

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BÁRBARA PERGHER DALA COSTA
FELIPE COSTA BESSA

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE PONTES EM MADEIRA
ROLIÇA PARA ESTRADAS VICINAIS NA REGIÃO SUDOESTE DO
PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

BÁRBARA PERGHER DALA COSTA
FELIPE COSTA BESSA

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE PONTES EM MADEIRA
ROLIÇA PARA ESTRADAS VICINAIS NA REGIÃO SUDOESTE DO
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias
Co-Orientador: Prof. MSc. Cleovir José Milani

PATO BRANCO

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE PONTES EM MADEIRAROLIÇA PARA ESTRADAS VICINAIS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

BARBARA PERGHER DALA COSTA

e

FELIPE BESSA

Aos 11 dias do mês de fevereiro do ano de 2014, às 8h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 06-TCC/2014.

Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC / UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof.Msc. CLEOVIR JOSÉ MILANI (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof^a. Dr^a HELOIZA A. PIASSA BENETTI (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. ROGÉRIO CARRAZEDO (DACOC / UTFPR-PB)

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, por quanto devemos todo incentivo à realização dos nossos ideais, encorajando-nos a enfrentar todos os momentos difíceis da vida na continuidade aos estudos e até mesmo por estarem sempre por perto motivando-nos para que façamos sempre o melhor.

AGRADECIMENTOS

Como já dizia Anitelli: “Sonho parece verdade quando a gente esquece de acordar”. Hoje, vivemos uma realidade que parece um sonho, mas foi preciso muito esforço, determinação, paciência, perseverança, ousadia e maleabilidade para chegar até aqui, e nada disso conseguiríamos sozinhos. Nossa eterna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

Somos gratos a Deus pela dádiva da vida e por ter nos dado a capacidade de podermos alcançar a tudo que almejamos em nossas vidas.

Aos nossos pais Valdicir e Lizete, Francisco e Estia, nossos maiores exemplos. Obrigado por cada incentivo e orientação, pelas orações, pela preocupação para que estivéssemos sempre andando pelo caminho correto.

Ao Professor Dr. Gustavo Lacerda Dias e ao Professor MSc. Cleovir José Milani, que dedicaram seu tempo e compartilharam suas experiências para que nossa formação fosse também um aprendizado de vida. Seus olhares críticos e construtivos nos ajudaram a superar os desafios deste TCC, seremos eternamente gratos.

A todos nossos professores que contribuíram e enriqueceram nossos conhecimentos em toda nossa vida acadêmica.

Aos nossos namorados Thiago e Andressa, por toda paciência, compreensão, carinho e amor, e por nos ajudarem muitas vezes a achar soluções quando elas pareciam não aparecer. Vocês foram as pessoas que compartilharam conosco os momentos de tristezas e alegrias.

Aos nossos colegas de classe, em especial Débora, Jhenifer, Camila, Ana Paula, Alisson, Fabrícus, Michel, Eduardo e André, a quem aprendemos a respeitar. Obrigado a todos os momentos em que fomos estudiosos, brincalhões, atletas e cúmplices. Porque em vocês encontramos verdadeiros irmãos. Obrigado pela paciência, pelo sorriso, pelo abraço, pela mão que sempre se estendia quando precisávamos. Esta caminhada não seria a mesma sem vocês.

Obrigado a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa.

EPÍGRAFE

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso”. John Ruskin

RESUMO

BESSA, F.C; DALA COSTA, B. P. Concepção e Dimensionamento de Pontes em Madeira Roliça para Estradas Vicinais na Região Sudoeste do Paraná. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, 2014.

