas (N)	Com o valor de LU calcula-se: $N = \frac{Lu}{1,829} + 1$	N deve ser no mínimo = 4 Usar N em números inteiros aproximando para mais. O valor de N pode ser calculado pelo 1º passo ou, se queremos um número determinado de vigas, podemos estimar um maior valor para N e, assim, prosseguir nos cálculos.
2º	Espaçamento centro a centro entre as vigas (S)	$S = \frac{Lu}{N - 1}$	
3º	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido (N1)	$N1 = \frac{1,524}{S} + 1$	Prosseguir nos cálculos com o menor dos dois valores de N.
4º	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos (N2)	$N2 = \frac{3N}{8}$	
5º	Momento fletor, devido às cargas móveis (Mm)	Com os valores do vão livre (V) e da classe desejada (Cl) entrar no ábaco 1 para determinar o valor de Mm para Vtr sobre rodas, em seguida, entrar no ábaco 2 para determinar o valor de Mm para Vtr sobre lagartas.	Prosseguir nos cálculos com o maior valor de Mm encontrado.
6º	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis (mm)	Com os valores de Mm (o maior dos valores) e N1,2 (o menor dos valores), entrar no ábaco 3 para determinar mm para vigas de madeira. No caso de utilizarmos vigas de aço, calcular mm pela fórmula: $mm = \frac{1,15Mm}{N1,2}$	**Atenção: atentar que no ábaco 1 e 2 o valor obtido de Mm está em 10^3 t x cm e no gráfico 3 está em t x cm ou seja devemos multiplicar por mil para entrar com o valor no gráfico 3.**
7º	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso (G)	Com o valor de V, entrar no ábaco 4 e determinar G.	No ábaco 4, o valor de G será dado para uma Lu = 7,30. Se Lu for ≠ 7,30 devemos multiplicar o G obtido por X/ 7,30, sendo X a Lu desejada.
8º	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte (g)	$g = \frac{G}{N}$	
9º	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente (mg)	$mg = \frac{gV^2}{8}$ O valor de mg também pode ser obtido diretamente pelo ábaco 7	**Atenção: O valor de mg obtido pela fórmula ao lado será dado em tonelada x metro. Devemos multiplicar o resultado por 100 para expressar o valor em tonelada x cm. Com esse valor prosseguir nos cálculos.**
10º	Momento fletor total, por viga (m)	m = mm + mg	
11º	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego (Qm)	Com os valores do vão livre (V) e da classe desejada (Cl) entrar no ábaco 5 para determinar o valor de Qm para Vtr sobre rodas, em seguida, entrar no ábaco 6 para determinar o Qm para Vtr sobre lagartas.	Prosseguir nos cálculos com o maior valor de Qm encontrado.

Tabela 6-1. Sequência de cálculos para dimensionamento da superestrutura

	Calcular	Procedimentos	Observações
12º	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis (qm)	Com os valores de Qm (o maior dos valores) e N1,2 (o menor dos valores), entrar no ábaco 8 para determinar qm para vigas de madeira. No caso de utilizarmos vigas de aço, calcular qm pela fórmula: $qm = \frac{1{,}15Qm}{2}$	Ou qm pode ser obtido pela seguinte fórmula: $qm = \frac{3\ Qm}{16.\ \frac{N1{,}2}{N1{,}2 + 1}}$
13º	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente (qg)	$qg = \frac{g\ V}{2}$	O valor de qg também pode ser obtido pelo ábaco 7.
14º	Esforço cortante total, por viga (q)	q = qm + qg	
15º	Dimensão da viga	Com os valores de V, m e q, escolhe-se uma viga na tabela 6.7 (vigas de madeira) ou na tabela 6.8 (vigas de aço), que tenha os valores Vmax, m e q iguais ou superiores aos valores calculados. Para vigas de aço, após a seleção da viga, determina-se Sc pela tabela 6.8 (vigas de aço) e depois calcula-se: $Nc = \frac{L}{Sc} + 1$	Para vigas de madeira, verificar se há necessidade de contraventamento lateral. Caso não se encontre nenhuma viga que atenda aos 3 valores, aumenta-se o número de vigas e repete-se a sequência de cálculos.
16º	Espessura do piso de repartição	Com os valores de S e Cl, entrar no ábaco 9 para determinar a espessura do piso de repartição	

Tabela 6-1. Sequência de cálculos para dimensionamento da superestrutura (continuação)

6.2.1.2 Exemplos de Cálculos de Dimensionamento da Superestrutura

Exemplo 1. Missão: projetar uma superestrutura de madeira para ponte classe 30, vão de 5,0 metros, largura útil de 4,20 metros e uma faixa de tráfego.

Conforme já estudado neste capítulo, o objetivo final destes cálculos é o de determinarmos **o número de vigas necessárias e suas dimensões, assim como a espessura do piso de repartição**. Assim, devemos encontrar dois valores o **MOMENTO FLETOR TOTAL POR VIGA (m) E O ESFORÇO CORTANTE TOTAL POR VIGA (q).** Com esses valores mais o valor do vão livre (V) podemos encontrar as dimensões da superestrutura da ponte.

	Calcular	Procedimentos
1º	Número de vigas (N)	$N = \frac{4{,}20}{1{,}829} + 1$ » N = 2,296 + 1= 3,296 » N = 4
2º	Espaçamento centro a centro entre as vigas (S)	$S = \frac{4{,}20}{4 - 1}$ » $S = \frac{4{,}20}{3}$ » S = 1,4 metros
3º	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido (N1)	$N1 = \frac{1{,}524}{1{,}4} + 1$ » N1 = 1,112 + 1 » N1 = 2,088
4º	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos (N2)	$N2 = \frac{3 \times 4}{8}$ » $N2 = \frac{12}{8}$ » N2 = 1,5 (o menor N)

Tabela 6-2. Exemplo de cálculo de dimensionamento da superestrutura

	Calcular	Procedimentos
5º	Momento fletor, devido às cargas móveis (Mm)	ábaco 1 » Mm Vtr sobre rodas = 2100 t x cm ábaco 2 » Mm Vtr sobre lagartas = **2600 t x cm (o maior valor de Mm)**
6º	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis (mm)	ábaco 3 » mm = 1800 t x cm
7º	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso (G)	ábaco 4 » G = 1,5 t/m $G = \frac{1,5 \times 4,2}{7,3}$ » G = 0,863 t/m
8º	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte (g)	$g = \frac{0,863}{4} = 0,216$ t/m
9º	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente (mg)	ábaco 7 ou $mg = \frac{0,216 \times (5)^2}{8}$ » mg = 0,675 x **100** = 67,5 t x cm
10º	Momento fletor total, por viga (m)	m = 1800 + 67,5 » **m = 1867,5 t x cm**
11º	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego (Qm)	ábaco 5 » Qm Vtr sobre rodas = 17 t ábaco 6 » **Qm Vtr sobre lagartas = 18 t** **(o maior valor de Qm)**
12º	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis (qm)	ábaco 8 ou $qm = \frac{3 \times Qm}{16 \times \frac{N1,2}{N1,2+1}} = \frac{3 \times 18}{16 \times \frac{1,5}{2,5}}$ » qm = 5,63 t
13º	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente (qg)	$qg = \frac{0,216 \times 5}{2}$ » qg = 0,54 t
14º	Esforço cortante total, por viga (q)	q = 5.63 + 0,54 » q = 6,17 t
Logo **m = 1867,5 t x cm, q = 6,17 t e V = 5 m, assim, ingressamos com estes dados na tabela 6.7 e escolhemos uma viga que atenda a estas necessidades, ou seja, que possua todos os valores superiores a estes encontrados.**		
15º	Dimensão da viga	tabela 6.7 » **possibilidades : 4 vigas de 20 x 60 ou 25 x 55 ou 30 x 50 ou 35 x 45.**
16º	Espessura do piso de repartição (h)	Sendo S = 1,4 metros Ábaco 9 » **espessura= 15 cm**

Tabela 6-2. Exemplo de cálculo de dimensionamento da superestrutura (continuação)

Exemplo 2. Missão: projetar uma superestrutura de madeira para ponte classe 40, vão de 8,0 metros, largura útil de 7,30 metros e duas faixas de tráfego.

	Calcular	Procedimentos
1º	Número de vigas (N)	N=10 (neste exemplo estamos começando os cálculos estimando um valor para N)
2º	Espaçamento centro a centro entre as vigas (S)	$S = \frac{7,30}{10-1}$ » $S = \frac{7,30}{9}$ » S = 0,81 metros
3º	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido (N1)	$N1 = \frac{1,524}{0,81} + 1$ » N1 = 1,88 + 1» **N1 =2,88** **(o menor entre os N1,2)**
4º	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos (N2)	$N2 = \frac{3 \times 10}{8}$ » $N2 = \frac{30}{8}$ » N2 = 3,75
5º	Momento fletor, devido às cargas móveis (Mm)	ábaco 1 » Mm Vtr sobre rodas = 4500 t x cm ábaco 2 » Mm Vtr sobre lagartas = **6000 t x cm (o maior valor de Mm)**
6º	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis (mm)	ábaco 3 » mm = 2000 t x cm
7º	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso (G)	ábaco 4 » G = 1,84 t/m
8º	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte (g)	$g = \frac{1,84}{10} = 0,184$ t/m
9º	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente (mg)	ábaco 7 ou $mg = \frac{0,184 \times (8)^2}{8}$ » mg = 1,472 x **100** = 147,2 t x cm
10º	Momento fletor total, por viga (m)	m = 2000 + 147,2 » **m = 2147,2 t x cm**
11º	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego (Qm)	ábaco 5 » Qm Vtr sobre rodas = 25 t ábaco 6 » **Qm Vtr sobre lagartas = 28 t** **(o maior valor de Qm)**
12º	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis (qm)	ábaco 8 ou $qm = \frac{3 \times 28}{16 \times \frac{2,88}{2,88+1}} = \frac{3 \times 28}{16 \times 0,742}$ » qm = 7,08 t
13º	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente (qg)	$qg = \frac{0,184 \times 8}{2}$ » qg = 0,736 t
14º	Esforço cortante total, por viga (q)	q = 7,08 + 0,736 » **q = 7,816 t**
	Logo **m = 2147,2 t x cm, q = 7,816 t e V = 8 m, assim, ingressamos com estes dados na tabela 6.7 e escolhemos uma viga que atenda a estas necessidades, ou seja, que possua todos os valores superiores a estes encontrados.**	
15º	Dimensão da viga	tabela 6.7 » **possibilidades : 10 vigas de 25 x 55 ou 30 x 50.**
16º	Espessura do piso de repartição (h)	Sendo S = 0,81 metros Ábaco 9 » **espessura= 13 cm**

Tabela 6-3. Exemplo de cálculo de dimensionamento da superestrutura

6.2.2 O DIMENSIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA

Depois de encontradas as dimensões das peças componentes da superestrutura, passamos ao cálculo da **infraestrutura.** Esta deve ser projetada para suportar as cargas da superestrutura (cargas permanentes) e as cargas móveis.

Ressalta-se que os **PILARES** são as estruturas responsáveis por suportar a ponte como um todo, deste modo, **OS CÁLCULOS A SEGUIR DEVERÃO CHEGAR AO NÚMERO DE PILARES NECESSÁRIOS, ASSIM COMO SUAS DIMENSÕES E AS DO CHAPÉU.**

Estes pilares poderão ser cravados por bate-estacas ou fixados por sapatas de concreto. Em ambas as situações, devemos utilizar os contraventamentos diagonais, os quais permitem uma melhor estabilidade das estruturas da ponte.

As sapatas de madeira (apresentadas no capítulo 4 deste manual) devem ser encaradas como um modo expedito de sapatas para pontes de madeira, uma vez que, atualmente, existem maneiras muito mais eficientes e seguras de se construir a infraestrutura de uma ponte, como as sapatas de concreto, por exemplo, onde os pilares ficam inseridos em uma estrutura de concreto, proporcionando maior segurança a todo o conjunto.

Outro aspecto a ser observado para o dimensionamento da infraestrutura da ponte são os vãos contíguos, ou seja, os vãos vizinhos, uma vez que eles podem ou não ter as mesmas dimensões, o que vai influenciar no esforço cortante total que incidirá sobre cada cavalete.

6.2.2.1 Sequência de Cálculos para o Dimensionamento da Infraestrutura de uma Ponte de Madeira.

Importante observar que são utilizados alguns dados que já foram calculados para a superestrutura, assim os cálculos da infraestrutura são uma continuação dos cálculos da superestrutura.

	Calcular	Procedimentos	Observações
1º	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente (Qg)	ábaco 4 » obtemos o(s) valor(es) de G. Com o valor de G e V calcula-se: $Qg = \frac{G \cdot V}{2}$ Em caso de vãos contíguos teremos: $Qg = \frac{G_1 \cdot V_1}{2} + \frac{G2 \cdot V2}{2}$	Neste cálculo, estamos dividindo por dois o peso da superestrutura da ponte que incidirá sobre o cavalete (cada cavalete vai suportar a metade do peso).
2º	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego (Qm)	Com os valores do vão livre (V) e da classe desejada (Cl) entrar no ábaco 5 para determinar o valor de Qm para Vtr sobre rodas, em seguida, entrar no ábaco 6 para determinar o Qm para Vtr sobre lagartas. Em caso de vãos contíguos teremos que ingressar nos ábacos com o valor de V conforme a formula abaixo: V = V1 + V2	Prosseguir nos cálculos com o maior valor de Qm.
3º	Esforço cortante total transmitido para o cavalete (ECT)	ECT = Qm x Nvias + Qg	Nessa fase, estamos somando ao esforço cortante devido à carga permanente o esforço cortante da Vtr, considerando também o número de vias ou faixas de tráfego da ponte.

Tabela 6-4. Sequência de cálculos para dimensionamento da infraestrutura

	Calcular	Procedimentos	Observações
4º	A capacidade suporte de um pilar (CP)	Entrar na tabela 6.9 e escolher um pilar que atenda as necessidades (O chapéu terá o mesmo bxd do pilar)	Conforme as dimensões escolhidas para o pilar.
5º	Número de pilares (NP)	$NP = \frac{ECT}{CP \text{ ou } Re}$ (utilizar o menor dos dois valores)	Re calculado somente no caso de utilizarmos bate-estacas (tabela 6.10).
6º	Verificação da necessidade de cavalete duplo (utilizando bate-estacas)	Se $\frac{E = Lu}{(NP - 1)\ Ø} < 3$ » utilizar cavalete duplo	Se o cavalete for duplo refazemos este cálculo com metade do valor de NP e encontramos um novo E. No caso de utilizarmos bate-estaca, determina-se um Np corrigido pelo ábaco 10.
	Verificação da necessidade de cavalete duplo (sem utilizar bate-estacas)	Se $E = \frac{Lu}{(NP - 1)} < 3$ » utilizar cavalete duplo	
7º	Verificação do espaçamento real entre os pilares (E)	$E = \frac{Lu}{NP - 1}$ E Max = 5 x dch E Min = 3 x **Ø** E Max ≥ E ≥ EMin	Neste momento, calcula-se E sem considerarmos o **Ø** e verifica-se se o espaçamento entre os pilares está proporcional às dimensões do chapéu e do próprio pilar.
8º	Dimensões do apoio do chapéu (ba x da) Somente para cavaletes duplos	La ≥ E $La \geq \frac{1}{6} Hc$ $Ma = \frac{ECT \cdot La}{4}$ $Qa = \frac{ECT}{2}$ (ba x da) → escolhe-se um apoio verificando a tabela 6.7	Com os valores do momento fletor num apoio de chapéu (Ma) e do esforço cortante num apoio do chapéu. (Qa) entrar na tabela 6.7 e escolher as dimensões do apoio do chapéu. Importante observar que os valores de Ma e Qa são os valores totais dos esforços que incidem sobre o cavalete como um todo, sendo assim, deverão ser divididos por todos os apoios do chapéu.
9º	Números de apoios do chapéu (Na) Somente para cavaletes duplos	$Na = \frac{Ma}{m}$ $Na = \frac{Qa}{Q}$	Após escolhidas as dimensões do apoio do chapéu, devemos dividir o Ma e Qa pelos respectivos m e q do apoio escolhido (tabela 6.7), sendo que deve ser considerado o Na de maior valor.
10º	Dimensões da sapata (K sap, H sap, B sap) Somente para cavaletes com sapatas de madeira	σs → tabela 6.11 K → ábaco 11 (escolhe-se um dos três valores para a altura da sapata H sap e, com este valor, encontra-se o comprimento teórico da mesma) K sap = K + bsol B sap = largura da viga utilizada	A soleira deve ter no mínimo as mesmas dimensões do chapéu.
11º	Números de sapatas necessárias (N sap)	$N\ sap = \frac{ECT \cdot 1000}{(K\ sap \cdot B\ sap) \cdot \sigma s}$	

Tabela 6-4. Sequência de cálculos para dimensionamento da infraestrutura (continuação)

	Calcular	Procedimentos	Observações
12º	Verificação das dimensões do chapéu (no caso de cavalete simples)	d ch → $\frac{E}{5}$ ≥ 20 cm b ch → $\frac{28.\ ECT}{N\ .\ bch}$ ≥ 15 cm	
13º	Verificação das dimensões do chapéu (no caso de cavaletes duplos)	Ea = $\frac{Lu}{Na - 1}$ d ch = $\frac{Ea}{5}$ b ch = $\frac{28 \times ECT}{(Na \text{ ou } N) \times ba}$	Sendo que: d ch ≥ 20 cm b ch ≥ 15 cm Ou seja, se forem encontrados valores menores para d ch e/ou b ch, estes devem ser aproximados para os valores, respectivamente, de 20 e 15 cm. Utilizar para a fórmula o menor dos valores entre Na e N.

Tabela 6-4. Sequência de cálculos para dimensionamento da infraestrutura (continuação)

6.2.2.2 Exemplos de Cálculos de Dimensionamento da Infraestrutura

Exemplo 1. Missão: projetar a infraestrutura de madeira para ponte classe 60, duas faixas de tráfego, e vãos V1 de 6,1 metros e V2 de 9,2 metros, altura do pilar de 4,55 metros, solo dos encontros de argila dura, largura útil de 7,3 metros e chapéu de dimensões de 30 x 30 cm.

Será empregado um bate-estacas com altura de queda de 3 metros, peso do maço de 906 Kg e penetração média do pilar, por batida, para as últimas seis batidas, de 15 cm. A superestrutura é composta somente por madeiras.

Conforme já estudado neste capítulo, o objetivo final destes cálculos é determinarmos, basicamente, **o número de pilares e suas dimensões.**

	Calcular	Procedimentos
1º	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente (Qg)	G1 = 1,65 t , G2 = 2 t Qg = $\frac{1,65 \times 6,1}{2} + \frac{2 \times 9,2}{2}$ Qg = 14,24 t
2nd	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego (Qm)	V = 6,1 + 9,1 = 15,2 ábaco 6 » Qm= 48
3º	Esforço cortante total transmitido para o cavalete (ECT)	ECT = Qm x Nvias + Qg ECT = 48 x 2 + 14,24 = 110,24t
4º	A capacidade suporte de um pilar (CP)	tabela 6.9 » adota-se um **pilar de Ø = 30 cm** **CP = 25,4 t**
5º	Número de pilares (NP)	tabela 6.10 » Re = $\frac{16,5pH}{Pm + 2,5}$ » Re = $\frac{16,5 \times 906 \times 3}{15/6 + 2,5}$ Re = 8969 kg » **Re = 9 t** NP = $\frac{ECT}{CP \text{ ou } Re}$ (utilizar o menor dos dois valores) NP = $\frac{ECT}{Re}$ » NP = $\frac{110,24}{9}$ = 12,25 = 13

Tabela 6-5. Exemplo de cálculo de dimensionamento da infraestrutura

	Calcular	Procedimentos
6º	Verificação da necessidade de cavalete duplo (utilizando bate-estacas)	$E = \frac{Lu}{(NP-1)\,Ø}$ » $E = \frac{7,3}{(13-1)\,0,3}$ E= 2,03 < 3 » logo devemos utilizar cavalete duplo $E = \frac{Lu}{(NP/2-1)\,Ø}$ » $E = \frac{7,3}{(13/2-1)\,0,3}$ = 4,43 > 3 NP = 13/2 = 6,5 ábaco 10 » NP corrigido = 7,9 = 8 pilares
7º	Verificação do espaçamento real entre os pilares (E)	$E = \frac{Lu}{NP-1}$ » $E = \frac{7,3}{8-1}$ = 1,04 m E Max = 5 x dch » E Max = 5 x 0,3 = 1,5 E Min = 3 x Ø » E Min = 3 x 0,3 = 0,9 E Max ≥ E ≥ EMin » 1,5 ≥ E ≥ 0,9 (OK)
8º	Dimensões do apoio do chapéu (ba x da)	La ≥ E = 1,04 m La ≥ $\frac{1}{6}$ x Hc » La ≥ $\frac{1}{6}$ x 4,55 La ≥ 0,76 m » adotar La = 1,04m Ma = $\frac{ECT \times La}{4}$ » $\frac{110,24 \times 1,04}{4}$ = 28,7 t x cm Qa = $\frac{ECT}{2}$ » Qa = $\frac{110,24}{2}$ = 55,12 t tabela 6.7 » (ba x da) = **escolhe-se o apoio do chapéu de 30x 30 cm**
9º	Números de apoios do chapéu (Na)	Na = $\frac{Ma}{m}$ » $\frac{28,7}{796,61}$ = 0,04 apoios Na = $\frac{Qa}{q}$ » $\frac{55,12}{6,53}$ = 8,45 = **9 apoios**
10º	Dimensões da sapata (K sap, H sap, B sap)	**Não é o caso para este tipo de cavalete**
11º	Números de sapatas necessárias (N sap)	**Não é o caso para este tipo de cavalete**
12º	Verificação das dimensões do chapéu (no caso de cavaletes simples	**Não é o caso para este tipo de cavalete**
13º	Verificação das dimensões do chapéu (no caso de cavaletes duplos)	Ea = $\frac{Lu}{Na-1}$ » $\frac{7,3}{9-1}$ = 0,92 m d ch = $\frac{Ea}{5}$ = $\frac{0,92}{5}$ = 18,4 cm b ch = $\frac{28 \times ECT}{(Na\ ou\ N) \times ba}$ = $\frac{28 \times 110,24}{8 \times 30}$ = 12,88cm Chapéu adotado de 30 x 30 (ok)

Tabela 6-5. Exemplo de cálculo de dimensionamento da infraestrutura (continuação)

Exemplo 2. Missão: projetar a infraestrutura de madeira para ponte classe 40, uma faixa de tráfego, vão de 7,0 metros, altura do pilar de 2,50 metros, solo dos encontros de argila dura, largura útil de 4,2 metros e chapéu de dimensões de 30 x 30 cm.

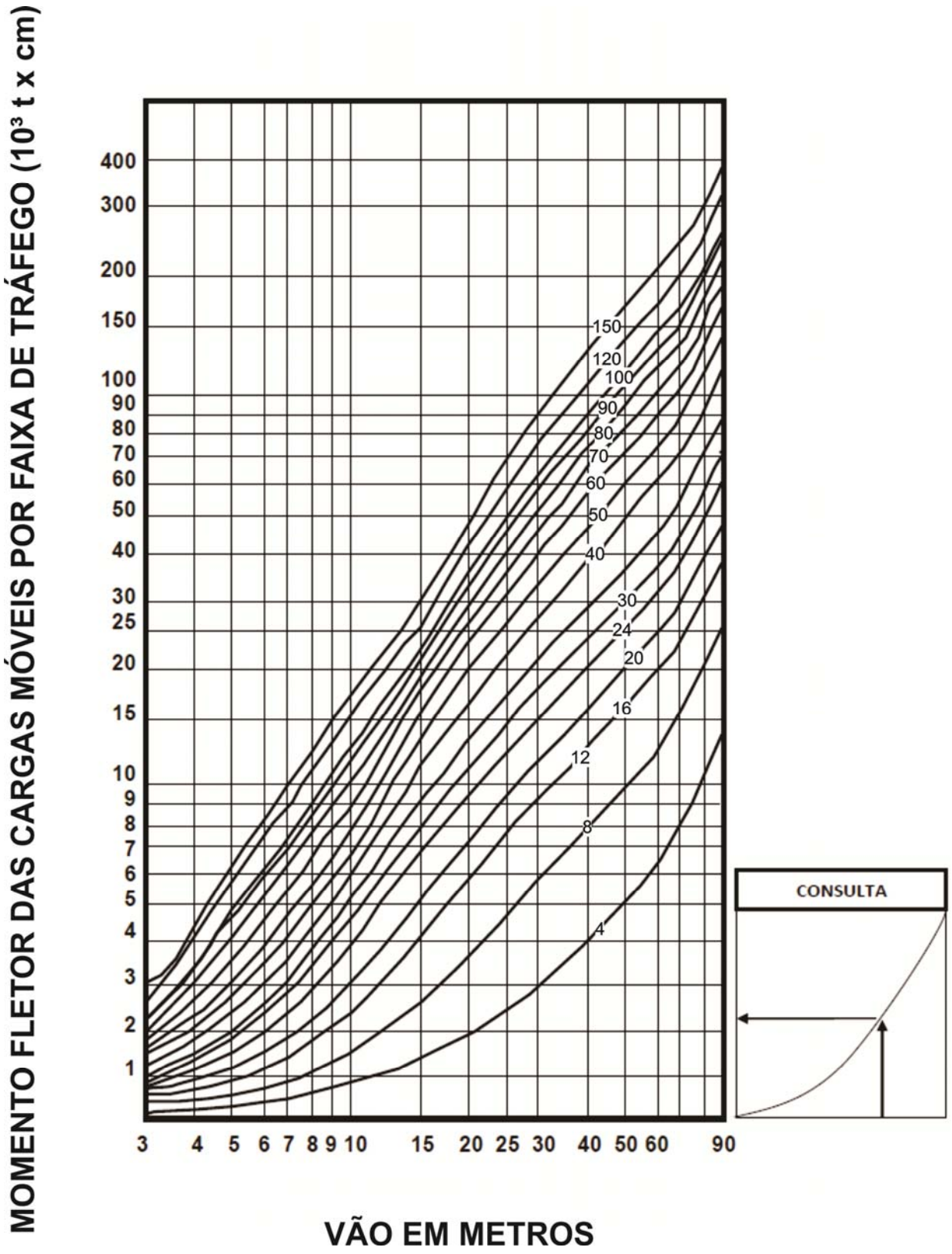
	Calcular	Procedimentos
1º	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente (Qg)	G = 1,78 t $Qg = \frac{1,78 \times 7}{2}$ » Qg = 6,23 t
2º	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego (Qm)	V = 7 m ábaco 5 » Qm= 23,5 t ábaco 6 » **Qm= 27 t**
3º	Esforço cortante total transmitido para o cavalete (ECT)	ECT = Qm x Nvias + Qg ECT = 27 x 1 + 6,23 = 33,23t
4º	A capacidade suporte de um pilar (CP)	tabela 6.9 » adota-se um **pilar de b x d = 30 x 30 cm** **CP = 32,6 t**
5º	Número de pilares (NP)	$NP = \frac{33,23}{32,6}$ » NP = 1,02 = 2 pilares
6º	Verificação da necessidade de cavalete duplo (utilizando bate-estacas)	**Não é o caso para este tipo de cavalete**
	Verificação da necessidade de cavalete duplo (sem utilizar bate-estacas)	Se $E = \frac{Lu}{(NP - 1)} < 3$ » utilizar cavalete duplo $E = \frac{4,2}{2 - 1}$ » E = 4,2 **> 3** logo não há necessidade de utilizar cavalete duplo
7º	Verificação do espaçamento real entre os pilares (E)	$E = \frac{4,2}{2 - 1}$ » E = 4,2 **m** E Max = 5 x dch » E Max = 5 x 0,3 = 1,5 E Min = 3 x **Ø** » E Min = 3 x 0,3 = 0,9 E Max ≥ 4,2 ≥ EMin » 1,5 ≥ 4,2 ≥ 0,9 (falso) Logo, o espaçamento adotado será de 1,5 m.
8º, 9º, 10º, 11º, 12º e 13º.		**Não é o caso para este tipo de cavalete**

Tabela 6-6. Exemplo de cálculo de dimensionamento da infraestrutura

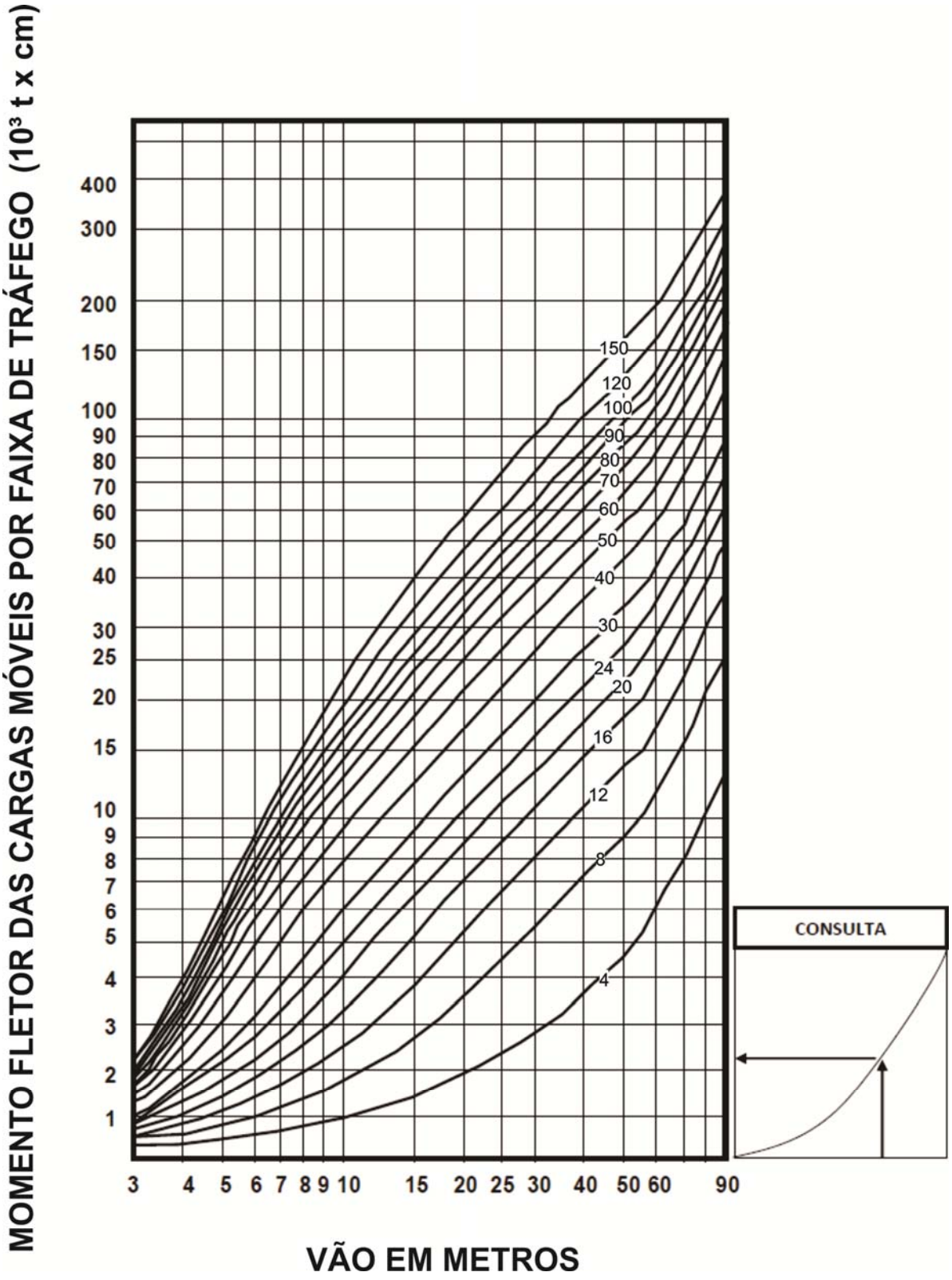
ÁBACOS E TABELAS NECESSÁRIOS AOS CÁLCULOS DA INFRAESTRUTURA E SUPERESTRUTURA

ÁBACO 1

UTILIZADO PARA ENCONTRAR O VALOR DE Momento Fletor Máximo (Mm) PARA Vtr SOBRE RODAS

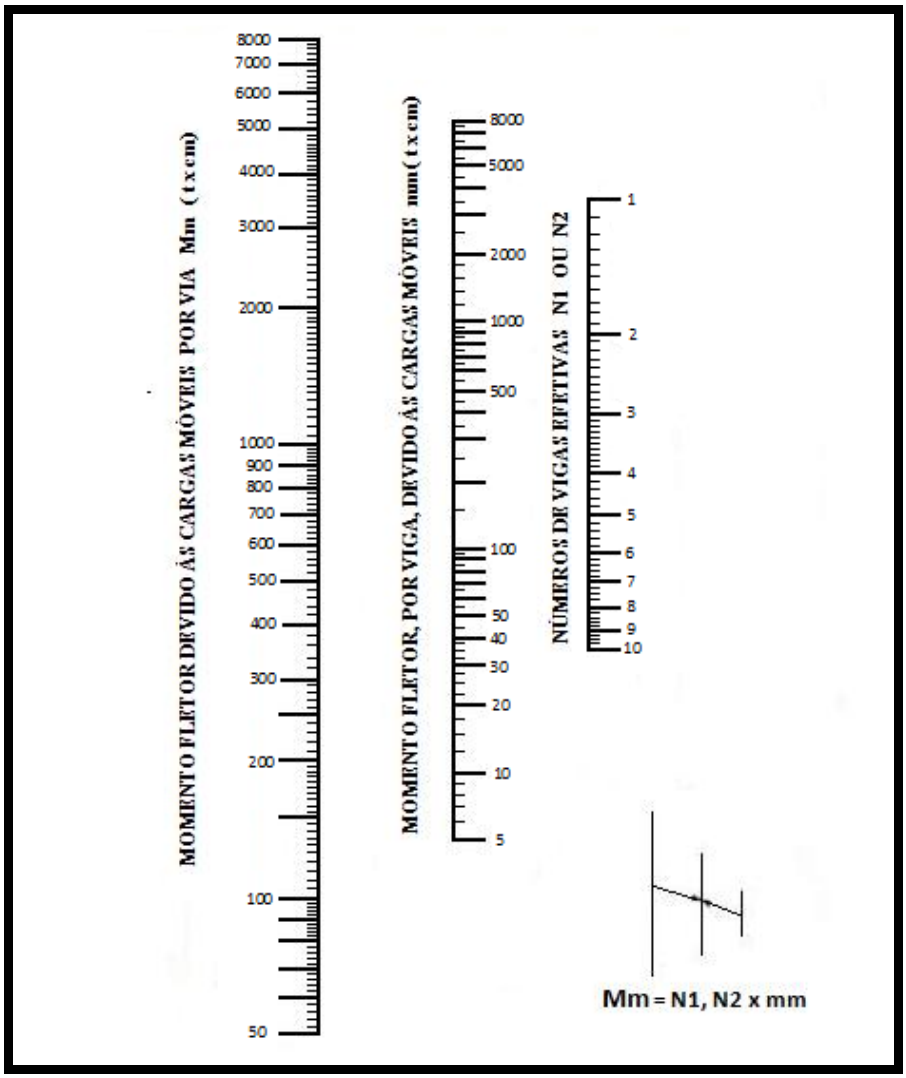


ÁBACO 2
UTILIZADO PARA ENCONTRAR O VALOR DE Momento Fletor Máximo (Mm)
PARA Vtr SOBRE LAGARTAS