Esta pesquisa tem por objetivo apresentar as recomendações para projeto, dimensionamento e disposições construtivas da superestrutura de pontes em madeira roliça, oriundo de madeiras de reflorestamento com diferentes vãos, com a finalidade de fornecer aos engenheiros, arquitetos, construtores e projetistas, orientações para o projeto e construção de pontes de baixo custo, adequada tecnologia, seguras, duráveis e sustentáveis. O conhecimento técnico adequado em estruturas de madeira é de fundamental importância para elaboração e construção de projeto de pontes de madeira, de forma a aperfeiçoar seu desempenho e reduzir seu custo de implantação. Para tanto, identificou-se as espécies de eucalipto presentes na Região Sudoeste do Paraná, bem como o tratamento utilizado. Além disso, verificou-se as máquinas agrícolas e veículos utilizados para transporte de grãos que necessitam transpor essas pontes. Através disso foi possível verificar o modelo estrutural mais adequado, bem como efetuar os cálculos necessários para o dimensionamento dessas pontes. Este sistema estrutural proporciona a economia e favorece o meio ambiente de forma sustentável. Observou-se que a largura das pontes de madeira não atende as dimensões das máquinas agrícolas dos produtores rurais da região, e nem o modelo estrutural existente está dimensionado para suportar as cargas que nele está aplicada.

Palavras – Chaves: Dimensionamento. Pontes de Madeira. Eucalipto

ABSTRACT

BESSA, F.C; DALA COSTA, B. P. Conception and Design of Bridges Wooden Small Roads in Southwest Region of Paraná. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, 2014.

This research aims to present recommendations for project design and construction's provisions for the superstructure of bridges in roundwood, derived from reforestation wood with different spans, in order to provide engineers, architects, builders and designers, guidelines for design and construction of low cost bridges, with appropriate technology, safety, durability and sustentability. Technical knowledge in suitable timber structures is of fundamental importance for the design and construction of wooden bridges, in order to improve their performance and reduce costs. To do so, native species of eucalyptus were identified, as well as the treatment methods used. Furthermore, the study considered the farm machinery and vehicles used for transporting the agricultural products - usually grains - that need to cross those bridges, to obtain the loads for the design of the bridges. Thereby it was possible to determine the most appropriate structural model, and to make the necessary calculations for the design of these bridges. This structural system provides the economy and benefits the environment sustainably. It was observed that the width of the wooden bridges do not meet the dimensions of agricultural machinery from farmers in the region, nor the existing structural model is dimensioned to withstand the loads that are imposed on them.

Key - Words: Design. Wood Bridges. Eucalyptus

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	- Exigências Climáticas Ajustadas para <i>E. dunnii</i>	27
TABELA 02	- Exigências Climáticas Ajustadas para <i>E. grandis</i>	27
TABELA 03	- Catálogo de Maquinário Agrícola I.....	67
TABELA 04	- Catálogo de Maquinário Agrícola II.....	67
TABELA 05	- Valores de $K_{mod,1}$	72
TABELA 06	- Valores de $K_{mod,2}$	73
TABELA 07	- Valores Característicos do Eucalyptus Dunnii.....	76
TABELA 08	- Cargas Atuantes no Rodeio.....	79
TABELA 09	- Cargas do Rodeio atuando na Transversina.....	79
TABELA 10	- Peso Próprio da Transversina.....	80
TABELA 11	- Resumo das Cargas Atuantes na Transversina.....	80
TABELA 12	- Cargas do Peso Próprio do Rodeio.....	81
TABELA 13	- Carga de Peso Próprio da Transversina.....	81
TABELA 14	- Carga de Peso Próprio da Longarina.....	81
TABELA 15	- Resumo das Cargas Atuantes na Longarina.....	81
TABELA 16	- Dados para Dimensionamento de Esforços.	87
TABELA 17	- Dados para Dimensionamento.....	88

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	- Estado do Paraná.....	18
FIGURA 02	- Região Sudoeste.....	19
FIGURA 03	- Participação das Espécies na Área de Florestas Plantadas no Brasil (2004).....	22
FIGURA 04	- Distribuição da Área de Florestas Plantadas por Espécie Segundo as Principais UF.....	22
FIGURA 05	- Áreas Plantadas de Eucalipto.....	23
FIGURA 06	- Área e Distribuição de Plantios Florestais com Eucalipto nos Estados do Brasil, 2012.....	23
FIGURA 07	- Auto clave – Tratamento Eucalipto.....	31
FIGURA 08	- Tipos Estruturais de Pontes em Madeira.....	32
FIGURA 09	- Ponte Mista em Madeira e Concreto.....	34
FIGURA 10	- Divisão Estrutural de uma Ponte.....	35
FIGURA 11	- Ponte em Vigas Rolijas de Madeira Tratada: Vista Superior da Ponte.....	36
FIGURA 12	- Ponte em Vigas Rolijas de Madeira Tratada: Vista Lateral da Ponte....	36
FIGURA 13	- Ponte em Vigas Rolijas de Madeira Tratada: Seção Transversal.....	36
FIGURA 14	- Confecção da Ligação para Entalhe de Encaixe Cilíndrico no Topo da Peça.....	39
FIGURA 15	- Ligação por Cavilha.....	39
FIGURA 16	- Ligação Metálica com Barras Rosqueadas e Pino.....	40
FIGURA 17	- Ligações com Barras Rosqueadas, Arruelas e Porcas.....	41
FIGURA 18	- Ligação com Chapas Metálicas Externa.....	41
FIGURA 19	- Detalhe da Conexão da Chapa do Eixo da Peça.....	42
FIGURA 20	- Ligações de Consoles Metálicos Perfurados e Parafusados.....	42
FIGURA 21	- (a) Detalhe das Chapa (b) Chapas Fixadas no Topo da Peça.....	43
FIGURA 22	- Ligação com Cintas Metálicas.....	43
FIGURA 23	- Rigidez das Ligações.....	44
FIGURA 24	- Manifestações Patológicas nos Elementos da Superestrutura das Pontes de Madeira no Município de Pato Branco – Paraná.....	47
FIGURA 25	- Ponte 01: Rodeio com peças soltas, defeito nas transversinas, inexistência de defensas.....	48
FIGURA 26	- Ponte 02: Transversina danificada, ausência guarda-rodas e defensas..	49
FIGURA 27	- Ponte 03: Rodeio desgastado e transversinas quebradas.....	49
FIGURA 28	- Ponte 04: Rodeio danificado.....	50
FIGURA 29	- Ponte 05: Rodeio com Peças Soltas e Transversinas Quebradas.....	50
FIGURA 30	- Ponte 06: Excesso de vegetação.....	51
FIGURA 31	- Ponte 07: Estrutura Comprometida.....	51
FIGURA 32	- Ponte 08: Rodeio danificado.....	52
FIGURA 33	- Ponte 09: Rodeio danificado.....	52
FIGURA 34	- Ponte 10: Rodeio danificado.....	53
FIGURA 35	- Ponte 11: Rodeio e transversina danificados.....	53
FIGURA 36	- Detalhe Viga de Suspensão e Apoio.....	54
FIGURA 37	- Detalhe do Apoio.....	55
FIGURA 38	- Detalhe da Viga de Suspensão Danificada por Ataque de Fungos.....	55
FIGURA 39	- Detalhe da Viga de Suspensão e do Apoio.....	56
FIGURA 40	- Detalhe da Viga de Suspensão.....	56
FIGURA 41	- Detalhe do Apoio em Madeira.....	57