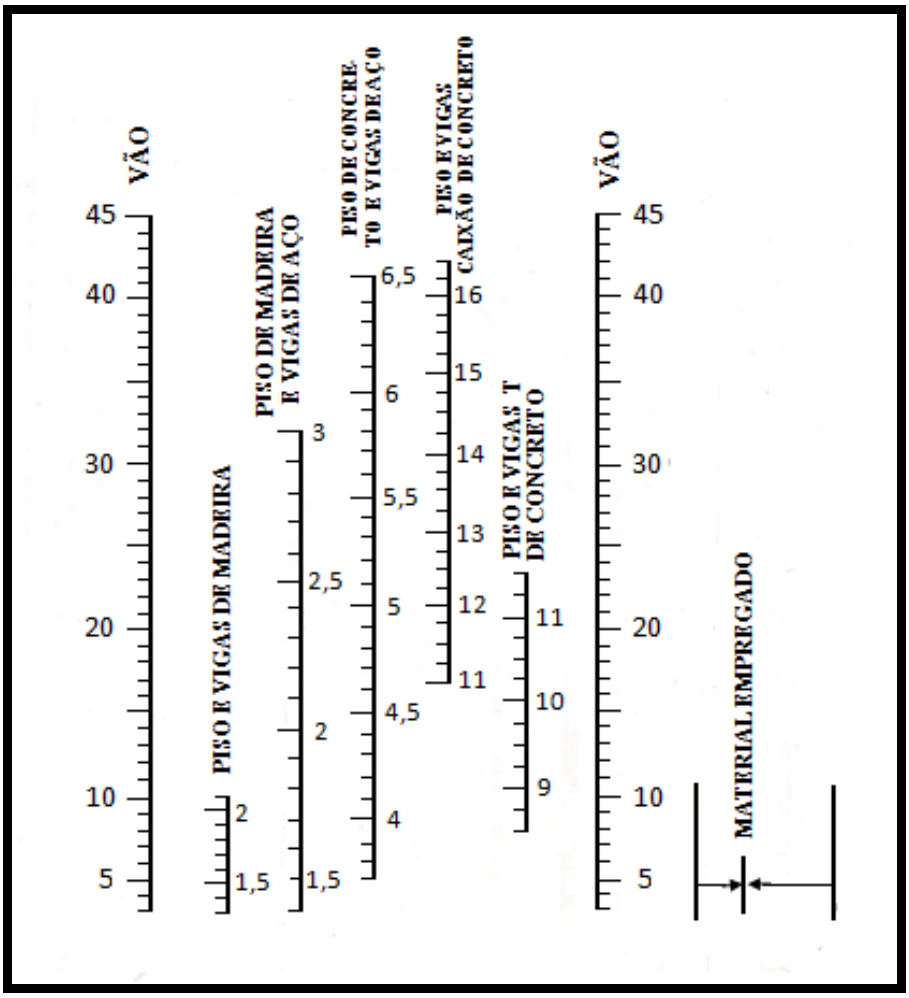


ÁBACO 3

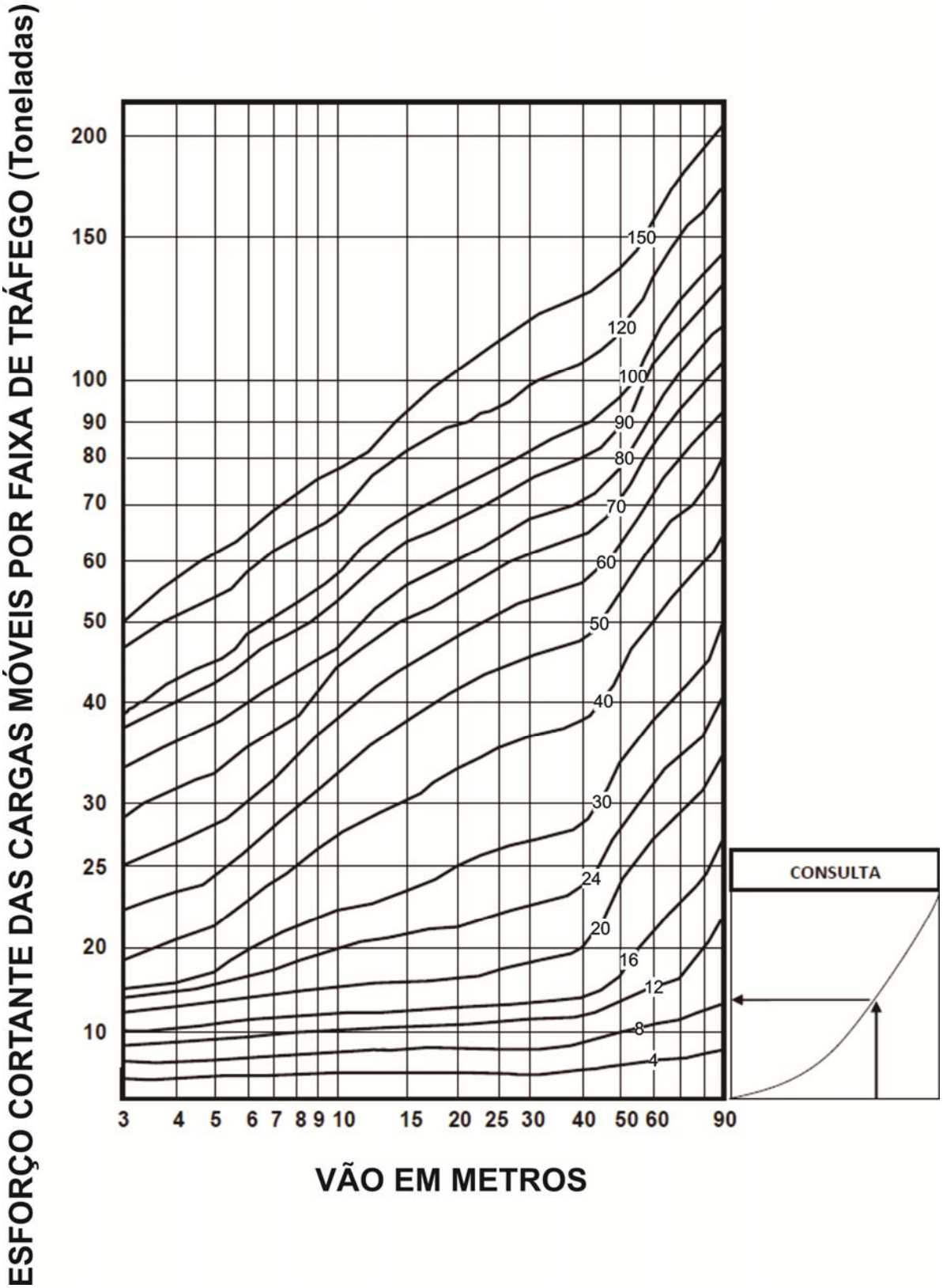
UTILIZADO PARA ENCONTRAR O VALOR DE mm PARA VIGAS DE MADEIRA



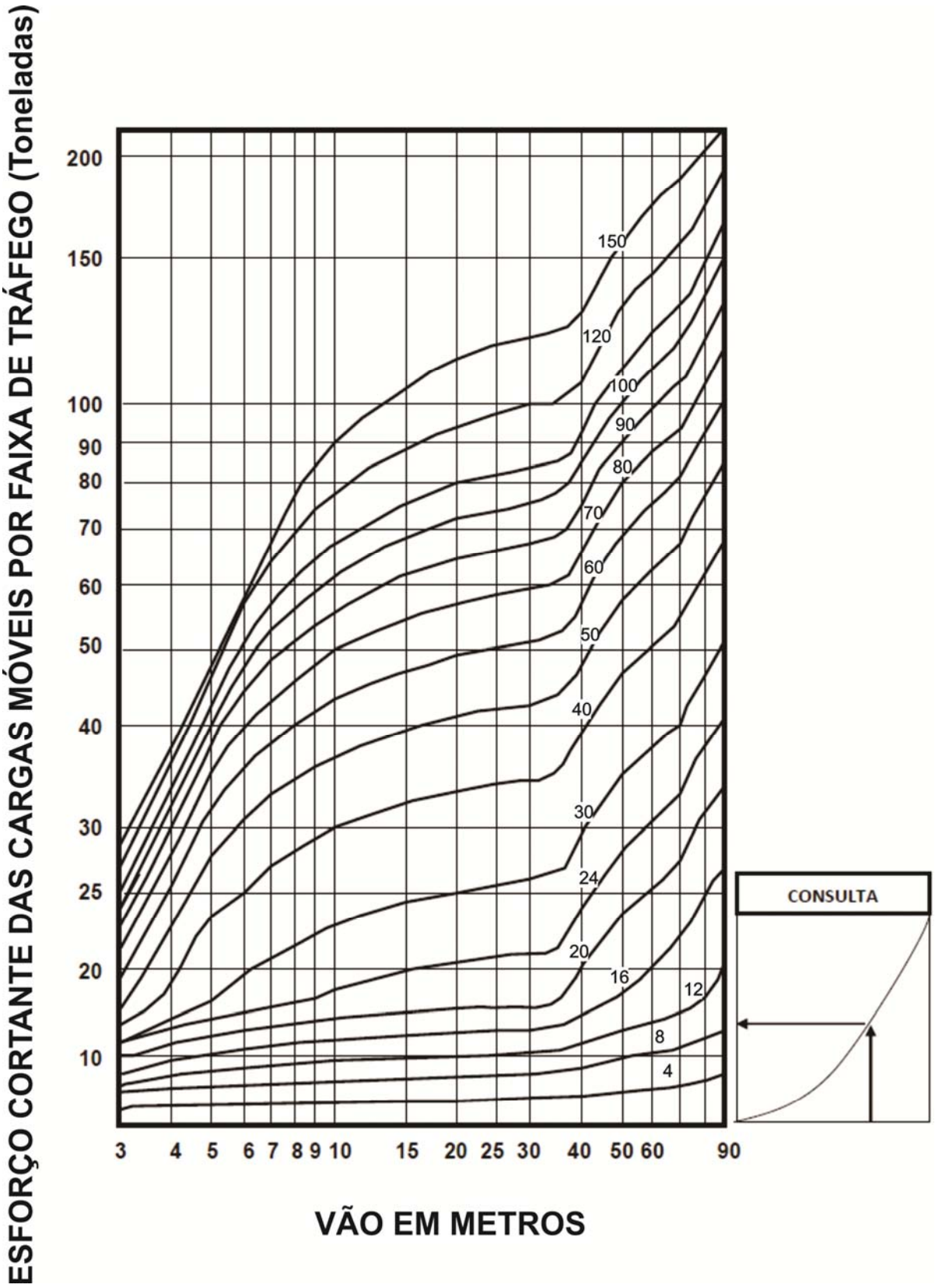
ÁBACO 4
UTILIZADO PARA ENCONTRAR O VALOR DE G
CONFORME O MATERIAL EMPREGADO



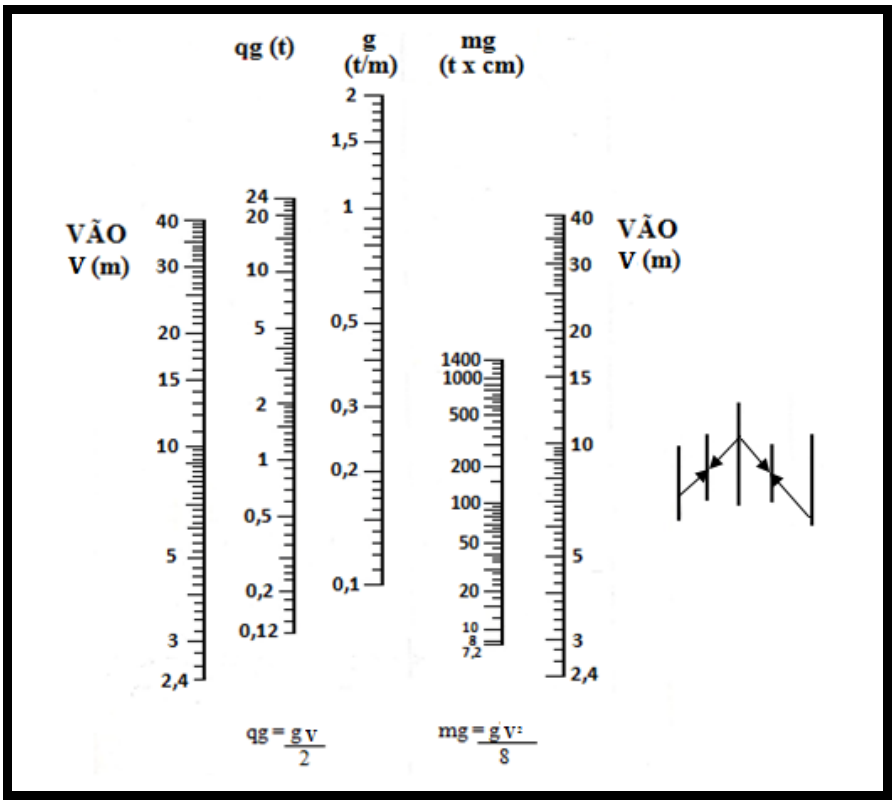
ÁBACO 5
UTILIZADO PARA DETERMINAR O VALOR DE Qm PARA Vtr SOBRE RODAS



ÁBACO 6
UTILIZADO PARA DETERMINAR O VALOR DE Qm PARA Vtr SOBRE LAGARTAS

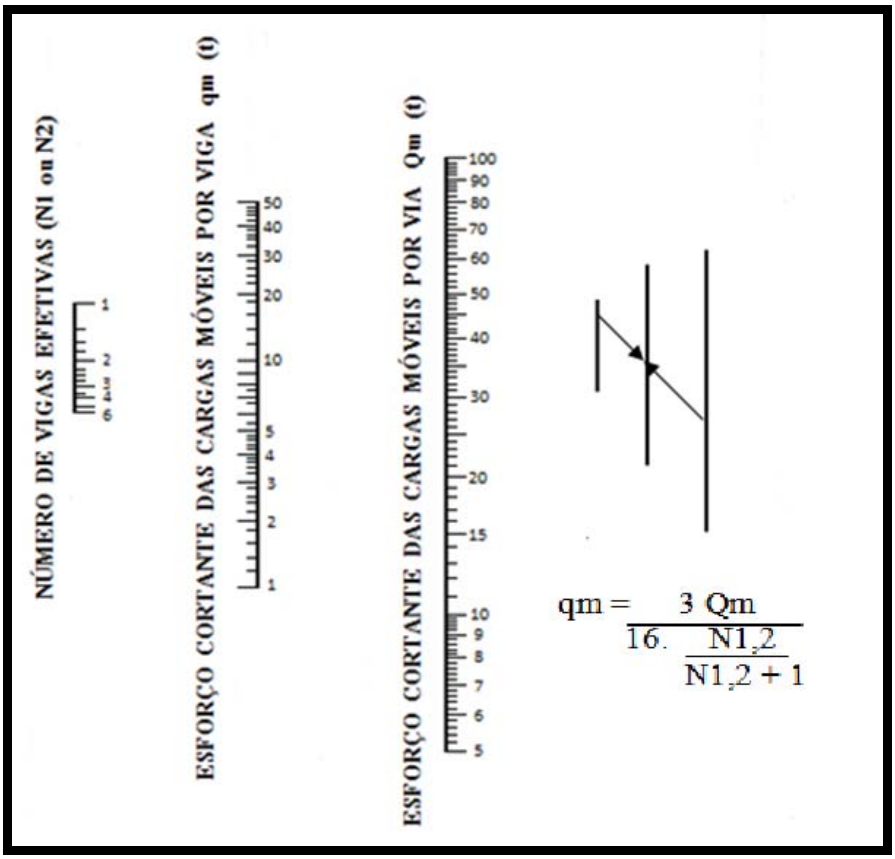


ÁBACO 7
UTILIZADO PARA DETERMINAR O VALOR DE qg e/ou mg

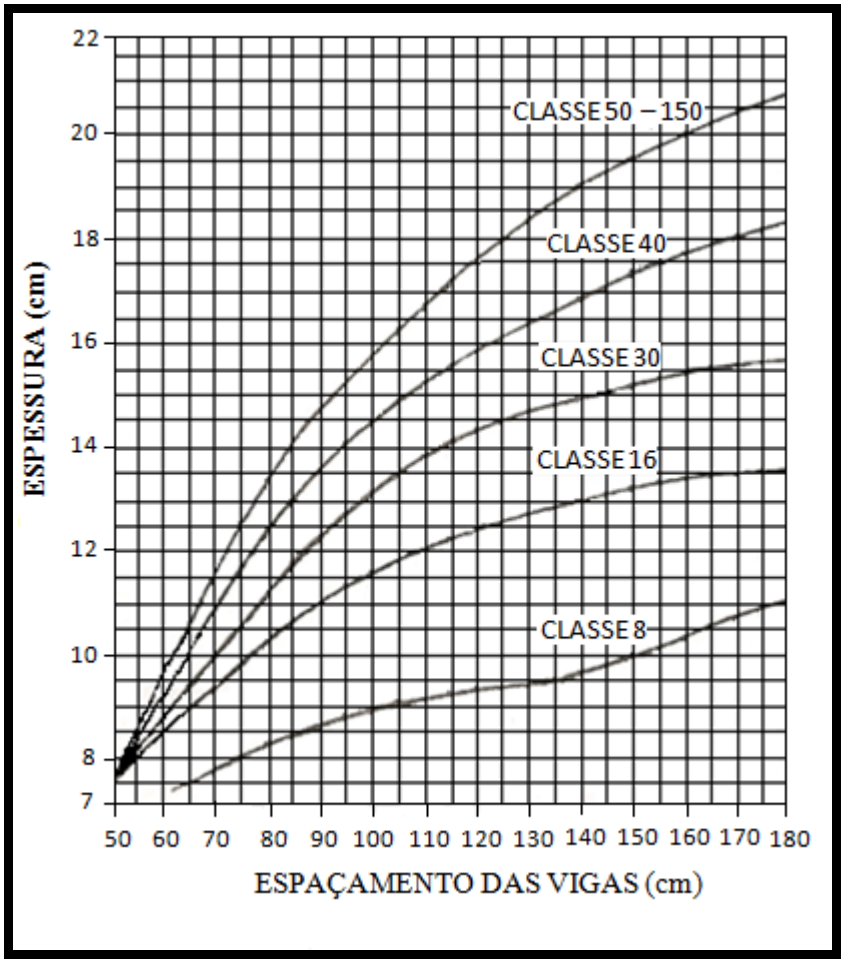


ÁBACO 8

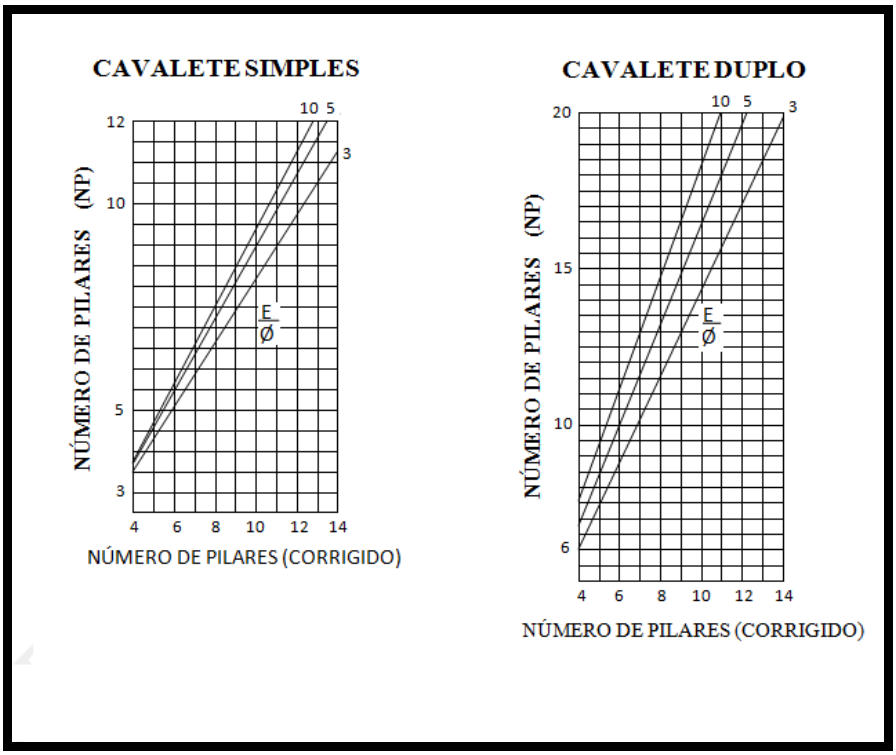
UTILIZADO PARA DETERMINAR qm PARA VIGAS DE MADEIRA



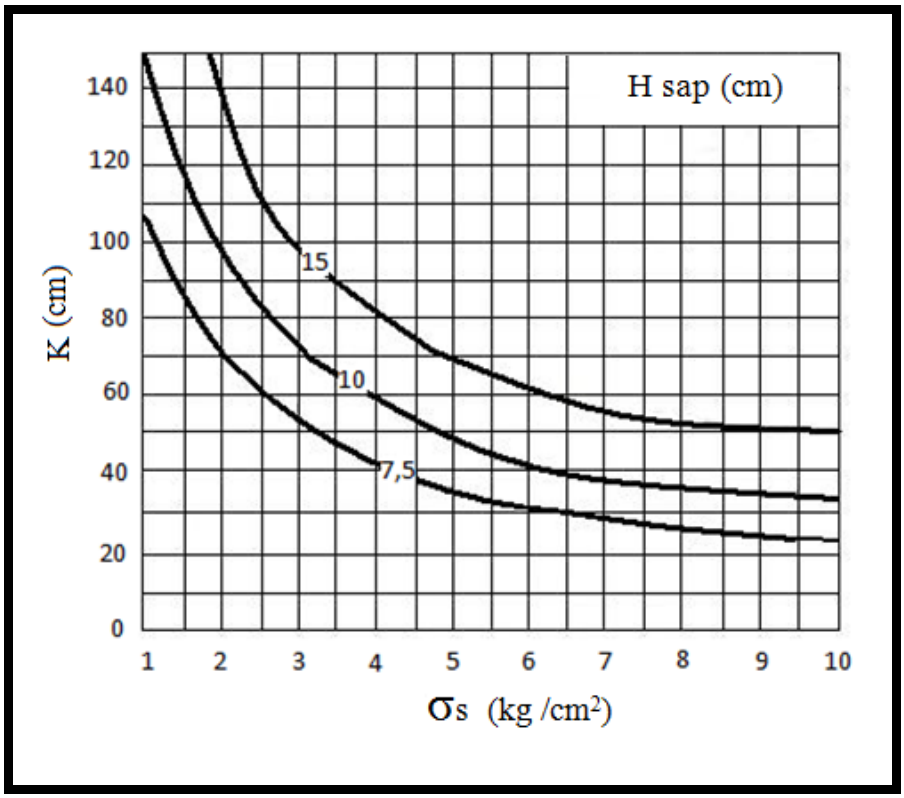
ÁBACO 9
UTILIZADO PARA DETERMINAR A ESPESSURA DO PISO DE REPARTIÇÃO



ÁBACO 10
UTILIZADO PARA DETERMINAR O NÚMERO DE PILARES POR SEÇÃO



ÁBACO 11
UTILIZADO PARA DETERMINAR O COMPRIMENTO TEÓRICO DAS SAPATAS



6.3 CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS DE MADEIRAS

DIMENSÕES		MOMENTO ADMISSÍVEL	ESFORÇO CORTANTE ADMISSÍVEL	VÃO MÁXIMO
b X d (cm)	b X d (pol)	m (t x cm)	q (t)	V Max (m)
10 x 20	4 x 8	117,96	1,45	2,90
10 x 25 *	4 x 10	184,35	1,81	3,63
10 x 30 *	4 x 12	265,54	2,18	4,36
15 x 20	6 x 8	177,02	2,18	2,90
15 x 25	6 x 10	276,60	2,72	3,63
15 x 30	6 x 12	398,30	3,27	4,36
15 x 35 *	6 x 14	542,14	3,81	5,09
15 x 40 *	6 x 16	708,01	4,35	5,82
15 x 45 *	6 x 18	896,18	4,90	7,77
20 x 20	8 x 8	236,08	2,90	2,90
20 x 25	8 x 10	369,26	3,63	3,63
20 x 30	8 x 12	531,07	4,35	4,36
20 x 35	8 x 14	723,31	5,08	5,09
20 x 40	8 x 16	944,59	5,80	5,82
20 x 45 *	8 x 18	1194,91	6,53	6,55
20 x 50 *	8 x 20	1475,66	7,44	7,25
20 x 55 *	8 x 22	1785,45	7,93	7,99
20 x 60 *	8 x 24	2124,29	8,71	8,71
25 x 25	10 x 10	460,54	4,54	3,63
25 x 30	10 x 12	663,84	5,44	4,36
25 x 35	10 x 14	903,10	6,35	5,09
25 x 40	10 x 16	1179,7	7,26	5,82
25 x 45	10 x 18	1493,64	8,16	6,55
25 x 50	10 x 20	1843,54	9,07	7,25
25 x 55 *	10 x 22	2230,78	9,98	7,99
25 x 60 *	10 x 24	2655,36	10,89	8,72
30 x 30	12 x 12	796,61	6,53	4,36
30 x 35	12 x 14	1084,27	7,62	5,09
30 x 40	12 x 16	1416,19	8,70	5,82
30 x 45	12 x 18	1792,37	9,80	6,55
30 x 50	12 x 20	2212,80	10,89	7,25
30 x 55	12 x 22	2677,49	11,98	7,99
30 x 60	12 x 24	3180,90	13,06	8,72
35 x 35	14 x 14	1265,45	8,89	5,09
35 x 40	14 x 16	1652,69	10,16	5,82
35 x 45	14 x 18	2091,10	11,43	6,55
35 x 50	14 x 20	2582,06	12,70	7,25
35 x 55	14 x 22	3125,60	13,97	7,99
35 x 60	14 x 24	3720,27	15,24	8,71
40 x 40	16 x 16	1887,80	11,61	5,82
40 x 45	16 x 18	2389,82	13,06	6,55
40 x 50	16 x 20	2945, 79	14,51	7,25
40 x 55	16 x 22	3568,14	15,97	7,39
40 x 60	16 x 24	4245,81	17,42	8,72
45 x 45	18 x 18	1688,55	14,70	6,55
45 x 50	18 x 20	3319,20	16,33	7,25
45 x 55	18 x 22	4010,70	17,96	7,99
45 x 60	18 x 24	4785,18	19,60	8,72

Tabela 6-7a. Características das vigas de madeiras serradas (Continuação)

Observações:

1.Para vigas retangulares não incluídas, $m=0,029.b.d^2$; $q=0.00726.b.d$;$Vmax=0,145d$.

2.Para vigas circulares não incluídas, $m=0,0174.d^3$ e $q=6,41 \times 10^{-3}.d^2$.

* Necessário contraventamento lateral (meio dos vãos e apoios) devido à desproporção entre a altura e a largura conjugada com a pequena dimensão da largura da viga.

DIMENSÕES		MOMENTO ADMISSÍVEL	ESFORÇO CORTANTE ADMISSÍVEL	VÃO MÁXIMO
Ø (cm)	Ø (Pol)	m (t x cm)	q (t)	VMax (m)
20	8	138,99	2,58	2,90
22,5	9	197,91	3,27	3,26
25	10	271,48	3,99	3,63
27,5	11	360,96	4,80	3,99
30	12	468,84	5,76	4,36
32,5	13	596,07	6,80	4,72
35	14	745,44	7,89	5,09
40	16	1111,93	10,25	5,82
45	18	1583,54	12,97	6,55
50	20	2172,69	16,06	7,25
55	22	2890,47	19,37	7,99
60	24	3747,93	23,04	8,72

Tabela 6-7b. Características das vigas de madeiras roliças

6.4 CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS DE AÇO

Também poderemos utilizar numa ponte de madeira vigas de aço. Para isso, devemos considerar as seguintes nomenclaturas para essas vigas:

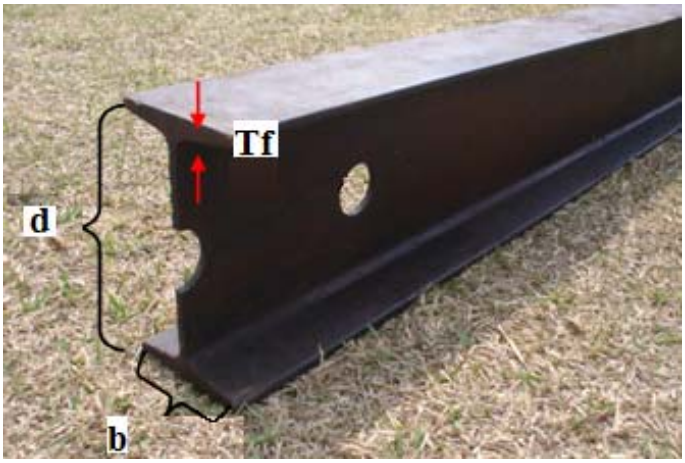


Fig 6-2. Detalhe dos componentes de uma viga de aço
Fonte: o autor

Tamanho nominal		D	b	Tf	tw	m	q	V Max (m)	Sc
(mm)	(pol)	(mm)				(t x cm)	(t)	(m)	
76,2 x 60,3	3x 2 3/8	76,2	59,2	6,6	4,32	52,44	3,15	2,3	2,0
			61,2		6,38	56,24	4,66		2,1
			63,7		8,86	60,80	6,47		2,2
101,6 x 66,7	4x 2 5/8	101,6	67,6	7,4	4,83	94,43	4,86	3,1	2,0
			69,2		6,43	99,56	6,47		2,0
			71,0		8,28	105,64	8,33		2,1
			72,9		10,16	111,91	10,23		2,1
127 x 76,2	5x 3	127,0	76,2	8,3	5,33	152,76	6,82	3,8	2,0
			79,7		8,81	170,62	11,27		2,1
			83,4		12,55	189,62	16,06		2,2
152,4 x 85,7	6x 3 3/8	152,4	84,6	9,1	5,84	229,14	9,08	4,6	2,0
			87,5		8,71	250,23	13,54		2,1
			90,6		11,81	273,03	18,37		2,2
203,2 x 101,6	8x 4	203,2	101,6	10,8	6,86	448,40	14,44	6,1	2,2
			103,6		8,86	475,00	18,65		2,2
			105,9		11,20	505,40	23,58		2,3
			108,3		13,51	535,80	28,45		2,3
254 x 117,5	10x 4 5/8	254,0	118,4	12,5	7,90	769,50	20,98	7,6	2,3
			121,8		11,40	839,80	30,27		2,4
			125,6		15,10	915,80	40,10		2,5
			129,3		18,80	991,80	49,93		2,5
304,8 x 133,4	12x 5 1/4	304,8	133,4	16,7	11,70	1411,70	36,83	9,2	2,9
			136,0		14,40	1491,50	45,33		3,0
			139,1		17,40	1582,70	54,77		3,1
			142,2		20,60	1673,90	64,84		3,1
457,2 x 152,4	18x 6	457,2	152,4	17,6	11,70	2781,60	57,26	13,7	2,4
			154,6		13,90	2927,90	68,04		2,4
			156,7		16,00	3064,70	78,32		2,4
			158,8		18,10	3203,40	88,60		2,4
508 x 177,8	20x 7	508,0	177,8	23,3	15,20	4617,00	81,35	15,2	3,3
			179,1		16,60	4712,00	88,84		3,3
			181,0		18,40	4864,00	98,47		3,3
			182,9		20,30	5035,00	108,64		3,4
			184,7		22,20	5187,00	118,81		3,4

Tabela 6-8. Características das vigas de aço (continuação)

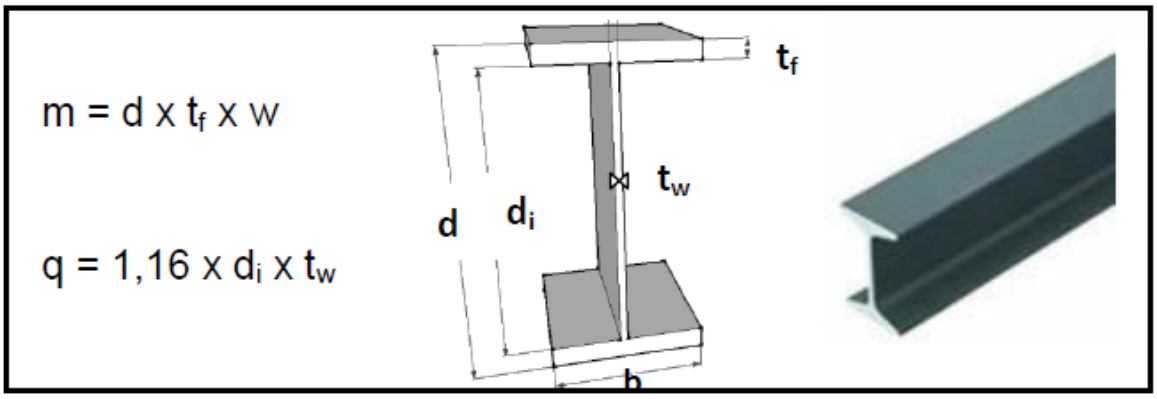


Figura 6.3- fórmula para vigas metálicas não inclusas

6.5 CARACTERÍSTICAS DOS PILARES DE MADEIRA

DIMENSÕES		Capacidade do pilar (CP)	Altura máxima do pilar (H Max)
b x d (cm)	Ø (cm)	toneladas	metros
15 x 20		10,8	4,5
20 x 20		14,5	6,1
20 x 25		18,1	6,1
25 x 25		22,7	7,6
25 x 30		27,8	7,6
30 x 30		32,6	9,1
	20,0	11,3	5,5
	22,5	14,5	6,1
	25,0	16,1	6,7
	27,5	21,3	7,6
	30,0	25,4	8,2
	32,5	29,5	8,8
	35,0	34,5	9,4

Tabela 6-9. Características dos pilares de madeira

6.6 CARACTERÍSTICAS DO BATE-ESTACA EMPREGADO

Bate-estacas mecânico de queda de peso	Bate-estacas pneumático ou a vapor de ação simples	Bate-estacas pneumático ou a vapor de ação dupla
$\mathbf{Re} = \frac{16,5 \times p \times H}{Pm + 2,5}$	$\mathbf{Re} = \frac{16,5 \times p \times H}{h + 2,5}$	$\mathbf{Re} = \frac{16,5 \times p}{h + 2,5}$

Tabela 6-10. Características do Bate-Estaca empregado

6.7 RELAÇÃO ENTRE A LARGURA MÍNIMA ENTRE RODAPÉS E A CLASSE DA PONTE

CLASSE	LARGURA MÍNIMA ENTRE RODAPÉS (METROS)	
	UMA VIA	DUAS VIAS
4 a 12	**2,75**	**5,50**
13 a 30	**3,35**	**5,50**
31 a 60	**4,00**	**7,30**
61 a 100	**4,50**	**8,20**

Tabela 6-11. Relação entre a largura mínima entre rodapés e a classe da ponte

6.8 A EXECUÇÃO DO PROJETO DE UMA PONTE DE MADEIRA

Como vimos anteriormente, existem 3 fases para a construção das pontes de madeira: o RECONHECIMENTO, o DIMENSIONAMENTO e a EXECUÇÃO DO PROJETO. Neste momento, abordaremos a EXECUÇÃO DO PROJETO que depende em grande parte do adestramento dos militares envolvidos nesta missão.

Para um apoio satisfatório às peças de manobra da arma base, torna-se necessário que as tropas de Engenharia tenham pleno conhecimento das técnicas de construção.

6.8.1 EQUIPAMENTOS ÚTEIS

6.8.1.2 Motosserra e Implemento com Furadeira

Deverão ser levadas para o canteiro de trabalhos ao menos três motosserras: uma de pequena e outras duas de média potência.

Outro equipamento essencial é o implemento para motosserra chamado furadeira. Ele é acoplado a este próprio equipamento e é bastante utilizado para as ligações entre as madeiras. Com ele devem ser levadas várias brocas de diferentes bitolas e comprimentos.

Fig 6-4. Motosserra tradicional e com implemento furadeira

6.8.1.3 A Retroescavadeira ou Trator Multiuso com Implemento Escavadeira

A retroescavadeira é o equipamento de Engenharia mais importante a ser utilizado na construção de pontes de madeira. Sua versatilidade é muito útil, podendo realizar inúmeros trabalhos: preparação de encontros, carregamento de madeiras, colocação de vigas, chapéu, entre outros.

O Trator Multiuso também pode ser utilizado, porém com um menor rendimento, no entanto, deve obrigatoriamente estar equipado com o implemento escavadeira.

Fig 6-5. Retroescavadeira e Trator Multiuso empregados em construção de pontes de madeira

6.8.1.4 O Bate-Estacas

Se no reconhecimento for constatada a necessidade de utilização de BATE-ESTACAS, é possível que tenhamos que utilizar a chamada PONTE BRANCA, que nada mais é que uma estrutura leve de madeira que tem a finalidade de avançar com o BATE-ESTACAS PORTÁTIL para cravar os pilares. Caso o bate-estacas disponível ofereça o sistema de lança, provavelmente, a ponte branca não será necessária, uma vez que, com este recurso, a distância poderá ser vencida por este implemento e, assim, a estaca poderá ser cravada.

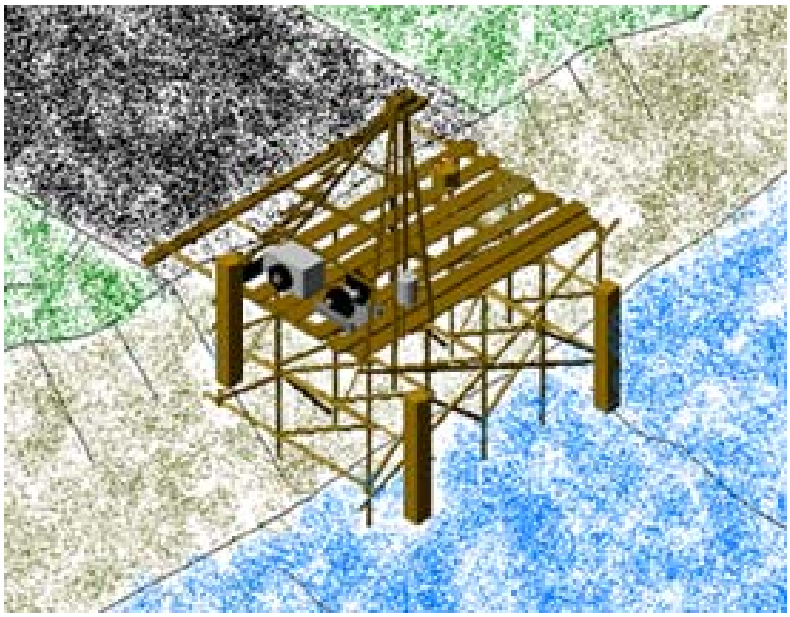


Fig 6-6. Esboço de PONTE BRANCA

Existem diversos modelos de BATE-ESTACAS, sendo aquele o que melhor atende à necessidade de mobilidade de nossas tropas do tipo portátil, o qual pode ser desmontado e carregado em uma Vtr “Qualquer Terreno”, atendendo, assim, à logística necessária para as pontes de madeira. Ele é composto basicamente de um motor de 11 HP ou superior, um guincho com engrenagem, cabo de aço de ½ pol, peso de uma ton, capacete para peso de uma tonelada, amarras para ancoragem, madeiras suportes e roldana.

Ao chegar ao local da construção da ponte, o próprio BATE-ESTACAS, ao ser montado, pode tracionar as peças de madeira e colocá-las na posição a ser cravada. Estas peças, normalmente, serão os pilares da ponte e devem ser apontadas antes de serem cravadas (a ponta deve ser realizada por quatro cortes em uma extremidade da estaca).

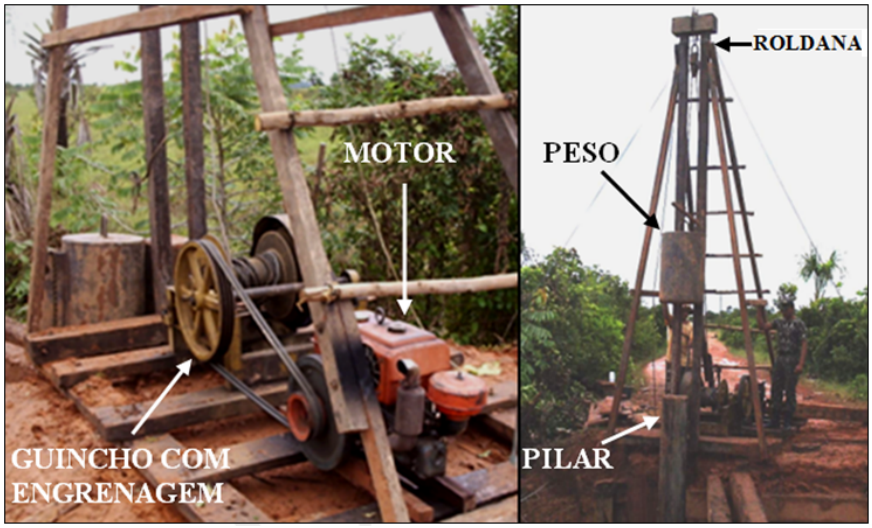


Fig 6-7. Detalhes de um BATE-ESTACAS portátil montado no encontro de uma ponte

Fig 6-8. Detalhes de um capacete para madeira e de um peso de uma tonelada

6.8.2. A CONSTRUÇÃO DA INFRAESTRUTURA

Recordamos os componentes da infraestrutura: sapata, soleira, pilar, contraventamento diagonal, chapéu, batente e dormente. Nem sempre todos são necessários, sendo que a utilização de alguns deles depende do tipo de sapata empregada. Basicamente, as sapatas utilizadas para a fixação dos pilares poderão ser constituídas de: concreto armado, de madeira, ou simplesmente o pilar poderá ser cravado com o emprego de um bate-estacas.

Caso haja a necessidade da extração de madeira *in loco*, considerar dois aspectos: a madeira estará verde e sem tratamento, ou seja, não é a melhor opção para a execução de um trabalho de qualidade; se isso for realmente necessário, considerar que, provavelmente, de cada três árvores derrubadas uma será descartada, uma vez que é comum que na queda da árvore ocorram danos à mesma que impossibilitem sua utilização.

6.8.2.1 A Construção da Fundação e Fixação de Pilares

O capítulo 5 deste manual apresenta as recomendações para a construção dos encontros da ponte, os quais também fazem parte das fundações.

Considerando a utilização das sapatas de concreto, inicialmente, as margens e locais que receberão estas sapatas deverão ser preparadas (se possível compactando o terreno). Após esta preparação deve ser confeccionada a caixaria, devendo a mesma ser impermeabilizada com uma camada de aproximadamente 5 cm de “concreto magro” a fim de que a madeira do pilar não fique em contato direto com o solo, o que a protegerá. Além disso, a fim de permitir um melhor escoamento da água e proteção da sapatas, as mesmas devem ser construídas com uma quina nas extremidades, preferencialmente na extremidade da sapata mais a montante do rio.

Fig 6-9. Detalhes da preparação da caixaria e lançamento prévio do “concreto magro”

O deslocamento dos pilares até seu posicionamento na caixaria é facilitado pelo emprego de equipamentos de engenharia (retro-escavadeira, trator multi-uso, bate-estacas, guindastes), devendo ser sempre considerado o FATOR SEGURANÇA como primordial.

Os pilares, então, serão posicionados e alinhados conforme o eixo da ponte.

Após o posicionamento dos pilares, são instaladas as ferragens e, em seguida, a caixaria é preenchida pelo concreto, finalizando, assim, a fase da fixação dos pilares.

Fig 6-10. Detalhes de pilares posicionados e alinhados e um pilar sendo nivelado na altura desejada

Quanto à altura destes pilares, o que consequentemente determinará a altura da ponte, é importante certificar de que a ponte fique ligeiramente acima do greide da estrada. Para essa tarefa poderá se utilizada a mangueira de nível e estacas auxiliares. Ressalta-se que, ao final da construção, o rodeiro da ponte NUNCA poderá estar em um nível inferior ao da estrada, sob risco de em pouco tempo de tráfego surgirem sérios danos estruturais.

Caso sejam utilizados balancins não devemos esquecer de considerar a diferença de altura existente entre os pilares dos encontros e os pilares dos cavaletes intermediários. Essa diferença de altura pode ser observada na figura a seguir:

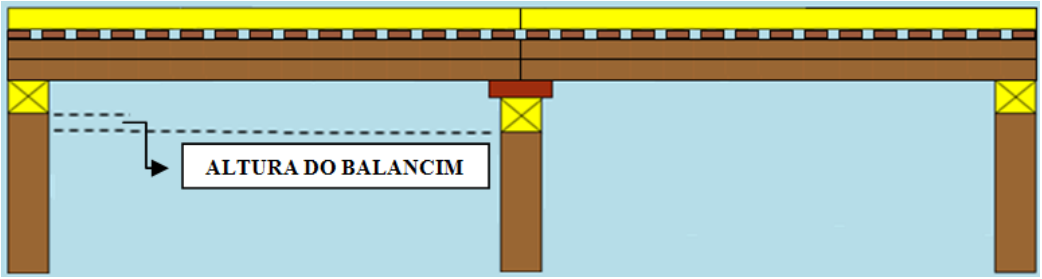


Fig 6-11. Detalhe da diferença de altura entre os chapéus de 1ª e 2ª margens e os chapéus intermediários

6.8.2.2 O posicionamento do chapéu e balancins (caso necessário)

Após a fixação dos pilares, deve ser realizada a pré-furação dos mesmos para que possam receber os conectores (pregos ou parafusos) que os unirão ao chapéu.

Fig 6-12. Detalhes da pré-furação de um pilar

Assim como para os pilares, para o posicionamento do chapéu podemos utilizar equipamentos de Engenharia. Deve-se ter a precaução de que esta peça não venha a chocar-se com os pilares, o que poderia causar danos estruturais, mas sim, que seja cuidadosamente colocada em sua posição e, em seguida, seja fixada por conectores metálicos.

Fig 6-13. Detalhes de um Chapéu sendo posicionado

Depois de serem fixados os chapéus, devem ser fixados os balancins, se necessários. Estes balancins, assim como todas as peças empregadas, devem ser pré-furados antes de seu posicionamento na ponte.

Os contaventamentos diagonais devem sempre ser utilizados a fim de melhor estabilizarem a infraestrutura, mesmo quando são utilizadas sapatas de concreto. Eles devem ser posicionados em forma de "X", sendo fixados nos pilares da ponte.

6.8.3 A CONSTRUÇÃO DA SUPERESTRUTURA

Recordamos agora os componentes da superestrutura: o balancim (se for o caso), as vigas, o piso de repartição, o piso de uso, o rodapé, o balaústre, a escora e o corrimão.

6.8.3.1 O Posicionamento das Vigas

Após a fixação dos balancins, as vigas vão sendo posicionadas em cima dos mesmos e em sua mesma direção. Assim, observa-se que os balancins servem apenas como apoios às vigas.

Fig 6-14. Detalhes dos balancins e vigas sendo fixados

Salienta-se a importância de considerar a tabela 6.7 deste manual, a fim de verificar a necessidade de contraventamento entre as vigas. Isto ocorre quando há uma diferença acentuada entre a altura da viga e a sua largura, fazendo com que o conjunto se

torne pouco estável, havendo, assim, a necessidade de contraventamentos entre as vigas, a fim de estabilizá-las.

6.8.3.2 O Posicionamento do Piso de Repartição e Piso de Uso

Por cima das vigas e perpendicular a elas são posicionados os pisos de repartição. Os mesmos devem ser colocados entre eles a uma distância de 1/3 a 2/3 da sua largura. Após a fixação dos pisos de repartição, as suas extremidades devem ser cortadas de maneira uniforme, a fim de tornar o conjunto uma obra harmônica quanto às suas formas.

Depois de instalado o piso de repartição, fixa-se o piso de uso. A largura mínima de cada lado do mesmo deve ser de 80 cm, ou seja, devem ser dispostas peças lado-a-lado para que se alcance esta distância mínima. Devemos atentar quando a ponte for destinada a viaturas de grande classe, neste caso, o piso de uso deverá cobrir uma maior área, a fim de atender à maior largura que normalmente possuem estas viaturas.

Fig 6-15. Detalhes do piso de repartição e piso de uso sendo posicionados

6.8.3.3 O Posicionamento dos Rodapés

Em seguida, são posicionados os rodapés, os quais devem ser fixados diretamente às vigas mais exteriores da ponte.

Fig 6-16. Detalhes da infraestrutura e superestrutura de uma ponte acabada

6.8.3.4 Outras Considerações

Para a união do chapéu aos pilares, dos balancins ao chapéu, das vigas ao chapéu, das vigas ao balancim e dos rodapés às vigas, podemos utilizar o mesmo tipo de prego, o qual poderá ser o vergalhão de aço ou parafusos passantes de dimensões apropriadas. No caso de utilizarmos os pregos de vergalhão, os mesmos deverão ser apontados previamente.

Devemos verificar as dimensões do piso de repartição e piso de uso que serão empregados, a fim de determinar as medidas dos pregos que serão utilizados. Usualmente, o piso de repartição é unido às vigas por pregos, assim como o piso de uso é unido aos pisos de repartição. Sugestões de especificações de pregos podem ser consultadas no capítulo 8 deste Caderno de Instrução.

6.8.3.5 Ações Complementares após a Construção

Após a construção da ponte, devem ser realizadas as seguintes atividades complementares:

a) inspeção visual das conexões entre as madeiras e reaperto das mesmas;
b) pintura em amarelo dos rodapés;
c) compactação das entradas e saídas da ponte, utilizando para isso, preferencialmente, material de boa granulometria;
d) sinalização da ponte mediante a colocação de placa indicativa da classe da mesma;
e) limpeza de toda a área próxima à ponte onde podem ser encontrados restos de materiais utilizados na construção; e
f) controle das primeiras viaturas que passam pela ponte, a fim verificar como a estrutura se comporta com as cargas móveis.

CAPÍTULO VII

A CLASSIFICAÇÃO DE PONTES DE MADEIRA EXISTENTES

7.1 CÁLCULOS PARA DETERMINAR A CLASSE DA PONTE DE MADEIRA

Este capítulo trata da classificação das pontes de madeira de vigas simples ou compostas, as quais são as mais comumente encontradas em todas as partes do território nacional. Assim, a fim de realizarmos um correto reconhecimento de engenharia e determinarmos a capacidade suporte (classe) de uma ponte de madeira, devemos seguir uma sequência lógica de cálculos, a seguir apresentada. Ressalta-se que a nomenclatura, os ábacos, as tabelas, são os mesmos utilizados no capítulo 6 deste Caderno de Instrução.

Classificar uma ponte significa atribuir a ela um número-classe. O número-classe de uma ponte representa o maior número-classe de uma viatura que essa ponte é capaz de suportar com segurança.

Ressalta-se que o número-classe é apenas um número-referência e não o peso da viatura, como muitos erroneamente imaginam. Desse modo, devemos consultar o anexo C deste Caderno de Instrução, que lista as classes das principais viaturas existentes em

nosso Exército e, assim, proporciona a comparação com a classe encontrada para a ponte.

Fig 7-1. Detalhe de um reconhecimento de uma ponte de madeira

7.1.2 CLASSIFICAÇÃO DE UMA PONTE DE MADEIRA

A classificação de uma ponte de madeira deve ser realizada considerando sempre o lance mais frágil da ponte, caso não seja possível determinar este lance, devemos classificar todos os lances da ponte.

Para a classificação devem ser considerados tanto a infraestrutura quanto a superestrutura. A sequência de cálculos a seguir, calcula, inicialmente, a capacidade da superestrutura, a qual é, via de regra, determinante para a classe de uma ponte. A seguir, verificamos a capacidade da infraestrutura, uma vez que, a classe da ponte poderá ser diminuída em face de uma fragilidade da mesma. Assim, após calcularmos a capacidade da superestrutura, devemos verificar se a infraestrutura está compatível com a classe determinada.

7.1.2.1 Sequência de Cálculos para a Classificação de uma Ponte de Madeira

	Calcular	Procedimentos	Observações
1º	Dimensões das vigas (bxd) Largura útil da ponte (Lu) Número de vigas (N) Vão (V) Número de vãos Número de pilares (NP) Dimensões dos pilares Número de vias (Nvias)	De posse de uma trena fazer a medição dos dados citados e contagem dos dados que forem necessários.	O comprimento do lance é o próprio comprimento da viga.
2º	Momento fletor admissível por viga (m)	Com as dimensões das vigas, entrar na tabela 6-7 e encontrar o momento fletor admissível para a referida viga.	
3º	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso (G)	Com o valor do comprimento do lance, entrar no ábaco 4 e determinar G.	No ábaco 4, o valor de G será dado para uma Lu = 7,30. Se Lu for ≠ 7,30 devemos multiplicar o G obtido por X/ 7,30, sendo X a Lu desejada.
4º	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte (g)	$g = \frac{G}{N}$	
5º	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente (mg)	$mg = \frac{gV^2}{8}$ O valor de mg também pode ser obtido diretamente pelo ábaco 7.	**Atenção: O valor de mg obtido pela fórmula ao lado será dado em tonelada x metro. Devemos multiplicar o resultado por 100 para expressar o valor em tonelada x cm. Com esse valor prosseguir nos cálculos.**
6º	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis (mm)	mm = m - mg	
7º	Verificação da compatibilidade de V e correção de mm	Se o V max da viga obtido pela tabela 6-7 for maior ou igual ao V existente prosseguir para o número 8. Se o vão máximo for menor que o V existente, reduzir mm na proporção Vm/ V e prosseguir para o número 8.	
8º	Espaçamento centro a centro entre as vigas (S)	$S = \frac{Lu}{N - 1}$	

Tabela 7-1. Sequência de cálculos para a classificação de ponte de madeira

	Calcular	Procedimentos	Observações
9º	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido (N1)	$N1 = \frac{1,524}{S} + 1$	Comparar N1 com N2: Se N2 for maior que N1, a classe para tráfego em um ou dois sentidos será a mesma e o valor de N1 será usado para determinar a classe. Se N2 for menor que N1, N2 será utilizado para determinar a classe para tráfego em dois sentidos e N1 para um sentido. Se Lu < 5,5 » não é necessário calcular N2.
10º	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos (N2)	$N2 = \frac{3N}{8}$	
11º	Momento fletor, devido às cargas móveis (Mm)	Mm = N1 x mm e Mm = N2 x mm	
12º	Determinação da classe baseada no Mm	Com Mm e V, entrar no ábaco 1 e determinar a classe baseada no Mm para Vtr sobre rodas. Com Mm e V, entrar no ábaco 2 e determinar a classe baseada no Mm para Vtr sobre lagartas.	
13º	Esforço cortante admissível por viga (q)	Com as dimensões das vigas, entrar na tabela 6-7 e encontrar o esforço cortante admissível para a referida viga.	
14º	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente (qg)	$qg = \frac{g\ V}{2}$	
15º	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis (qm)	qm = q - qg	
16º	Esforço cortante devido às cargas móveis por via (Qm)	Ábaco 8 ou Qm = 16/3 qm (N1,2 / N1,2 + 1)	
17º	Determinação da classe baseada no Qm	Com Qm e V, entrar no ábaco 5 e determinar a classe baseada no Qm para Vtr sobre rodas. Com Qm e V, entrar no ábaco 6 e determinar a classe baseada no Qm para Vtr sobre lagartas.	
18º	Comparação entre as classes obtidas	Neste momento, compara-se a classe obtida pelo momento fletor (item 12) com a obtida pelo esforço cortante (item 17). **A MENOR DAS CLASSES SERÁ A CLASSE DA PONTE.**	
19º	Verificar a largura entre rodapés	Com a largura entre os rodapés, entrar na tabela 6-11 e confirmar se as dimensões estão compatíveis.	
20º	Verificar o rodeiro da ponte	Ábaco 9 (conforme a espessura do piso e espaçamento das vigas) Se for o caso, abaixa-se a classe da ponte.	
21º	Verificar o contraventamento lateral	Com as dimensões das vigas, entrar na tabela 6-7 e verificar a necessidade de contraventamento lateral. Se for necessário e a ponte não o possuir, antes de classificar a ponte devemos colocar os contraventamentos.	
22º	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente (Qg)	Com o valor de G e V calcula-se: $Qg = \frac{G\ .\ V}{2}$ Em caso de vãos contíguos teremos: $Qg = \frac{G_1\ .\ V_1}{2} + \frac{G2\ .\ V2}{2}$ Onde G1 e G2 podem ser obtidos pelo ábaco 4.	Neste cálculo, estamos dividindo por dois o peso da superestrutura da ponte que incidirá sobre o cavalete (cada cavalete vai suportar a metade do peso).
23º	Esforço cortante total transmitido para o cavalete (ECT)	ECT = Qm x Nvias + Qg Devemos utilizar nos cálculos Qm obtido no item 16. Nessa fase estamos somando ao esforço cortante devido à carga permanente o esforço cortante da Vtr considerando também o número de vias da ponte.	

Tabela 7-1. Sequência de cálculos para a classificação de ponte de madeira (continuação)

	Calcular	Procedimentos	Observações
24º	A capacidade suporte de um pilar (CP)	Entrar na tabela 6.9 e verificar a capacidade de cada pilar.	Conforme as dimensões do pilar.
25º	Verificação da compatibilidade do Número de pilares (NP)	NP = ECT / CP→ Se NP for igual ou menor que o número real de pilares existentes (OK). Se NP for maior que o número de pilares existentes, devemos ir diminuindo a classe da ponte e encontrando novos valores de Qm (item 23) até que NP seja igual ou menor que o número real de pilares existentes.	