FIGURA 42	- Posicionamento Transversal do Veículo-Tipo Sobre o Rodeio.....	58
FIGURA 43	- Posicionamento Transversal do Veículo-Tipo Fora do Rodeio.....	58
FIGURA 44	- Máquina Atravessando a Ponte.	60
FIGURA 45	- Máquina Atravessando a Ponte.	60
FIGURA 46	- Posicionamento Transversal do Veículo na Proposta de Ponte em Madeira.....	61
FIGURA 47	- Modelo Proposto.....	62
FIGURA 48	- Modelo Proposto.....	62
FIGURA 49	- Modelo Proposto (Corte).....	66
FIGURA 50	- Veículo-Tipo I Utilizado para Cálculos.....	67
FIGURA 51	- Veículo-Tipo II Utilizado para Cálculos.....	67
FIGURA 52	- Cálculo do Diâmetro Equivalente.....	68
FIGURA 53	- Distribuição da Carga do Trem Tipo nos Rodeios e Transversinas.....	70
FIGURA 54	- Área de Abrangência para Verificação do Esforço do Rodeio.....	70
FIGURA 55	- Área de Abrangência para Verificação do Esforço nas Transversinas...	72
FIGURA 56	- Disposição do Trem-Tipo II.....	74
FIGURA 57	- Cargas Permanentes e Acidentais (Rodeio): Trem Tipo Específico.....	75
FIGURA 58	- Cargas Permanentes e Acidentais (Rodeio)- Momento (kN. m).....	75
FIGURA 59	- Cargas Permanentes e Acidentais (Transversina)- Trem Tipo.....	76
FIGURA 60	- Envoltória dos Esforços (Transversina)- Cisalhamento: Valores em kN.....	76
FIGURA 61	- Envoltória dos Esforços (Transversina)- Momento: Valores em kN. m	77
FIGURA 62	- Cargas Permanentes e Acidentais: Trem Tipo II.....	77
FIGURA 63	- Cargas Permanentes e Acidentais: Cisalhamento (kN).....	78
FIGURA 64	- Cargas Permanentes e Acidentais: Momento (kN.m)	78

LISTA DE SIGLAS

AWPA	- American Woods Preservers Association
ABRAF	- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
CCA	- Cobre, Cromo e Arsênio
CCB	- Creosoto, pentaclorofenol, borato de cobre cromatado
CFA	- Clima Subtropical Úmido Mesotérmico
CFB	- Clima Subtropical Úmido Mesotérmico
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAPAR	- Instituto Agrônômico do Paraná.
IPARDES	- Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
LAMEM	- Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira
NBR	- Norma Brasileira
SESC	- Serviço Social do Comercial
UTFPR	- Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	OBJETIVOS	15
1.1.1.	Objetivo Geral	15
1.1.2.	Objetivos Específicos	15
1.2.	JUSTIFICATIVA.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1.	O ESTADO DO PARANÁ.....	18
2.1.1.	A Região Sudoeste do Paraná	19
2.2.	MADEIRA - CONTEXTUALIZAÇÃO	19
2.3.	MADEIRA DE REFLORESTAMENTO	20
2.3.1.	Eucalipto: plantio no Estado do Paraná	24
2.3.2.	Tratamentos Preservativos	28
2.4.	SOLUÇÕES EM PONTES.....	31
2.4.1.	Pontes de Madeira	31
2.4.1.1.	Tipos de pontes de Madeira	32
2.4.2.	Pontes de Concreto Armado	32
2.4.3.	Pontes Mistas	33
2.4.4.	Pontes Metálicas.....	34
2.5.	ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES	35
2.6.	ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES DE MADEIRA	35
2.7.	LIGAÇÕES	37
2.7.1.	Ligações por Entalhes.....	38
2.7.2.	Ligações com Cavilhas de Madeira.....	39
2.7.3.	Ligações com Barra Rosqueada e Pino Metálico (Dowel-Nut).....	40
2.7.4.	Ligações com barras rosqueadas, arruelas e porcas.	40
2.7.5.	Ligações com Chapas Metálicas Externas Parafusadas	41
2.7.6.	Ligações com Chapas Metálicas Internas Parafusadas.....	42
2.7.7.	Ligações com Consoles Metálicos Perfurados e Parafusados	42
2.7.8.	Chapas metálicas galvanizadas com dentes estampados	43
2.7.9.	Ligações com Cintas Metálicas Entrelaçadas	43
2.8.	CARGAS SOBRE PONTES	44
2.8.1.	Cargas Permanentes.....	45
2.8.2.	Cargas Variáveis.....	45
2.8.3.	Cargas Excepcionais.....	46