Tabela 7-1. Sequência de cálculos para a classificação de ponte de madeira (continuação)

7.1.2.2 Exemplos de Cálculos para a Classificação de uma Ponte de Madeira

Exemplo 1. Classificar uma ponte de vigas de madeira com as seguintes características: duas vias de tráfego, 6 pilares de madeira de 30x30cm, chapéu de 30x30cm, vão de 6 metros, 10 vigas com as dimensões de 25 x 45 cm, largura da pista de rolamento de 7,30 metros, piso de madeira com 12,5 cm de espessura. Não há contraventamentos laterais e a ponte apresenta apenas um lance.

	Calcular	Procedimentos
1º	Dimensões das vigas (bxd) Largura útil da ponte (Lu) Número de vigas (N) Vão (V) Número de vãos Número de pilares (NP) Dimensões dos pilares Número de vias (Nvias)	(bxd) = 25 x 45 cm Lu = 7,3 m N = 10 Vão (V) = 6 m Número de vãos = 1 Número de pilares (NP) = 4 Dimensões dos pilares = 30x30cm (bxd) Número de vias (Nvias) = 2
2º	Momento fletor admissível por viga (m)	m = 1493,64 t x cm
3º	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso (G)	ábaco 4 » G = 1,63 t/m
4º	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte (g)	$g = \frac{1,63}{10}$ » g = 0,163 t /m
5º	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente (mg)	$mg = \frac{gV^2}{8}$ » $mg = \frac{0,163 \times 6^2}{8}$ » mg = 0,7335 t x m » mg = 73,35 t x cm
6º	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis (mm)	mm = m - mg » mm =1493,64 – 73,35 = 1420,29 t x cm
7th	Verificação da compatibilidade de V e correção de mm	6,55 m > 6 m (ok)
8º	Espaçamento centro a centro entre as vigas (S)	$S = \frac{7,3}{10 - 1}$ » S = 0,81 m
9º	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido (N1)	$N1 = \frac{1,524}{0,81} + 1$ » N1 = 2,88
10º	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos (N2)	$N2 = \frac{3 \times 10}{8}$ » N2 = 3,75 Sendo N2 > N1, a classe para tráfego em um ou dois sentidos será a mesma e o valor de N1 será usado para determinar a classe.
11º	Momento fletor, devido às cargas móveis (Mm)	Mm = 2,88 x 1420,29 » Mm = 4090,4 t x cm
12º	Determinação da classe baseada no Mm	ábaco 1 » classe 60 sobre rodas ábaco 2 » classe 40 sobre lagartas

Tabela 7-2. Exemplo de cálculos para a classificação de ponte de madeira

	Calcular	Procedimentos
13º	Esforço cortante admissível por viga (q)	Tabela 6.7 » q = 8,16 t
14º	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente (qg)	qg = $\frac{0,163 \times 6}{2}$ » qg = 0,489 t
15º	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis (qm)	qm = 8,16 – 0,489 » qm = 7,67 t
16º	Esforço cortante devido às cargas móveis por via (Qm)	Ábaco 8 ou Qm = 16/3 x 7,67 (2,88 / 2,88 + 1) Qm = 16/3 x 5,693 » Qm = 30,36 t
17º	Determinação da classe baseada no Qm	ábaco 5 » classe 61 sobre rodas ábaco 6 » classe 49 sobre lagartas
18º	Comparação entre as classes obtidas	**A MENOR DAS CLASSES SERÁ A CLASSE DA PONTE.** **Logo, a classe será de 60 sobre rodas e 40 sobre lagartas.**
19º	Verificar a largura entre rodapés	Com a largura entre os rodapés, entrar na tabela 6-12 e confirmar se as dimensões estão compatíveis. (ok)
20º	Verificar o rodeiro da ponte	Ábaco 9 » com a espessura de 12,5 cm e o espaçamento entre as vigas de 0,81 m obtemos a classe 40. Sendo assim, a classe será diminuída para: 4**0 sobre rodas e 40 sobre lagartas.**
21º	Verificar o contraventamento lateral	Essa viga não necessita de contraventamento lateral.
22º	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente (Qg)	Com o valor de G e V calcula-se: Qg = $\frac{1,63 \times 6}{2}$ » Qg = 4,89 t
23º	Esforço cortante total transmitido para o cavalete (ECT)	ECT = 30,36 x 2 + 4,89 » ECT = 65,61 t
24º	A capacidade suporte de um pilar (CP)	Tabela 6.9 » pilar de 30x30cm CP = 32,6 t
25º	Verificação da compatibilidade do Número de pilares (NP)	NP = $\frac{ECT}{CP}$ » NP = 65,61/ 32,6 = 2,01 sendo NP menor que o número real de pilares existentes (OK).

Tabela 7-2. Exemplo de cálculos para a classificação de ponte de madeira (continuação)

Exemplo 2. Classificar uma ponte de vigas de madeira com as seguintes características: uma via de tráfego, 2 pilares de madeira de 25x25cm, chapéu de 25x25cm, vão de 5 metros, 10 vigas com as dimensões de 20 x 20 cm, largura da pista de rolamento de 2,90 metros, piso de madeira com 10,0 cm de espessura. Não há contraventamentos laterais e a ponte apresenta apenas um lance.

	Calcular	Procedimentos
1º	Dimensões das vigas (bxd) Largura útil da ponte (Lu) Número de vigas (N) Vão (V) Número de vãos Número de pilares (NP) Dimensões dos pilares Número de vias (Nvias)	(bxd) = 20 x 20 cm Lu = 2,90 m N = 10 Vão (V) = 5 m Número de vãos = 1 Número de pilares (NP) = 2 Dimensões dos pilares = 25x25cm (bxd) Número de vias (Nvias) = 1
2º	Momento fletor admissível por viga (m)	m = 236,08 t x cm
3º	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso (G)	ábaco 4 » G = 1,51 t/m para Lu = 7,30 G = 1,51 x 2,90/ 7,30 » **G = 0,60 t/m** para Lu = 2,90
4º	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte (g)	$g = \frac{0,60}{10}$ » g = 0,06 t /m
5º	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente (mg)	$mg = \frac{gV^2}{8}$ » $mg = \frac{0,06 \times 25}{8}$ » mg = 0,1875 t x m » mg = 18,75 t x cm
6º	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis (mm)	mm = m - mg » mm = 236,08 – 18,75 = 217,33 t x cm
7º	Verificação da compatibilidade de V e correção de mm	Vmax de 2,90 m < V existente de 5,0 m » mm (corrigido) = 217,33 x 2,90/ 5,0 » **mm (corrigido) = 126,06 t x cm**
8º	Espaçamento centro a centro entre as vigas (S)	$S = \frac{2,9}{10 - 1}$ » S = 0,32 m
9º	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido (N1)	$N1 = \frac{1,524}{0,32} + 1$ » N1 = 5,76
10º	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos (N2)	Como Lu < 5,5 » não é necessário calcular N2.
11º	Momento fletor, devido às cargas móveis (Mm)	Mm = 5,76 x 115,18 » Mm = 663,44 t x cm
12º	Determinação da classe baseada no Mm	ábaco 1 » classe 8 sobre rodas ábaco 2 » classe 6 sobre lagartas
13º	Esforço cortante admissível por viga (q)	Tabela 6.7 » q = 2,9 t
14º	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente (qg)	$qg = \frac{0,06 \times 5}{2}$ » qg = 0,15 t
15º	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis (qm)	qm = 2,9 – 0,15 » qm = 2,75 t
16º	Esforço cortante devido às cargas móveis por via (Qm)	Ábaco 8 ou Qm = 16/3 x 2,75 (5,76 / 5,76 + 1) Qm = 12,50 t
17º	Determinação da classe baseada no Qm	ábaco 5 » classe 18 sobre rodas ábaco 6 » classe 20 sobre lagartas
18º	Comparação entre as classes obtidas	A MENOR DAS CLASSES SERÁ A CLASSE DA PONTE. Logo, a classe será de 8 sobre rodas e 6 sobre lagartas.
19º	Verificar a largura entre rodapés	As dimensões estão compatíveis. (ok)
20º	Verificar o rodeiro da ponte	Ábaco 9 » espessura compatível com a classe
21º	Verificar o contraventamento lateral	Essa viga não necessita de contraventamento lateral.

Tabela 7-3. Exemplo de cálculos para a classificação de ponte de madeira

	Calcular	Procedimentos
22º	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente (Qg)	Com o valor de G e V calcula-se: Qg = $\frac{0,60 \times 5}{2}$ » Qg = 1,5 t
23º	Esforço cortante total transmitido para o cavalete (ECT)	ECT = 12,50 x 1 + 1,5 » ECT = 14,0 t
24º	A capacidade suporte de um pilar (CP)	Tabela 6.9 » pilar de 25x25cm CP = 22,7 t
25º	Verificação da compatibilidade do Número de pilares (NP)	NP = $\frac{14}{22,7}$ » NP = 0,62 sendo NP menor que o número real de pilares existentes (OK).

Tabela 7-3. Exemplo de cálculos para a classificação de ponte de madeira (continuação)

7.2 SISTEMA MILITAR DE SINALIZAÇÃO DE PONTES

A sinalização das pontes de madeira tem a finalidade de permitir uma rápida e eficiente verificação da capacidade-suporte da ponte em questão, sendo imprescindível para a segurança da transposição da mesma, uma vez que há viaturas e pontes de distintos números-classe.

As pontes de madeira são classificadas, segundo a largura útil entre os rodapés, em duas categorias: de uma via (ou faixa de tráfego) e de mais de uma via (ou faixas de tráfego).

7.2.1 SINALIZAÇÃO DE PONTE DE UMA VIA OU FAIXA DE TRÁFEGO

Para sinalizar uma ponte de uma via, utiliza-se uma placa com fundo amarelo e letras pretas. O número representa a classe da viatura mais pesada que pode fazer a travessia com segurança pela ponte. Para pontes com classe acima de 30, recomenda-se especificar a classe para viaturas sobre rodas e sobre lagartas. Se a largura da ponte for menor que o prescrito na tabela 6.11, uma placa retangular deve ser colocada em baixo da circular, contendo a largura útil real da ponte. A figura a seguir ilustra a sinalização para pontes de uma via ou faixa de tráfego.

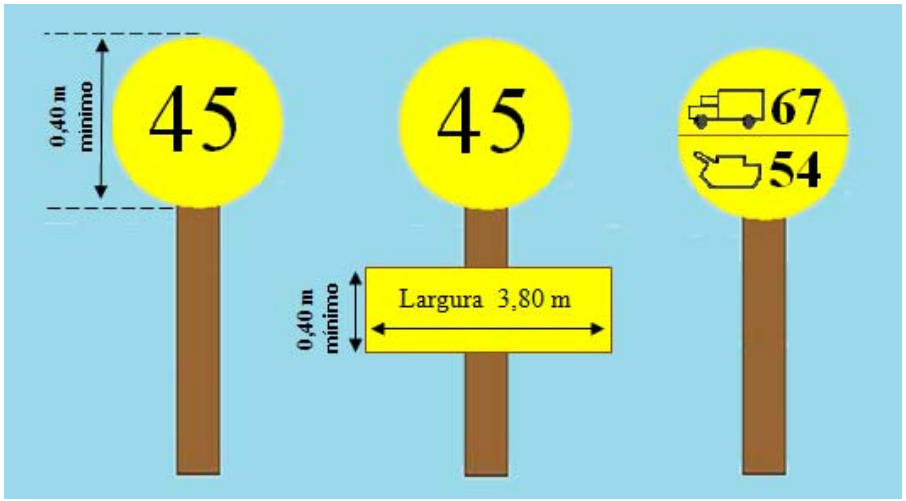


Fig 7-2. Sinalização para pontes de uma via. A figura da esquerda sinaliza uma ponte classe 45 sem restrições. A figura central uma ponte classe 45 com restrição em sua largura útil. A figura da direita uma ponte que especifica a diferença entre a classe para Vtr sobre rodas e sobre lagartas.

7.2.2 SINALIZAÇÃO DE PONTE DE DUAS VIAS OU FAIXAS DE TRÁFEGO

Para sinalizar uma ponte de duas vias, utiliza-se, igualmente, uma placa com fundo amarelo e letras pretas. O número da esquerda representa a classe da ponte para tráfego com fluxo duplo, enquanto o número da direita para tráfego com fluxo simples (apenas uma Vtr de cada vez cruzando a ponte). Também é possível especificar a classe para viaturas sobre rodas e sobre lagartas na mesma placa. A figura a seguir ilustra a sinalização para pontes de duas vias ou faixas de tráfego.

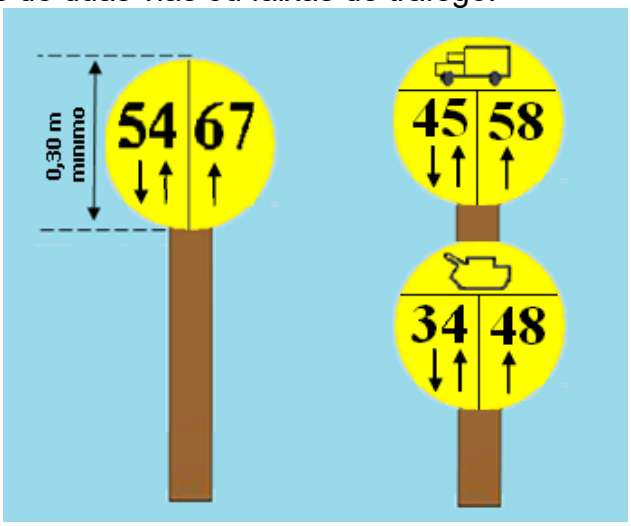


Fig 7-3. Sinalização para pontes de duas vias. A figura da esquerda sinaliza uma ponte classe 54 quando utilizada as duas vias, simultaneamente, ou classe 67 se utilizada uma via de cada vez. A figura da direita uma ponte que especifica a diferença entre a classe para Vtr sobre rodas e sobre lagartas.

7.3 OS TIPOS DE TRAVESSIA DE UMA PONTE

O tipo de travessia de uma viatura ou de um comboio de viaturas sobre uma ponte é determinado à base da classificação das pontes e viaturas. Sendo assim, podemos considerar dois tipos de travessia: A TRAVESSIA NORMAL E A TRAVESSIA ESPECIAL.

7.3.1 CARACTERÍSTICAS DA TRAVESSIA NORMAL

Ocorre quando o número-classe da viatura é igual ou inferior à classe da ponte. As viaturas devem manter entre si uma distância mínima de 30 metros e velocidade máxima de 40 Km/h.

7.3.1.2 Características da Travessia Especial

Sob condições excepcionais, o comando do FTTOT pode autorizar a passagem de viaturas por pontes de classe inferior ao número-classe das viaturas. Essas travessias são conhecidas como especiais e são divididas em dois tipos: A TRAVESSIA ESPECIAL COM CAUTELA E A TRAVESSIA ESPECIAL COM PERIGO.

7.3.1.2.1 Travessia Especial com Cautela

O número-classe para essa travessia pode ser obtido multiplicando-se o número-classe da ponte de travessia normal em um sentido por 1,25. Para esse tipo de travessia

a velocidade máxima deve ser de 15 Km/h, o intervalo mínimo entre viaturas de 50 metros e o motorista da viatura não deve parar, acelerar ou mudar de marcha sobre a ponte.

7.3.1.2.2 Travessia Especial com Perigo

Somente deve ser realizada quando houver precisão de perdas de vidas excessivas, caso não seja feita a transposição da ponte. Nesse tipo de travessia, uma viatura de cada vez deve cruzar a ponte e, após cada transposição, um oficial de Engenharia deve vistoriar a mesma. Além disso, a velocidade máxima deve ser de 5 Km/h, a viatura deve se deslocar no eixo central da ponte e também não deve parar, acelerar ou mudar de marcha sobre a ponte.

CAPÍTULO VIII

AS LIGAÇÕES ENTRE OS COMPONENTES DAS PONTES DE MADEIRA

8.1 AS LIGAÇÕES PARA AS MADEIRAS

As ligações entre as peças de madeira em uma ponte podem ser efetuadas das seguintes formas: por pregos, por parafusos, por anéis metálicos, por chapas metálicas, por colas ou por protensão. Além dessas ligações, existe aquela que une a madeira ao concreto ou a madeira ao asfalto, em pontes que utilizam estes tipos de materiais.

A fim de se evitar o fendilhamento da madeira, quando da fixação desses elementos de união, sempre deve ser realizada uma pré-furação da mesma, além de se obedecer aos espaçamentos entre esses elementos de ligação.

8.1.1 FORMAS DE LIGAÇÕES EXISTENTES

8.1.1.1 Pregos

Os pregos são largamente empregados nas pontes de madeira. Podemos considerar, também, como um tipo de prego, **os vergalhões (normalmente de 1/2 ou 5/8 de polegada),** os quais são utilizados para a união de componentes da ponte.

Temos que considerar que nunca uma estrutura deve ser fixada com apenas um prego e que à ação de fixar um prego, deve anteceder obrigatoriamente a ação da pré-furação. A pré-furação deve ser realizada num diâmetro pouco menor que o diâmetro do prego definitivo (para coníferas: d = 0,85 def e para dicotiledôneas: d = 0,98 def, onde def é o diâmetro efetivo medido nos pregos a serem usados).

Outra consideração importante, é que as ligações efetuadas com quatro ou mais pregos são as consideradas rígidas, assim, sempre que possível deve-se procurar realizar a ligação desta maneira. Além disso, os pregos deverão ser cravados em ângulos aproximadamente retos em relação às fibras da madeira e, ainda, as cabeças dos mesmos devem estar niveladas com a superfície da madeira.

A figura abaixo representa, inicialmente, a fixação de duas peças de madeira e, em seguida, a ligação de uma madeira e uma peça metálica. O valor de x deve ser no mínimo igual à quantia de 12 vezes o diâmetro do prego (d). Além disso, no caso de que o prego penetre em mais de uma peça de madeira, esta penetração em qualquer uma das peças ligadas não deve ser menor que a espessura da peça mais fina (caso contrário, o prego será considerado não resistente).

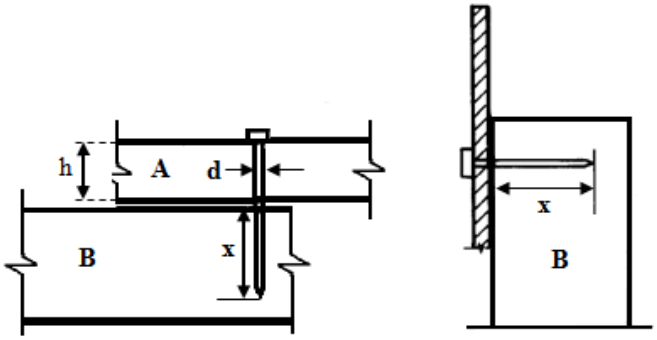


Fig 8-1. Fixação de peças de madeira e metálica utilizando pregos

Outra consideração quando utilizamos os pregos é que, a fim de evitar o fendilhamento da madeira, a espessura do prego (d) não deve ser maior que 20% da altura (h) da menor peça de madeira pregada.

O espaçamento entre os pregos ou também entre parafusos ajustados deve respeitar as distâncias mínimas apresentadas na figura a seguir. Estas distâncias consideram a situação mais comum para a união das madeiras em pontes de vigas simples, onde geralmente, elas são submetidas a um esforço de compressão normal ao sentido das fibras da madeira. Para outras formas de emprego a NBR 7190-97 deve ser consultada.

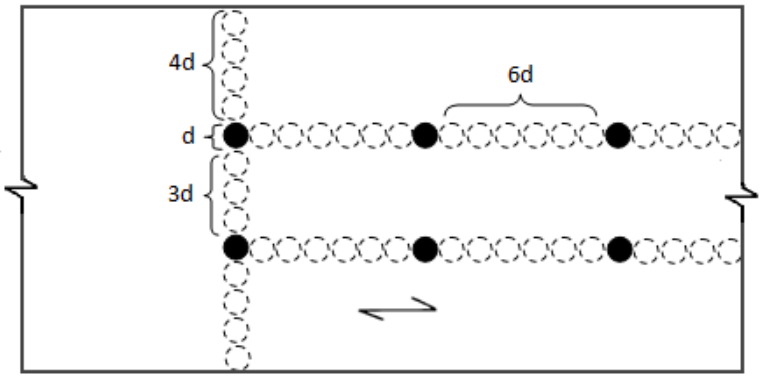


Fig 8-2. Distância entre os pregos ou parafusos em uma ligação entre madeiras (vista de topo)

A figura a seguir nos apresenta, alguns dos pregos mais utilizados na construção de pontes de madeira, para a fixação de pisos de repartição, pisos de uso e caixaria de concreto. Apresenta, também, a nomenclatura de cada prego, assim como a quantidade existente por Kg, uma vez que os pregos são adquiridos em pacotes de um Kg.

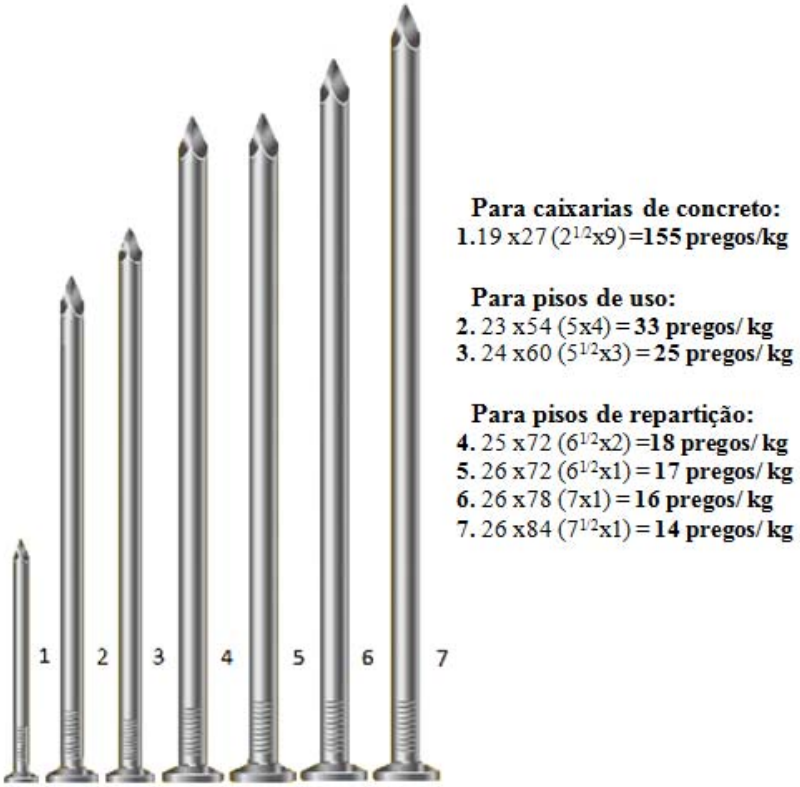


Fig 8-3. Pregos utilizados em pontes de madeira

8.1.1.2 Parafusos

Os parafusos são também bastantes utilizados nas pontes de madeira.

Assim como ocorre com os pregos, nunca uma estrutura deve ser fixada com apenas um parafuso e, também, deve ser realizada uma pré-furação do local onde será inserido o parafuso (a pré-furação deve ser feita com diâmetro (d) não maior que o diâmetro (d) do parafuso, acrescido de 0,5 mm).

O seu espaçamento segue as mesmas regras dos espaçamentos apresentados para os pregos e, também, da mesma maneira, segue o conceito de que as ligações efetuadas com quatro ou mais parafusos são as consideradas rígidas.

A figura a seguir representa, inicialmente, a fixação de duas peças de madeira e, em seguida, a ligação de uma madeira e uma peça metálica. Quando utilizamos parafusos, a sua espessura deve ter no máximo a metade da altura (h) da menor peça de madeira parafusada.

Normalmente, para as pontes se utiliza o parafuso passante, o qual deve atravessar completamente as peças de madeira a serem unidas. Dependendo das dimensões das peças de madeira podem ser utilizadas diversas bitolas destes parafusos (1/2 Pol, 3/4 Pol, 5/8 Pol). Em cada extremidade do parafuso, são colocadas uma arruela e uma porca. A arruela deve ter um diâmetro ou comprimento do lado (arruelas quadradas) de pelo menos 3d (onde d é o diâmetro do parafuso) sob a cabeça e a porca. As arruelas devem estar em contato total com as peças de madeira e sua espessura mínima para utilização em pontes é de 9 mm.

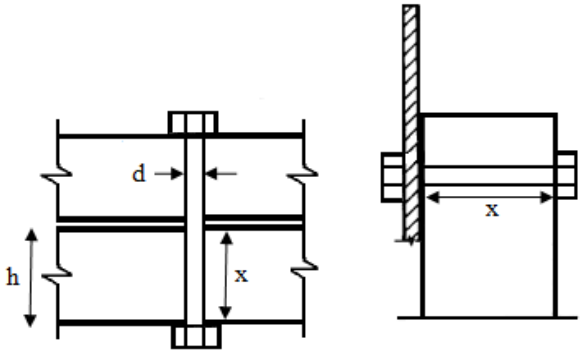


Fig 8-4. Fixação de peças de madeira e metálica utilizando parafuso

8.1.1.3 Anéis metálicos

Normalmente, os anéis metálicos são utilizados para a união de peças que estejam em sentidos perpendiculares entre si. Além disso, os anéis metálicos necessitam de um parafuso fixador, o qual deve ser colocado no centro do anel a fim de que seja realizada sua fixação à madeira. Este tipo de ligação, não permite a união de vigas topo-a-topo.

A seguir, representa-se uma ligação utilizando um anel sujeito ao esforço de compressão. Nesta figura observa-se o anel metálico e as distâncias mínimas a ser consideradas neste tipo de ligação.

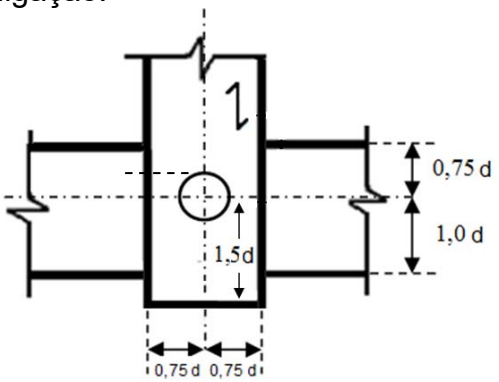


Fig 8-5. Fixação de peças de madeira com anel metálico

8.1.1.4 Chapas metálicas

Em pontes de madeira, as chapas metálicas, normalmente, são utilizadas para **REFORÇAR** a união de peças de madeira topo-a-topo, podendo possuir ou não dentes estampados. Caso não possua esses dentes, podem ser fixadas por pregos ou parafusos.

Importante observar que a espessura mínima das chapas de aço utilizadas neste tipo de ligação deve ser de 9 mm e devemos utilizar a chapa nos dois lados da ligação topo-a-topo.

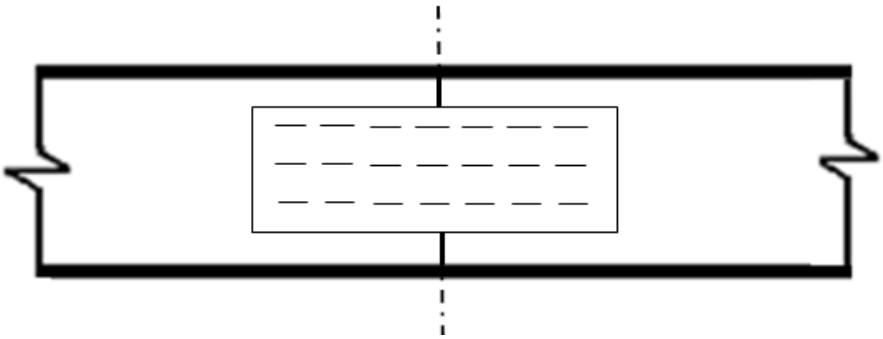


Fig 8-6. Fixação de peças de madeira utilizando chapa com dentes estampados

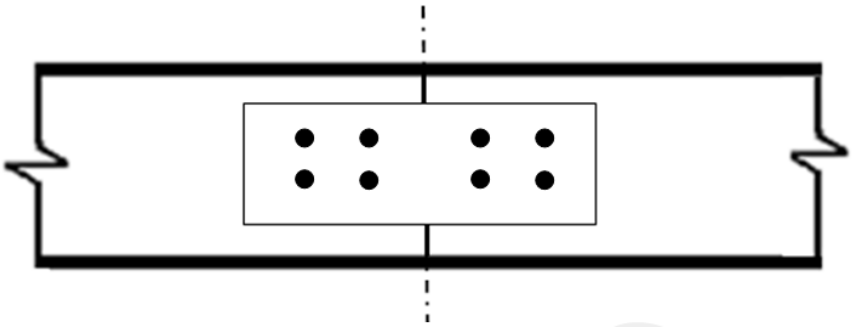


Fig 8-7. Fixação de peças de madeira utilizando chapa fixada com pregos ou parafusos

8.1.1.5 Colas

As ligações com cola somente podem ser empregadas em juntas longitudinais da madeira laminada colada. O emprego de cola nas ligações deve obedecer a prescrições técnicas provadamente satisfatórias. Somente pode ser colada madeira seca, ao ar livre ou em estufa, sendo que a resistência da junta colada deve ser no mínimo igual à resistência ao cisalhamento longitudinal da madeira.

8.1.1.6 Protensão

Esta técnica de ligação entre madeiras está permitindo uma evolução na construção das pontes de madeira, proporcionando pontes mais resistentes e adequadas às nossas estradas. A técnica consiste na união de pranchões de madeira serrada, dispostos lado-a-lado e comprimidos, transversalmente, por meio de barras de protensão, o que permite o surgimento de propriedades de resistência e de elasticidade na direção transversal da ponte, aumentando, assim, a sua classe se comparada a tabuleiros não protendidos.

Esta barra de protensão é tracionada a uma tensão determinada e, após a construção da ponte e inicio de sua utilização, esse esforço de tracionamento deve ser reaplicado em períodos também determinados, a fim de se manter a capacidade suporte do tabuleiro. A seguir, podemos observar a disposição desta ligação.

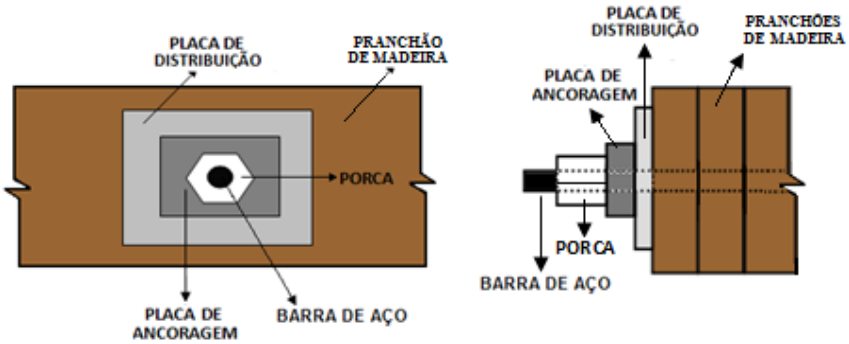


Fig 8-8. Sistema de protensão para pontes de madeira (vista lateral e corte tranversal)

8.1.1.7 Ligação madeira-asfalto ou madeira-concreto

Quando o rodeiro da ponte (piso de uso e piso de repartição) é constituído de concreto ou asfalto ou mesmo a combinação de ambos, devemos observar algumas particularidades para que a ligação da madeira a estes materiais seja realizada da forma correta. Deste modo, devem ser utilizados para esta ligação além da tela metálica, conectores fixados à madeira por resina epoxi. Esses conectores têm a finalidade de unir o concreto à madeira e são fundamentais para a correta construção do rodeiro nesses tipos de pontes. Normalmente, nessas pontes as próprias vigas funcionam também como caixaria para o concreto, o que facilita a preparação para concretagem. Importante observar que devem ser colocadas tábuas entre uma viga e outra para fechar esta caixaria mencionada e proporcionar uma ligação eficiente. Além disso, conforme apresentado na figura a seguir, os conectores devem ser fixados sempre às vigas, para que o tabuleiro receba os esforços da maneira mais conjunta possível. Assim, uma vez fixados os conectores e telas metálicas, o sistema estará em condições de receber o concreto, conforme podemos observar na figura a seguir.

Fig 8-9. Sistema de ligação madeira-concreto

Fig 8-10. Ponte de madeira recebendo concreto como rodeiro

Os conectores devem ser instalados a uma distância de 25 cm entre si, nos primeiros dois metros de ponte, depois disso, devem ser espaçados de 50 cm, na parte central. Isto ocorre devido à necessidade de se suportar ao esforço cortante das cargas

móveis quando um veículo ingressa na ponte, o que nos leva a reforçar as suas extremidades com um número maior de conectores.

A figura a seguir ilustra as dimensões de um conector que deve possuir comprimento total de 54 cm, e deve ser constituído de aço CA50, galvanizado a fogo e 12,5 mm de diâmetro. Admite-se também a utilização de conectores tipo vergalhões de aço de ½ polegada.

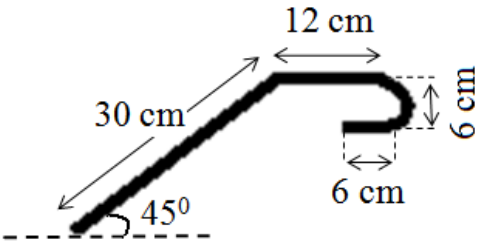


Fig 8-11. Conector de aço galvanizado

Os conectores também podem ser compostos de vergalhões de aço conforme podemos observar na figura a seguir:

Fig 8-12. Detalhe de conectores de vergalhão de meia polegada

CAPÍTULO IX

A REPARAÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA

9.1 GENERALIDADES

A vistoria periódica das estruturas da ponte, conforme visto nos métodos de proteção, capítulo 3 deste manual, nos traz a possibilidade de constatar o momento em que a estrutura da ponte necessitará de algum reparo. Sendo assim, surge o conceito da **REPARAÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA**.

Evidentemente, na maioria das vezes, se torna mais interessante economicamente reparar uma ponte que construir outra. Assim, normalmente, a reparação surge como uma opção viável se considerarmos o custo-benefício do projeto.

Esta reparação pode ser realizada devido **à DETERIORAÇÃO INICIAL OU à DETERIORAÇÃO SEVERA.**

Fig 9-1. Exemplo de ponte de madeira deteriorada

9.2 REPARAÇÃO DEVIDO À DETERIORAÇÃO INICIAL

Na deterioração inicial, a estrutura da ponte ainda não está comprometida, estando em perfeitas condições funcionais. Assim, sendo precocemente detectado o problema, quer seja por agentes bióticos ou abióticos, é possível saná-lo a um custo acessível e preservar a ponte de danos mais acentuados.

Esta reparação, realizada "*in loco*", utiliza como principais técnicas: a fumigação, a injeção, a aspersão, e o pincelamento.

9.2.1 TÉCNICAS DE REPARAÇÃO DEVIDO À DETERIORAÇÃO INICIAL

9.2.1.1 A Técnica da Fumigação

Esta técnica consiste em submeter a estrutura atacada por agentes nocivos (neste caso, normalmente cupins, formigas), à ação de um gás tóxico mediante equipamentos semelhantes ao já conhecido "fumacê". Esta exposição deve ser por um período determinado e possui a vantagem de atingir uma penetração profunda do agente em forma gasosa na madeira a ser reparada. No entanto, a limitação desta técnica é a de oferecer apenas uma ação momentânea sobre o agente nocivo. Assim, recomenda-se combinar esta técnica com as de aspersão ou pincelamento.

Outra recomendação é de que a estrutura de madeira a ser atingida pelo produto gasoso (utiliza-se o brometo de metila, a fosfina, entre outros) deve ser envolta e vedada por lona impermeável ao referido gás.

9.2.1.2 A técnica da injeção

Esta técnica de simples execução é bastante eficiente em ataques pontuais dos agentes nocivos. Assim, identificando o local do problema, utiliza-se a seringa hipodérmica para introduzir o produto diretamente nos orifícios produzidos pelos insetos. Também, podemos lançar mão de uma furadeira e executar orifícios auxiliares para injetar o produto. Esta técnica deve ser combinada com a aspersão ou pincelamento, a fim de retardar uma nova infestação.

9.2.1.3 A técnica da aspersão

Para utilizarmos esta técnica a madeira a ser reparada deve estar isenta de resíduos ou detritos acumulados.

A técnica da aspersão pode utilizar equipamentos muito simples e conhecidos de todos, largamente empregados em lavouras e em dedetizações domésticas. Estes pulverizadores produzem um fluxo contínuo do agente preservativo à madeira.

Esta técnica, se bem executada, permite que o produto atinja a todos os lados da madeira, as suas junções, encaixes, etc, proporcionando uma atuação muito mais ampla que a técnica da injeção.

9.2.1.4 A técnica do pincelamento

O pincelamento é a técnica de mais simples execução. No entanto, oferece uma ação apenas superficial à peça de madeira submetida a este tipo de reparo. Não é tão eficaz quanto a técnica da aspersão, pois não alcança pontos de difícil acesso da madeira. Em contrapartida, seu emprego é bastante viável economicamente, além da possibilidade de se revitalizar esteticamente a estrutura afetada.

9.3 REPARAÇÃO DEVIDO À DETERIORAÇÃO SEVERA OU TARDIA

Na deterioração tardia, a estrutura da ponte ou já está comprometida devido à ação dos agentes nocivos ou está na iminência de ser. Assim, se faz necessário uma atuação mais incisiva, onde o problema tem que ser resolvido sob pena de ocorrer sérios riscos à segurança da estrutura. Evidentemente, este tipo de recuperação é mais dispendiosa que a reparação devido à deterioração inicial, no entanto, ainda é mais econômica que a construção de uma outra ponte.

O emprego deste tipo de reparação requer a utilização de mão-de-obra especializada, a fim de não se danificarem estruturas vizinhas àquela que esta sendo reparada e, também, para que a segurança não seja comprometida durante estes trabalhos.

Esta reparação também é realizada "*in loco*", sendo as técnicas utilizadas as seguintes: a substituição, os reforços por conectores, os reforços por emenda, os reforços por camisa de concreto e os reforços por adesivos.

9.3.1 TÉCNICAS DE REPARAÇÃO DEVIDO À DETERIORAÇÃO TARDIA

9.3.1.1 A Substituição

A substituição consiste na simples troca das peças fortemente atingidas pelos agentes nocivos, por outras de iguais dimensões e características. Seu emprego requer habilidade do executor e somente é recomendado onde se observam poucas peças danificadas.

Sempre que uma peça é substituída, convém examinar as peças adjacentes, a fim de verificar se existe também um ataque, mesmo que inicial. Se for constatado que há agentes nocivos atuando também nestas madeiras vizinhas, deve-se efetuar um tratamento preservativo, antes que a substituição propriamente dita seja realizada.

9.3.1.2 Os Reforços por Conectores

Conforme verificado no capítulo 8 deste Caderno de Instrução, algumas das principais formas de ligação (conectores) para a madeira são os pregos, parafusos, as chapas metálicas e os anéis metálicos. Estes materiais podem ser utilizados, conjugados ou não a cortes na madeira, a fim de reforçar a estrutura ou mesmo prevenir uma maior separação de madeiras que apresentam rachaduras.

9.3.1.3 Os Reforços por Emendas

São, como o próprio nome diz, emendas, onde peças de madeira associadas com parafusos são adicionadas à estrutura danificada. Esta técnica é bastante eficiente quando a estrutura de madeira danificada apresenta rachaduras longitudinais.

9.3.1.4 Os Reforços por Camisa de Concreto

Um exemplo da utilização do reforço por camisa de concreto é a reparação de pilares de uma ponte que está sujeita fortemente à ação nociva do intemperismo. Deste modo, a camisa de concreto terá a função de proteger aquela madeira afetada de um novo ataque. Convém destacar, que antes da colocação da camisa de concreto, as peças de madeira devem receber novamente um tratamento preservativo adequado.

9.3.1.5 Os Reforços por Adesivos

Os adesivos são utilizados na forma de gel (resina epoxi) podendo ser empregados em conjunto com peças metálicas. Esta resina epoxi é um gel de betume que ao ser aplicado ocasiona um aumento da resistência e do peso da estrutura a que se está reparando. A grande vantagem deste método é o aumento da capacidade de carga e da flexibilidade da estrutura.

CAPÍTULO X

NOVAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM PONTES DE MADEIRA

10. GENERALIDADES

Atualmente, muitos países têm realizado estudos visando à construção de pontes de madeira que melhor se adaptem às novas exigências relativas à capacidade de suporte e durabilidade. Nas últimas três décadas, vários fatores contribuíram para esta melhoria: consciência mundial relacionada à preservação ambiental; possibilidade da madeira ser extraída agredindo menos o meio ambiente do que outros materiais (madeira de reflorestamento); menor custo por metro de ponte construída; maior versatilidade nos projetos e construções; inegável valor estético dessas pontes. Assim, devemos buscar estas novas tecnologias, verificando sempre o que há de mais moderno acerca do assunto, permitindo que possamos participar desta evolução que vem ocorrendo em todo o mundo.

10.1 A PONTE DE MADEIRA PROTENDIDA

As pontes protendidas de madeira surgiram na década de 1970, mais precisamente em 1976, como uma alternativa para a recuperação de pontes de madeira laminada pregada. Elas foram fortemente difundidas na América do Norte a partir dos anos 1980.

No Brasil, os primeiros estudos sobre as pontes protendidas foram realizados em 1995 e, desde então, vêm sendo realizados trabalhos acerca deste assunto. A primeira ponte da América do Sul a utilizar essa tecnologia foi construída no Brasil por pesquisadores da USP, na cidade de São Carlos , SP, no ano de 2006. Em todo o mundo, já foram construídas mais de 2500 pontes protendidas, sendo uma tendência o acréscimo desse número, devido a vários fatores: o seu baixo custo, grande capacidade suporte, grande durabilidade, facilidade e rapidez de construção.

Este tipo de ponte é composta, basicamente, por uma superestrutura formada por lâminas de madeira serradas, dispostas lado-a-lado e comprimidas, transversalmente, por meio de barras de protensão ou fios de aço. Estas últimas são tensionadas e têm sua força controlada, garantindo que a placa de madeira ganhe rigidez transversal (no sentido da largura da ponte) e não apenas longitudinal (no sentido do comprimento da ponte), o que permite que o veículo tenha liberdade para transitar em qualquer local da seção do tabuleiro. Essas barras de protensão (metálicas) devem ter diâmetro entre 16 e 35 mm, e resistência mecânica entre 827 e 1.033 MPa, além disso, todos os elementos metálicos devem ser protegidos contra a corrosão.

Este tensionamento, realizado mediante sistemas hidráulicos, deve ser repetido ao menos duas vezes após a construção e efetiva utilização da ponte (recomenda-se após três dias e após oito semanas), uma vez que, devido à lenta deformação da madeira, ocorrerá um alívio de tensões nas barras de aço e, em consequência, uma perda da capacidade de suporte da ponte. Este tabuleiro é a base da superestrutura da ponte e deve ser apoiado em encontros (infraestrutura) projetados conforme a necessidade (vide capítulo 8).

As madeiras necessárias para este tipo de ponte são facilmente encontradas, uma vez que possuem medidas bastante comuns: espessuras de 5 a 10 cm e altura de 13 a

40. O comprimento pode ser de até 6 metros para a peça de madeira, no entanto, comprimentos maiores podem ser alcançados, bastando a união dessas peças de madeira topo-a-topo, conforme podemos observar na figura a seguir:

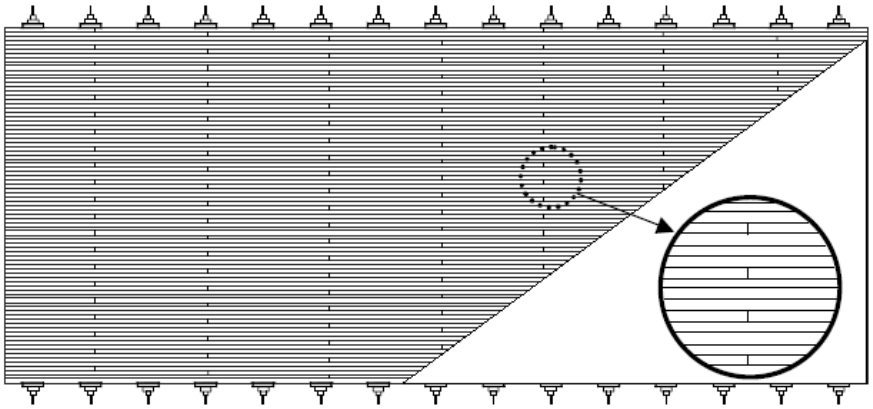


Fig 10-1. Detalhe de seção de ponte utilizando madeira laminada protendida

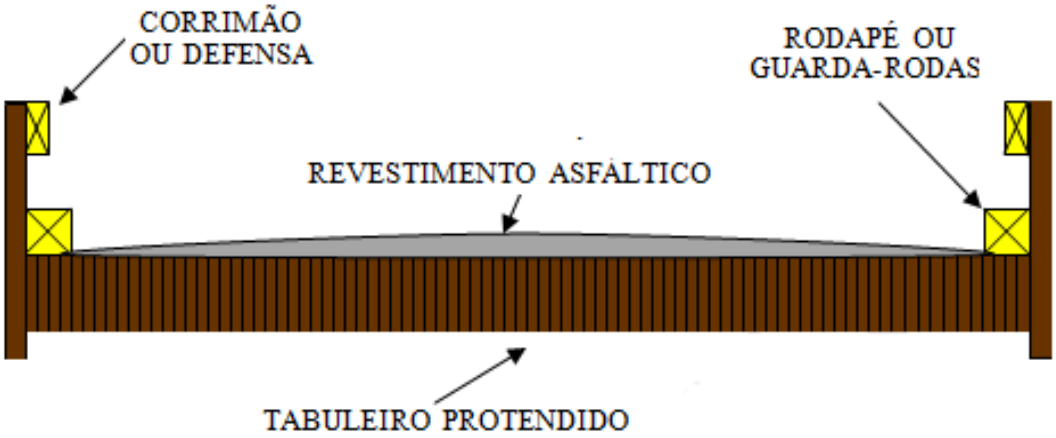


Fig 10-2. Corte transversal de ponte de madeira protendida com revestimento asfáltico

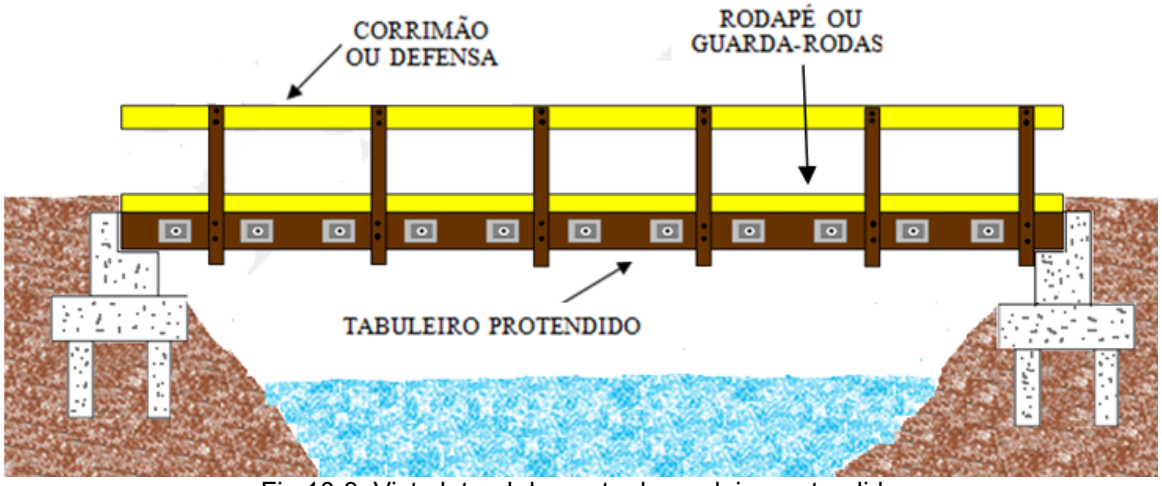


Fig 10-3. Vista lateral de ponte de madeira protendida

Além do custo reduzido dessas pontes, se comparado a pontes metálicas ou de concreto (aproximadamente 1/3 do valor de uma ponte de concreto), outra grande vantagem é a de proporcionar sua construção prévia em outros locais que não o canteiro

de obras propriamente dito. Assim, podem ser pré-fabricadas e estocadas a fim de utilizações futuras, uma vez que podem ser montadas em seções, o que proporciona uma enorme variedade de possibilidades logísticas. Desta forma, a largura e o comprimento desejado para a ponte, podem ser obtidos unindo-se no local da construção da mesma, diversas seções pré-fabricadas. Outra grande vantagem deste sistema é a grande capacidade suporte dessas pontes, obtendo-se classes elevadas propícias ao emprego militar.