3.	MÉTODOS E TÉCNICAS	47
3.1.	SITUAÇÃO DAS PONTES DE ESTRADAS RURAIS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ.....	47
3.1.1.	Rodeio e Transversina das Pontes de Estradas Rurais na Região Sudoeste do Paraná	48
3.1.2.	Vigas e Apoio das Pontes na Região Sudoeste do Paraná.....	54
3.2.	MODELO DE PONTE DE MADEIRA PROPOSTO PARA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ.....	57
3.3.	CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO	63
3.3.1.	Propriedades de Resistência e Rigidez	63
3.3.2.	Propriedades Consideradas no Projeto Estrutural	63
3.3.3.	Coefficiente de Modificação (K_{mod})	64
3.3.4.	Coefficiente de Ponderação (γ_w).....	65
3.4.	Dimensionamento do Sistema Estrutural de Ponte de Madeira	66
3.4.1.	Definição da Geometria e a Classe Estrutural da Ponte	66
3.4.2.	Valores Característicos	68
3.4.3.	Estimativa das cargas atuantes	68
3.4.3.1.	Rodeio.....	69
3.4.3.2.	Transversinas	71
3.4.3.3.	Longarinas	73
3.4.4.	Cálculo dos esforços máximos.....	74
3.4.4.1.	Rodeio.....	74
3.4.4.2.	Transversinas	76
3.4.4.3.	Longarinas	77
4.	RESULTADOS	79
4.1.	VERIFICAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	79
5.	CONCLUSÃO	81
6.	REFERÊNCIAS	82
	ANEXO A – Entrevista em Loja de Máquinas Agrícolas	88
	ANEXO B – Tabela de Verificações	90
	ANEXO C – Projetos e Especificações	92

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material amplamente usado pela humanidade, e acompanha gradativamente a evolução do homem em relação à utilização de recursos naturais, antes mesmo do desenvolvimento da idade da pedra, do ferro e do bronze. A madeira sempre esteve presente no desenvolvimento da humanidade como fonte renovável, estruturalmente e para diversas outras finalidades, como por exemplo energeticamente.

Assim, de acordo com Calil (1997), desde os primórdios da humanidade, o homem procurou exceder os obstáculos. Para isso, utilizou passarelas primitivas de madeira, formadas por troncos de árvores funcionando como vigas, até chegar aos seus objetivos. Neste ínterim, visando garantir a continuidade da espécie, fez-se necessário buscar outros horizontes aprimorando a técnica de superar obstáculos naturais acentuados. Para este fim, surgiu a ponte de madeira, evoluindo gradualmente.

A madeira aplica-se a usos diversos, na construção civil é utilizada na produção de elementos estruturais, suporte e acabamento, podendo ser aplicada em estruturas de grande porte, bem como a construção de edificações, ou ainda de passarelas e pontes.

A construção de pontes utiliza vários tipos de materiais na sua concepção. A escolha do material adequado para a construção é de responsabilidade do engenheiro civil, que deve fazê-la baseando-se no maior número possível de informações (BILLINGTON, 2003).

As pontes de madeira constituem excelente opção para a zona rural, não só pela disponibilidade de matéria prima, como também por suas características físicas e mecânicas, o que reforça a sua viabilidade econômica.

Ainda segundo Calil (1997), as soluções primitivas de dispor uma madeira para atravessar determinado obstáculo marcaram o início do sistema de vencer o vão pela força, onde não existia nenhum projeto complexo e nem ideia do comportamento da transferência de cargas. Esse sistema consistia no uso de uma peça retilínea cuja altura na seção transversal garantiria suportar os pesos e as cargas para a travessia de pessoas e animais.