O emprego dessas pontes é mais indicado aos vãos de pequena extensão, mas que necessitem de uma ponte de classe elevada. No entanto, com a construção de suportes intermediários essa ponte pode vencer vãos de grandes dimensões, como se fizéssemos várias pontes em sequência.

Para o seu revestimento, normalmente utiliza-se o asfalto, o concreto ou a combinação de ambos. Para a colocação do asfalto recomenda-se o usinado à quente, numa espessura aproximada de 8 cm, aplicado em duas camadas.

Além do tabuleiro simples, a ponte protendida pode ser construída das seguintes formas: seção em T; seção celular; seção em T com vigas treliçadas; ou com seção mista.

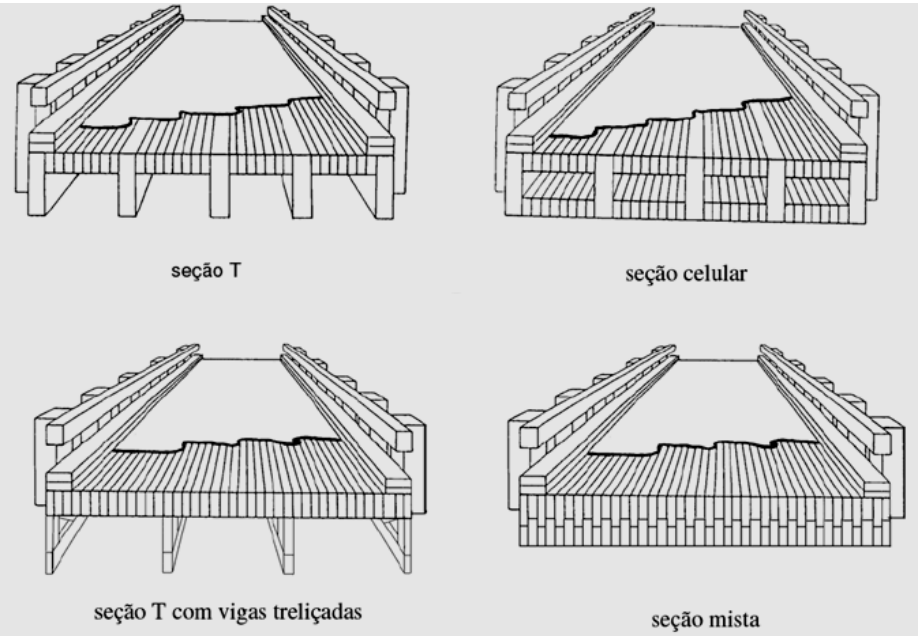


Fig 10-4. Tipos de tabuleiros de pontes protendidas

Como outras recomendações construtivas para estas pontes pode-se citar: todas as peças de madeira devem ser submetidas preferencialmente a um método de tratamento sob pressão utilizando-se CCA; os conectores metálicos devem ter tratamento anticorrosão (galvanizados a fogo), assim como o sistema de protensão; é indispensável a pavimentação asfáltica com manta geotêxtil impregnada, para evitar fissuras; a protensão deve ser realizada da barra central para as extremidades (os encontros da ponte) de modo simétrico.

Fig 10-5. Exemplo de uma ponte protendida com revestimento asfáltico

10.2 A PONTE MADEIRA-CONCRETO

A combinação madeira-concreto tem se mostrado bastante eficiente em diversos tipos de pontes, tanto para a combinação destes materiais na infraestrutura quanto na superestrutura.

Na infraestrutura podem ser utilizados pilares de madeira apoiados em sapatas retangulares de concreto. Neste caso o concreto destas sapatas deve ter **F_{ck} de 20 MPA,** sendo recomendável a utilização de concreto armado. Para o concreto utilizado nos encontros de uma ponte de madeira, recomenda-se um **F_{ck} também de 20 MPA**.

Na superestrutura, o concreto (combinado ou não com o asfalto) pode substituir as peças de madeira do rodeiro (piso de repartição, piso de uso, rodapé). Neste caso, o concreto deverá ter um **F_{ck} = 25 MPA**. A figura a seguir ilustra essa combinação, sendo um exemplo em que se utilizou madeira roliça.

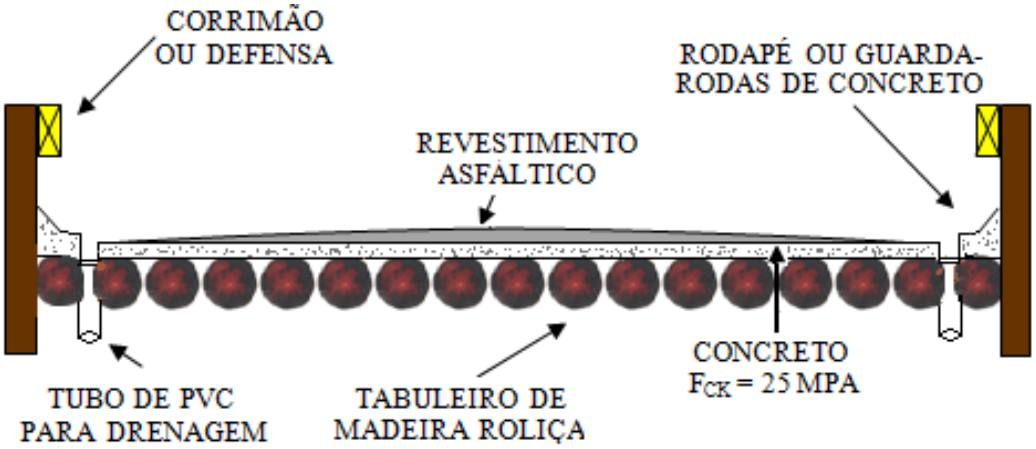


Fig 10-6. Tipos de tabuleiros de pontes protendidas

Este sistema consiste basicamente em uma laje de concreto montada sobre uma série de vigas de madeira encostadas umas às outras lado-a-lado. A ligação entre o concreto e as madeiras é realizada por uma série de conectores metálicos (vide capítulo 9 - As ligações entre os componentes das pontes de madeira) que proporcionam ao

tabuleiro um trabalho conjunto com as vigas. Assim, obtém-se, semelhante às pontes protendidas, uma rigidez transversal (no sentido da largura da ponte) e não apenas longitudinal (no sentido do comprimento da ponte). A exemplo do que ocorre com as pontes protendidas, o veículo tem liberdade para transitar em qualquer local da seção do tabuleiro.

Devem ser instalados tubos de PVC (quatro polegadas de diâmetro) a fim de permitir um eficiente sistema de drenagem de água para a ponte.

A tabela a seguir, nos fornece importantes subsídios para a construção deste tipo de pontes, oferecendo o suporte necessário para suportar Blindados de considerável Classe.

DIMENSÕES PARA PONTE CLASSE 45 (MADEIRA-CONCRETO)				
COMPRIMENTO DAS VIGAS (METROS)	VÃO (METROS)	DIAMETRO DAS VIGAS (CM)		
		MADEIRA C 60	MADEIRA C 50	MADEIRA C 40
6,0	5,5	30	30	30
7,0	6,5	30	30	30
8,0	7,5	30	30	30
9,0	8,5	32	33	35
10,0	9,5	36	37	39
11,0	10,5	40	41	43
12,0	11,5	44	45	---

Tabela 10-1. Dimensões para ponte classe 45 (madeira-concreto)

A ponte de madeira com tabuleiro de concreto apresenta vantagens como: proteger a infraestrutura das intempéries, o que, provavelmente, aumenta a vida útil da ponte e diminui o desgaste superficial por abrasão; proporcionar maior rigidez e resistência, uma vez que a ponte distribui os esforços mais eficientemente que em tabuleiros somente de madeira.

Este sistema de ponte possui um excelente custo-benefício se comparado a pontes metálicas ou de concreto, além de possuir relativa simplicidade de construção. Por este motivo tem sido cada vez mais utilizado, tanto em vias rurais quanto em urbanas.

Como outras recomendações construtivas para estas pontes pode-se citar: que todas as vigas de madeira devem ser submetidas, preferencialmente, a um método de tratamento sob pressão utilizando-se CCA; que os conectores metálicos devem ter tratamento anticorrosão (galvanizados a fogo) e devem ser fixados à madeira com adesivo epóxi; que devem ser instalados tubos de PVC para o escoamento da água; que sobre a laje de concreto pode ser aplicada uma camada asfáltica; que as madeiras, quando roliças, devem ser alternadas, lado a lado, em suas formas topo-base; que o diâmetro mínimo da madeira utilizada deve ser de 30 centímetros.

10.3 A PONTE DE MADEIRA PROTEGIDA POR COBERTURA

As pontes cobertas vêm sendo construídas desde séculos passados, sendo assim, podemos dizer que não representam propriamente uma inovação, mas, sobretudo, uma medida de proteção à madeira.

Atualmente, nos chama a atenção, o emprego cada vez maior desse tipo de ponte, o que proporciona, também, um diferenciado valor estético à obra. Soma-se a isso, a

utilização de eficientes e modernos sistemas de ligação e teremos pontes cobertas muito duráveis, maiores talvez, que as seculares pontes cobertas ainda hoje em uso em todo o mundo e que foram construídas com madeiras sem nenhum tipo de tratamento.

A seguir, são apresentadas fotos de algumas dessas pontes.

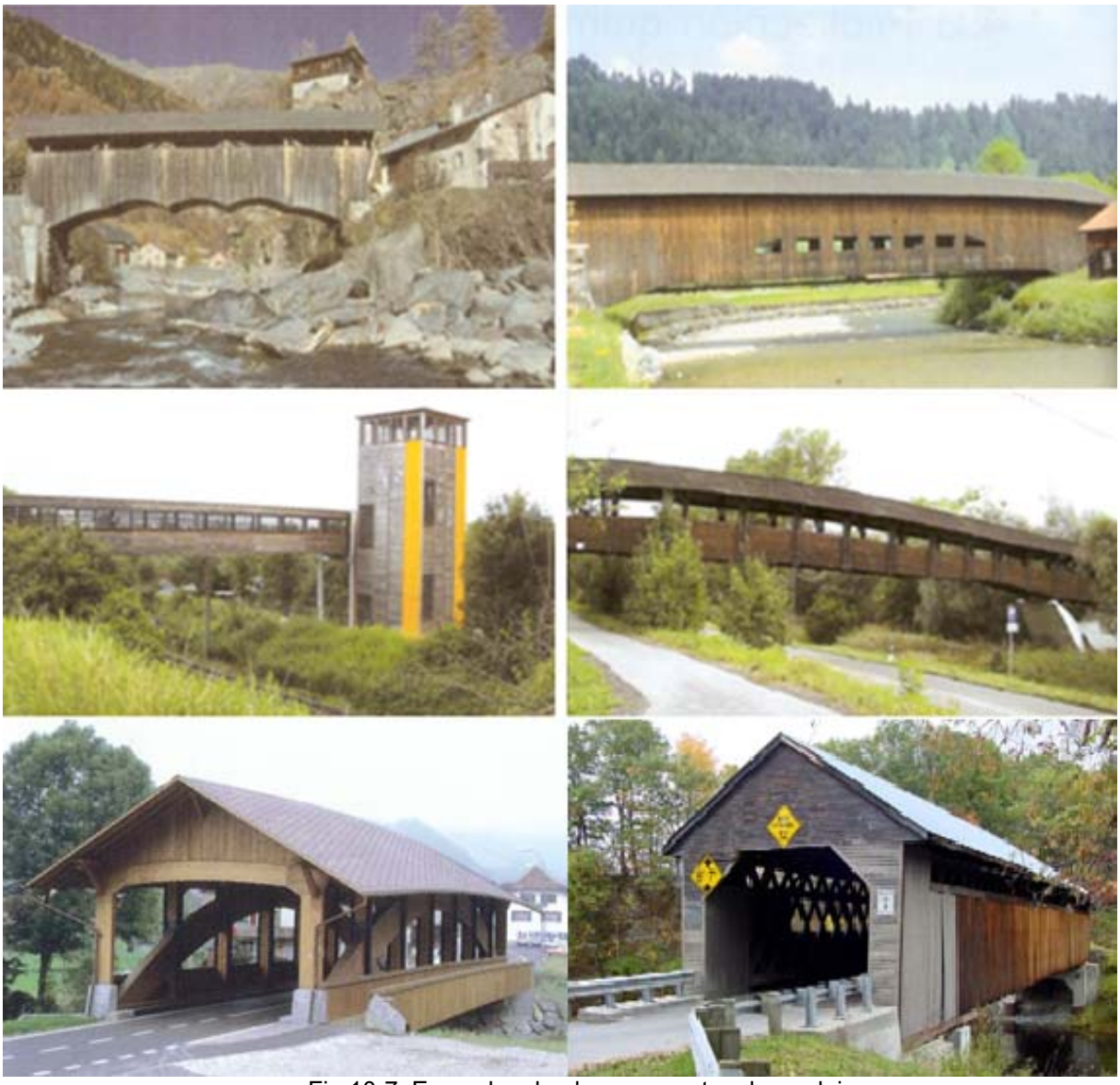


Fig 10-7. Exemplos de algumas pontes de madeira

10.4 PONTES DE MADEIRA CONSTRUÍDAS NOS ÚLTIMOS ANOS

As figuras a seguir apresentadas ilustram pontes de madeira recentemente construídas em diversos países, inclusive no Brasil.

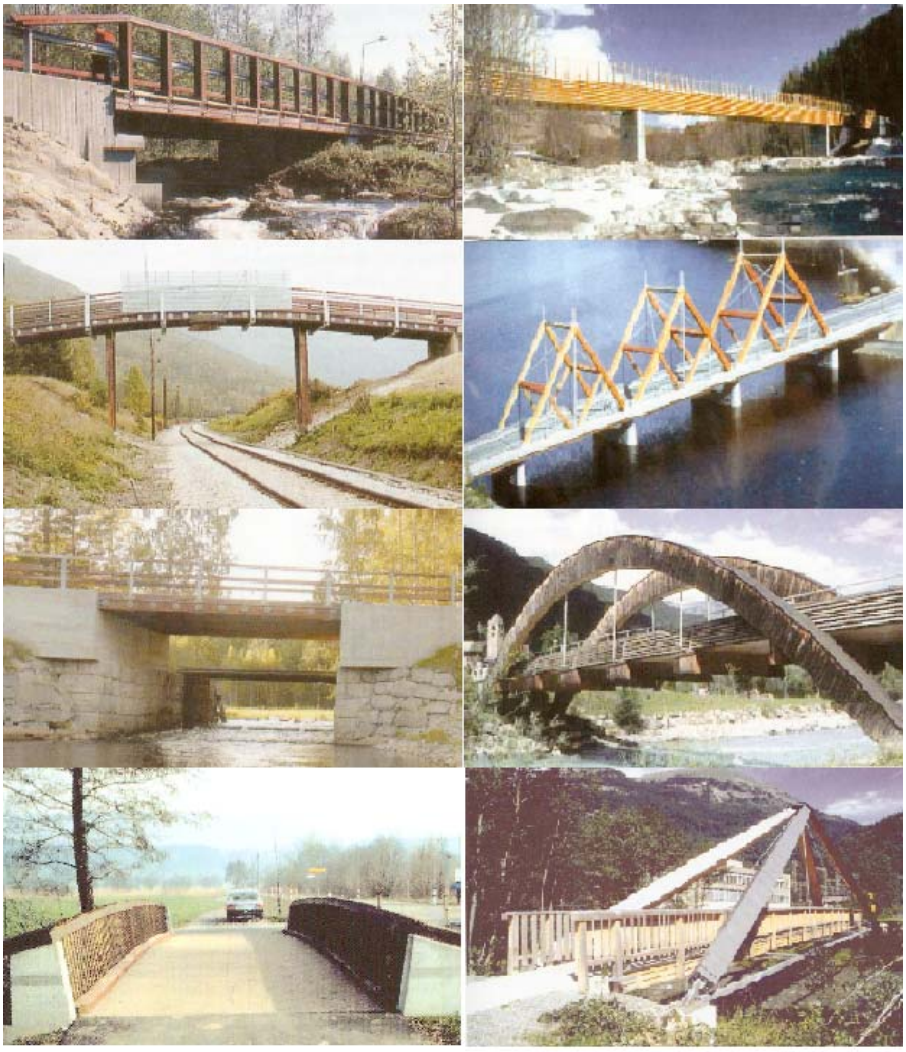


Fig 10-8. Exemplos de algumas pontes de madeira construídas em outros países

Fig 10-9. Exemplos de algumas pontes de madeiras construídas no Brasil

As características das pontes apresentadas acima estão contidas no Manual de Projeto e Construção de Pontes de Madeira, elaborado pelo Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

Ponte 1: sistema estrutural misto madeira-concreto, classe 45, largura de 4 metros, comprimento de 20,45 metros (15+5,45), constituído por 9 vigas de Eucalipto Citriodora (tratadas com CCA) com diâmetro médio de 43 cm, localizada em Paracatu, MG.

Ponte 2: sistema estrutural misto madeira-concreto, classe 30, largura de 10 metros, comprimento de 12 metros, constituído por 22 vigas de Eucalipto Citriodora (tratadas com CCA) com diâmetro médio de 35 cm, localizada no Campus II da USP de São Carlos, SP.

Ponte 3: sistema estrutural de tabuleiro multicelular protendido, classe 45, largura de 10 metros, comprimento de 12 metros, constituído por 20 vigas (Eucalipto) compostas com alma de compensado (Pinus) com 80 cm de altura (ambos tratados com CCA), localizada no Campus II da USP de São Carlos, SP.

Ponte 4: sistema estrutural misto madeira-concreto, classe 30, largura de 7,2 metros, comprimento de 24 metros (6+12+6), constituído por 16 vigas de Eucalipto Citriodora com diâmetro médio de 33 cm (tratadas com CCA), localizada em Cubatão, SP.

ANEXO A

NOMENCLATURAS APLICADAS AO CÁLCULO DE PONTES DE MADEIRA

	Descrição	Unidade
Lu	Largura útil da ponte	m
G	Carga permanente, por metro de viga, devido ao peso próprio da ponte	t/m
H	Espessura do piso de repartição	cm
M	Momento fletor total, por viga	t x cm
Mg	Momento fletor, por viga, devido à carga permanente	t x cm
Mm	Momento fletor, por viga, devido às cargas móveis	t x cm
Q	Esforço cortante total, por viga	t
Qg	Esforço cortante, por viga, devido à carga permanente	t
qm	Esforço cortante, por viga, devido às cargas móveis	t
Cl	Classe da ponte	
G, G1, G2	Carga permanente, por metro de ponte, devido ao seu próprio peso	t/m
V	Vão livre ou teórico	m
V Max	Vão livre máximo admitido	m
Lu	Largura útil da ponte	m
Mm	Momento fletor, devido às cargas móveis	t x cm
N	Número de vigas	
N1	Número efetivo de vigas para tráfego em um sentido	
N2	Número efetivo de vigas para tráfego em dois sentidos	
Nc	Número de contraventos laterais entre vigas vizinhas (somente para vigas de aço)	
Qm	Esforço cortante devido às cargas móveis por faixa de tráfego	t
S	Espaçamento centro a centro das vigas, sobre o chapéu	m
Sc	Espaçamento entre contraventos ao longo da viga (somente para vigas de aço)	m
bxd	Dimensões da peça de madeira	cm
L1,L2	Vãos contíguos	m
Qg	Esforço cortante em cada cavalete devido à carga permanente	t
ECT	Esforço cortante total transmitido para o cavalete	t
Nvias	Número de vias	
NP	Número de pilares	
CP	Capacidade suporte de um pilar	t
Ma	Momento fletor em um apoio de chapéu	t x cm
Qa	Esforço cortante em um apoio de chapéu	t
ba	Largura do apoio do chapéu	cm
da	Altura do apoio do chapéu	cm
Ea	Espaçamento entre os apoios do chapéu	m
Na	Número de apoios de chapéu necessários	
La	Espaçamento, centro a centro, entre apoios do chapéu	m
H	Altura de queda do maço	m
Re	Carga admissível para o atrito lateral do pilar	t
Pm	Penetração média da estaca, por batida, para as últimas seis batidas	cm
p	Peso do maço	kg
P1	Peso do maço pneumático	kg
P2	Energia de cravação por golpe, de bate-estaca pneumático de dupla ação	kg x m

ANEXO A (continuação)

NOMENCLATURAS APLICADAS AO CÁLCULO DE PONTES DE MADEIRA

	Descrição	Unidade
bch	Largura do chapéu	cm
dch	Altura do chapéu	cm
bsol	Largura da soleira	cm
Nsap	Número de sapatas	
Hsap	Altura da sapata	cm
B sap	Largura da sapata	cm
K Sap	Comprimento efetivo da sapata	cm
K	Comprimento teórico da sapata	cm
E	Espaçamento real entre os pilares	m
E max	Espaçamento máximo entre pilares	m
E min	Espaçamento mínimo entre pilares	m
Hc	Altura do pilar desde a borda superior até o fundo do rio	m
σs	Resistência do solo a compressão	kg /cm^2

ANEXO B

MADEIRAS APLICADAS À CONSTRUÇÃO DE PONTES

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Acapu	*Vouacapoua Americana*	Ipê amarelo	*Tabebuia eximia*
Acapu do Igapó	*Clathrotropis Nítida*	Ipê pardo	*Tabebuia ochracea*
Acapurana da Várzea	*Campsiandra Lurifólia*	Itapirucu amarelo	*Goniorchachis margenata*
Acariquara	*Minquartia guianensis*	Itaúba	*Mezilaurus itauba*
Angelim pedra verdadeiro	*Dinizia excelsa*	Itaúbarana	*Sweetia intens*
Angelim vermelho	*Dinizia excelsa*	Jataí-peba	*Dialimun guianensis*
Aroeira do sertão	*Astronium urundeva*	Macacaúba	*Platymiscium spp*
Bálsamo	*Niroxylon spp*	Maçaranduba	*Manilkara spp*
Angélica	*Dicorynia paraenses*	Mata-mata	*Eschweilera spp*
Baraúna	*Schinopsis spp*	Mocitaíba	*Zollernia ilicifolia*
Baru	*Dipteryx alata*	Muirapinima	*Piratinera guianensis*
Braúna	*Melanoxylon branaca*	Muirapinima preta	*Zollernia paralusis*
Cabriúva parda	*Myrocarpus spp*	Muirapixuna	*Cássia scleroxylon*
Carrancudo	*Poecilanthe spp*	Pau d'arco	*Tabebuia serratifolia*
Casca preciosa	*Aníba canelilla*	Pau ferro	*Astronium balansae*
Conduru	*Brosimun spp*	Pau roxo	*Peltogyne maranhensis*
Coração-de-nego	*Poecilanthe parviflora*	Pau santo	*Bulnesia sarmienti*
Cumaru	*Dipteryx spp*	Piquiá	*Caryocar spp*
Cupiúba	*Goupia glabia*	Piranheira	*Piranhea trifoliata*
Faveiro	*Pteradou pubescens*	Pitomba preta	*Zollernia falcata*
Gombeira	*Swartzia spp*	Pracuúba	*Mora paraensis*
Guaiçara	*Lvetzelbungia spp*	Saguaraji	*Columbrina rufa*
Guarantã	*Esxubeckia leiocarpa*	Sapucaia vermelha	*Lecytlris spp*
Sucupira	*Bowdichia nítida*	mandioqueira	*Qualea sp*
Sucupira nanica	*Recordoxylon amazonicum*	catiúba	*Qualea paraensis*
Sucupira preta	*Bowdichia spp*	Eucalipto alba	*Eucalyptos alba*
Sucupira amarela	*Ferreirea spectabilis*	Eucalipto camaldulensis	*Eucalyptos camaldulensis*
Sucupira parda	*Bowdichia virgilioides*	Eucalipto citriodora	*Eucalyptos citriodora*
Taiúva amoreira	*Chlorophora tinetoria*	Eucalipto cloeziana	*Eucalyptos cloeziana*
Tatajuba	*Bagassa guianensis*	Eucalipto dunnii	*Eucalyptos dunnii*
Tento	*Ormosia paraenses*	Eucalipto grandis	*Eucalyptos grandis*
Angelim Araroba	*Votaireopsis araroba*	Eucalipto maculata	*Eucalyptos maculata*
Angelim Ferro	*Hymenolobiun sp*	Eucalipto maidene	*Eucalyptos maidene*
Angelim Pedra	*Andira anthelmia*	Eucalipto microcorys	*Eucalyptos microcorys*
Oiticica amarela	*Clarisia racemosa*	Eucalipto paniculata	*Eucalyptos paniculata*
Branquilho	*Sebastiania commersoniana*	Eucalipto propinqua	*Eucalyptos propinqua*
cafearana	*Andira sp*	Eucalipto punctata	*Eucalyptos punctata*
canafístula	*Peltrophorum dubium*	Eucalipto saligna	*Eucalyptos saligna*
Casca grossa	*Vochysia sp*	Eucalipto tereticornis	*Eucalyptos tereticomis*
castelo	*Gossypiospermum praecox*	Eucalipto triantha	*Eucalyptos triantha*
Cedro amargo	*Cedrela odorata*	Eucalipto umbra	*Eucalyptos umbra*

ANEXO B (continuação)

MADEIRAS APLICADAS À CONSTRUÇÃO DE PONTES

Nome popular	***Nome científico***	**Nome popular**	***Nome científico***
Cedro doce	*Cedrella sp*	Eucalipto urophylla	*Eucalyptos urophylla*
champagne	*Dipterys odorata*	Garapa roraima	*Apuleia Leocarpa*
jatobá	*Hymenaea courbaril*	sucupira	*Bowdichia virgilioides*
Louro preto	*Ocotea sp*	Guarucaia	*Peltophorum vogelianum*
quarubarana	*Erisma uncinatum*		

ANEXO C
CLASSE DAS VIATURAS E EQUIPAMENTOS EMPREGADOS PELO EB

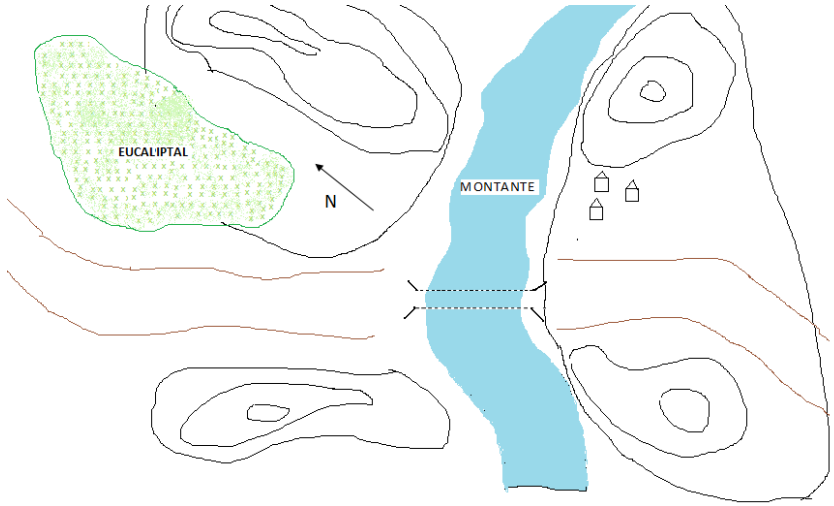
DENOMINAÇÃO	NÚMERO CLASSE	TIPO
CCL M 41	24	SOBRE LAGARTAS
OBUS AP M 108	22	
OBUS AP M 109	24	
VBTP M 113	11	
VTR SOCORRO M 578	25	
M60	55	
VBC CC LEOPARD 1A-1	44	
CCR CASCAVEL	9	SOBRE RODAS
3/4 t	4	
3/4 t, com reboque	5	
3/4 t, com reboque cisterna	6	
C TRA ANFÍBIO URUTU	11	
TNE 2 ½ t, 4x4, FORD DIESEL, D-600	12	
TNE 2 ½ t, 6x6, FORD DIESEL, D-600	11	
TNE 2 ½ t, 4x4, MERCEDES BENZ, LA-1113/48	12	
TNE 2 ½ t, 6x6, MERCEDES BENZ, LG-1213/48	12	
TNE 2 ½ t, 4x4, CHEVROLET DIESEL, D-6503	12	
TNE 2 ½ t, 6x6, CHEVROLET DIESEL, D-6503	11	
TNE 2 ½ t, 6x6, M-34, REO	8	
TNE 5 t, 6x6, MERCEDES BENZ, L-1519	21	
TNE 5 t, 6x6, REO M41	16	
TE 2 ½ t, 4x4, MERCEDES BENZ, LA-1113/42	12	
TE 2 ½ t, 6x6, REO, BASCULANTE, M59, M215, M342	9	
TE 5 t, 6x6, MERCEDES BENZ, L-1519	21	
TNE 5 t, 6x6, REO, M-62, SOCORRO	21	
MOTONIVELADORA CATERPILLAR, CAT 12	10	EQUIPA-MENTO DE ENGENHA-RIA
MOTONIVELADORA HUBER WARCO, 4D	11	
QUICK WAY- MODELO M200	22	
QUICK WAY- MODELO N-383 AB	8	
TRATOR CATERPILLAR D-4	10	
TRATOR CATERPILLAR D-6	14	
TRATOR CATERPILLAR D-6 FSN 2410-542-4206	8	
TRATOR CATERPILLAR D-7	19	
TRATOR CATERPILLAR D-7E	28	
TRATOR CATERPILLAR D-8	30	

Anexo D
MODELO DE RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO DE LOCAL PARA PONTE (frente)

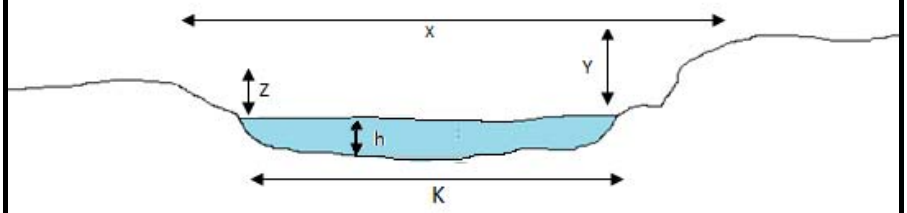
Relatório de reconhecimento de local para ponte	**Data ...../...../.....**	**Assinatura:..... .....**	
De: .... Nome, posto e OM	Para: .... Autoridade e OM	data/hora:	Carta utilizada: ....
IDENTIFICAÇÃO DA PONTE E INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS AO CÁLCULO DA SUA CLASSE			
Número de ordem		Largura do curso d`água	
Localização (carta e GPS)		Profundidade do curso d`água	
Natureza das margens		Existência de agregados no local (pedras de Mao, areia, etc)	**( ) sim** **( ) não**
Altura das margens		Margem apresenta restrição para construção de ponte	**( ) sim** **( ) não**
Natureza do leito do curso d`água		Possibilidade de extração de madeira no local	**( ) sim** **( ) não**
Velocidade da correnteza		Possibilidade de passagem a vau no local	**( ) sim** **( ) não**
Regime fluvial durante o reconhecimento	**( ) cheia** **( ) seca** **( ) estado intermediário**		
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES			

Anexo D
MODELO DE RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO DE LOCAL PARA PONTE (verso)

Vista superior do curso d`água e acesso



Vista lateral das margens e curso d`água



Anexo E
MODELO DE RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO DE PONTE (frente)

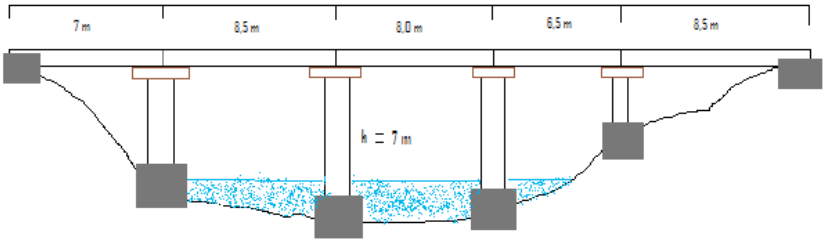
Relatório de reconhecimento de ponte	**Data ...../...../.....**	**Assinatura:..... .....**	
De: .... Nome, posto e OM	Para: .... Autoridade e OM	data/hora:	Carta utilizada: ....

IDENTIFICAÇÃO DA PONTE E INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS AO CÁLCULO DA SUA CLASSE			
Número de ordem		**Dimensões das vigas (bxd)**	
Material da ponte		**Espaçamento entre as vigas (S)**	
Localização (carta e GPS)		**Número de vigas (N)**	
Dimensões dos pilares		**Número de vãos ou lances da ponte**	
Número de pilares (NP)		**Número de vias (N vias)**	
Largura útil da ponte (Lu)		**Altura do piso da ponte**	
Dimensões do chapéu		**Possibilidade de desbordamento**	**( ) sim** **( ) não**
Comprimento do lance mais frágil		**CLASSE DA PONTE (Placa indicativa da ponte)**	
Comprimento total da ponte			
Apresenta restrição	**( ) sim** **( ) não**		

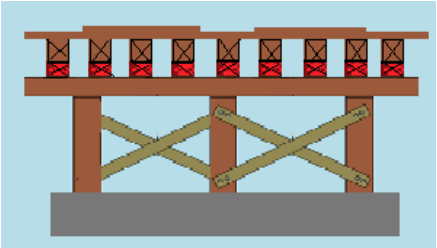
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Anexo E
MODELO DE RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO DE PONTE (verso)

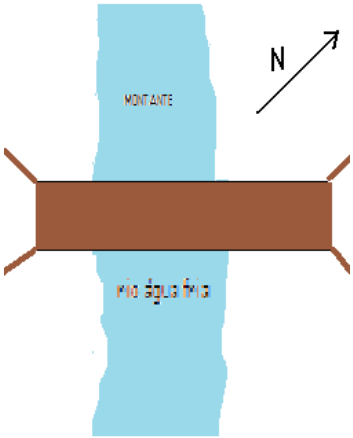
Vista lateral da ponte



Corte transversal da ponte



Vista superior



Anexo F
MODELO DE PEDIDO DE MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO DE PONTE DE MADEIRA
(frente)

Pedido de material para ponte modular de madeira	**Data ...../...../.....**	**Assinatura:.....**	
De: **.....** **Nome, posto e OM**	**Para:** **.....** **Autoridade e OM**	**data/hora:** **.....** **.**	**Localização da ponte (carta e GPS)**: ....

Classe da ponte ( )	**Comprimento da ponte ( )**	**Número de seções de 5 metros ( )**

INSUMOS NECESSÁRIOS	**QTDE**	**DIMENSÕES**
Madeira para a Viga		
Madeira para o Rodapé		
Madeira para o Piso de repartição		
Madeira para o Piso de uso		
Madeira para o Chapéu		
Madeira para o Pilar		
Madeira para o Balancim (se necessário)		
Madeira para o Contraventamento diagonal		
Madeira para caixaria de concreto (tábuas)		
Saco de cimento		
Areia		
Brita		
Vergalhão de 10mm (para armação da caixaria)		
Arame recozido para amarração		
Vergalhão de ½ Pol para Balancim		
Parafuso rosca sem fim de ½ pol para Balancim		
Vergalhão de ½ Pol		
Parafuso rosca sem fim de ½ pol		
Parafuso rosca sem fim de ½ pol (para união do rodapé)		
Porca e arruela para parafuso rosca sem fim de ½ pol		
Prego para piso de repartição		
Prego para piso de uso		
Prego para caixaria		
Madeira para muro de contenção		
OUTROS INSUMOS NECESSÁRIOS		

Anexo F
MODELO DE PEDIDO DE MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO DE PONTE DE MADEIRA (verso)

Pedido de material para ponte modular de madeira	**Data ...../...../.....**	**Assinatura:.....**	
EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS QUANTIDADE			
DESCRIÇÃO	**QTDE**	**DESCRIÇÃO**	**QTDE**
Retroescavadeira		Gerador de pequena potência	
Motosserra de pequena potência		Furadeira de impacto	
Motosserra de média potência		Implemento furadeira para motosserra ou furadeira	
Sapo mecânico		Betoneira	
Bate-estacas			
FERRAMENTAL NECESSÁRIO			
DESCRIÇÃO	**QTDE**	**DESCRIÇÃO**	**QTDE**
Trado manual		Broca de 3/8 Pol	
Escavadeira tipo “boca de lobo”		Broca de 1/2 Pol	
Escavadeira tipo “americana”		Trena de 50 metros	
Picaretas		Trena de 5 metros	
Enxadas		Cones de sinalização	
Pá de concha		Estaca de pontagem	
Nível de bolha		Luva de couro (par)	
GPS		Cunha	
Plaina		Serra-copa	
Prumo		Tesourão	
Cabo solteiro		Martelo	
Marreta 5 Kg		Machado	
Marreta de 3 Kg		Serra para ferro	
Rolo de barbante		Pé de cabra	
Facão		Arco de serra	
Cabo de aço 3/8 (10 metros com clipes e porcas)		Tinta óleo amarela	
Talhadeira		Óleo queimado (litros)	
Brocha		Lona preta (metros)	
Mangueira de nível (30 metros)		Carrinho de mão	
Alicate			
OUTROS MATERIAIS NECESSÁRIOS			

Anexo G
SUGESTÃO DE EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAIS NECESSÁRIOS À CONSTRUÇÃO DE PONTE DE MADEIRA

EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS		
DESCRIÇÃO	**QTDE**	**OBSERVAÇÃO**
Retroescavadeira	01	
Motosserra de pequena potência	01	Para conexão da furadeira
Motosserra de média potência	02	
Sapo mecânico	01	Para compactação dos aterros dos encontros
Gerador de pequena potência	01	
Furadeira de impacto	02	
Implemento furadeira para motosserra ou furadeira	01	
Betoneira	01	
Bate-estacas	01	

FERRAMENTAL NECESSÁRIO			
DESCRIÇÃO	**QTDE**	**DESCRIÇÃO**	**QTDE**
Mangueira de nível (30 metros)	02	Broca de 3/8 Pol	10
Alicate	02	Broca de 1/2 Pol	10
Trado manual	02	Trena de 50 metros	01
Escavadeira tipo “boca de lobo”	03	Trena de 5 metros	03
Escavadeira tipo “americana”	03	Cones de sinalização	12
Picaretas	05	Estaca de pontagem	06
Enxadas	03	Luva de couro (par)	20
Pá de concha	03	Cunha	02
Nível de bolha	02	Serra-copa	01
GPS	02	Tesourão	01
Plaina	02	Martelo	03
Prumo	02	Machado	02
Cabo solteiro	06	Serra para ferro	10
Marreta 5 Kg	03	Pé de cabra	02
Marreta de 3 Kg	04	Arco de serra	03
Rolo de barbante	01	Tinta óleo amarela	
Facão	04	Óleo queimado (litros)	10
Cabo de aço 3/8 (10 metros com clipes e porcas)	01	Lona preta (m^2)	10
Talhadeira	02	Carrinho de mão	02
Brocha	06		

Bibliografia

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190/97. *Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro*, 1997. 247 p.

ALMIR SALES E FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR. Boletím técnico da escola politécnica da usp – departamento de engenharia de construcao civil. *Proposição de classes de resistência para madeira*- SP- 1996.

ANA CRISTINA PACHECO BALLASSINI ABDLLA. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP. U*tilização de madeiras de eucaliptos em estruturas de pontes* – Piracicaba. 2002.

ANDERSON RICARTE FIGUEIREDO, ANTEPROJETO DE MANUAL, O Emprego de Pontes de Madeira- Pindamonhangaba, SP- 2010.

ANTONIO WANDERLEY TERNI, LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA e JOSÉ BENTO FERREIRA. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP. *O impacto da norma 7190/97- 2001.*

BRASIL. Estado-Maior do Exército. C5-36: *O Reconhecimento de Engenharia*. 2ª ed. 1997.

BRASIL. INPE-*Madeira:Uso Sustentável na Construção Civil* -São Paulo - 2003.

BRASIL. VII EBRAMEN. A *abordagem sistêmica do projeto de pontes de madeira*- 2000.

BRASIL. Estado-Maior do Exército. C5-34 *Vade-Mécum de Engenharia*. 3ª Ed. 1996.

CARLITO CALIL JÚNIOR E ANTONIO ALVES DIAS. Universidade de São Paulo- São Carlos. *utilização da madeira em construções rurais.*

CARLITO CALIL JÚNIOR, ANTONIO ALVES DIAS, JORGE LUÍS NUNES DE GÓES, ANDRÉS BATISTA CHEUNG, GUILHERME CORREA STAMATO JULIO CEZAR PIGOZZO, FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO, NORMAN BARROS LOGSDON, SÉRGIO BRAZOLIN, ÉLCIO LACERDA LANA. LaMEM (Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. *Manual de Projeto e Construção de Pontes de Madeira. São Carlos, SP-2006. 223p.*

CARLITO CALIL JR. e JORGE LUÍS NUNES DE GÓES. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. P*rograma emergencial das pontes de madeira para o estado de São Paulo- São Paulo.*

CÉSAR TRAVASSOS DE BRITO, ROBERTO MASSATO NAKAMURA, JÚLIO EUSTÁQUIO DE MELO. Laboratório de Produtos Florestais/Dpq-IBDF. S*eleção de espécies de madeira para pontes através da análise de componentes principais.*

CLAUDIONICIO RIBEIRO DE SOUZA E JOSÉ ANTONIO MATTHIESEN. Universidade Para o Desenvolvimento do Estado e Região do Pantanal – UNIDERP e Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. *UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS TRELIÇADOS COMO PRÉ-LAJES NA CONSTRUÇÃO DE PONTES EM ESTRUTURAS MISTAS DE CONCRETO E MADEIRA. 2004.17p.*

GUILHERME CORRÊA STAMATO. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. L*igações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada*- São Carlos. 2002.

HÉCTOR ROJAS LEÓN. M*adera laminada: una solución práctica, estética y económica.*

ILO DIAS BORBA DA COSTA. Centro de tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco. *Noções sobre infraestruturas de pontes*-1976.

J. ENRIQUE PERAZA. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. *Productos de madera para la arquitectura*- España-2008.

JOSÉ MAURÍCIO ARANTES BRAGA- Escola de Engenharia de São Carlos. *Relatório sobre pontes.* Universidade de São Paulo– 1984.

JOSÉ ANTÔNIO MATTHIESEN. IBRAMEN. E*studo da ligação madeira-concreto com parafusos auto-atarrachantes comerciais*-2000. 9p.

JULIO SORIANO E NILSON TADEU MASCIA. IBRAMEN. C*omportamento mecânico de ligações flexíveis em vigas mistas de concreto-madeira.*10p.

KARIN ESEMANN DE QUADROS. Curso de Engenharia Florestal- Laboratório de Botânica – DCN – FURB- I*ntrodução ao estudo da anatomia da madeira*. 2007.

KURT SCHWANER, ALEJANDRA BANCALARI CORNEJO, FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI, JUAN MARCOS SCHWENK, GONZALO BRICEÑO CARRASCO. Proyecto Fondef y Proyecto Alfa. Puentes de Madera- Madrid, España-2007.

MARCELA PAULA GROBÉRIO E FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR. *Indicações para o emprego da madeira de espécies tropicais do noroeste do Brasil.*

MARCIO MARTINS e JOSÉ ANTONIO MATTHIESEN. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e Universidade Estadual Paulista. P*rova de carga em ponte de madeira do mato grosso do sul*. 2004.

MARLUCE ARAÚJO DE AZEVEDO E JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO. IBRAMEN. *Caracterização de madeiras usuais no estado da Paraíba.* 07p.

PAULO FERNANDO TRUGILHO, JOSÉ TARCÍSIO LIMA, FÁBIO AKIRA MORI, JOSÉ REINALDO MOREIRA DA SILVA, LOURIVAL MARIN MENDES; LILIAN VILELA ANDRADE PINTO. IBRAMEN. U*midade de equilíbrio da madeira para diferentes condições de temperatura e umidade relativa em câmara de climatização.* 07p.

PILAR CASTRO CASAS. Universidad Nacional. L*a madera y tecnología para la construcción de puentes en madera-* 2005.

RAQUEL GONÇALVES & ANDRÉ BARTHOLOMEU. Universidade Federal da Paraíba. *Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de madeira de eucalyptus citriodora e pinus elliottii- 2000-5p.*

ROBERTO VASCONCELOS PINHEIRO, FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR. *A influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira.*

STEVEN M. RICHMAN , RUTGERS. *The Bridges of New Jersey-* University New Brunswick, New Jersey.

TEREZA DENYSE P DE ARAUJO. Universidade Federal do Ceará- Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. N*ota de aula – estruturas de madeira*– 2003.

THALITA FERNANDES DA FONTE. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. P*ontes protendidas de eucalipto citriodora.* 2004. 267p.

THALITA FERNANDES DA FONTE e CARLITO CALIL JÚNIOR artigo técnico. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. pontes protendidas de madeira: alternativa técnico-econômica para vias rurais 2005. 8 p.

VIGNOTE PENA, SANTIAGO y MARTÍNEZ ROJAS, ISAAC. Ediciones Muldi-Prensa. *Tecnología de la madera*- 3ª ed. Madri, España- 2006 - 678p.