Nas propriedades rurais localizadas na Região Sudoeste do Paraná existe uma produção intensa de produtos agrícolas, principalmente de grãos, como a soja, milho, entre outros, havendo necessidade de ligação destas propriedades com as estradas vicinais.

No que tange ao desenvolvimento deste trabalho, busca-se realizar o dimensionamento da superestrutura de pontes em madeira com os sistemas estruturais mais indicados para utilização na Região Sudoeste do Paraná. Portanto, a proposta deste trabalho é identificar as

espécies de madeira mais recomendadas para as pontes da Região, bem como o tratamento da madeira utilizado. Além disso, constatar quais os veículos usuais que trafegam na Região, principalmente nos períodos de maior escoamento da produção agrícola, pois nessas ocasiões existem maiores utilizações de grandes maquinários agrícolas e caminhões com maior capacidade de carga. Portanto, sendo possível realizar a concepção estrutural e os cálculos necessários para o dimensionamento dessas pontes.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Conceber e dimensionar a superestrutura de pontes de madeira roliça para estradas vicinais na Região Sudoeste do Paraná.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar as espécies de Eucalipto mais utilizadas e apropriadas na Região;
- Identificar os métodos de tratamento disponíveis para madeiras roliças na região;
- Estudar os tipos usuais de veículos que trafegam pelas estradas vicinais da região, obtendo suas dimensões e cargas atuantes;
- Efetuar cálculos voltados para o dimensionamento e concepção estrutural das pontes de madeira roliça.

1.2. JUSTIFICATIVA

Para projetar uma ponte de madeira, é necessário que se tenha conhecimento extensivo das possibilidades existentes para o projeto, e não só apenas as possibilidades de como se vencer um vão (BILLINGTON, 2003).

A resistência da madeira, o baixo peso e o baixo consumo energético para a sua produção e processamento são propriedades essenciais. Ela é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos (PFEIL, 1983).

Há uma ideia equivocada de que a madeira tem uma pequena vida útil, e isto a tem negligenciado como material de construção. Embora seja susceptível ao apodrecimento e ataque de insetos sob condições específicas, é um material muito durável quando utilizada com

tecnologia e, se necessário, com tratamento preservativo químico, pois a madeira pode ser efetivamente protegida contra deterioração por período de 50 anos ou mais. Além disso, a madeira tratada com preservativo requer pouca manutenção e pinturas (PFEIL, 1983).

As pontes são de vital importância para o desenvolvimento do país, do ponto de vista econômico e social. As estradas vicinais devem assegurar a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, o escoamento da produção e o livre deslocamento das populações do meio rural. As pontes de pequenos vãos para vias secundárias ou rurais, com baixo custo, proporcionariam melhoramentos significativos da rede viária e, por consequência, o conforto de seus usuários.

Neste contexto, há necessidade de que as estradas rurais transponham pequenos obstáculos, tais como cursos d'água, depressões ou outros obstáculos naturais, demandando desta forma, pequenas pontes. Considerando a importância que o tema enseja, o presente estudo busca investigar: qual seria a solução adequada para pontes em madeira roliça para a região Sudoeste do Paraná?

Neste ínterim, constata-se que as pontes são elementos indispensáveis de um sistema viário, e que estas desempenham diversas funções sociais, já que vinculam pessoas e povos. Inclusive, em determinados pontos geográficos interligam até países diferentes, proporcionando o seu desenvolvimento e conectando-os econômica e culturalmente.

No entanto, ainda são evidentes os altos custos de construção, reparo e recuperação nas estruturas de madeira encontradas hoje no meio rural, devido ao empirismo e a falta de conhecimento sobre o uso racional do material. Assim justifica-se o investimento em ações preventivas, tanto no que se refere ao conhecimento mais apurado das manifestações patológicas, como no que consiste em técnicas de manutenção preventiva durante a utilização.

Porém estudos indicam a grande deterioração dessas, devido a danos mais recorrentes de estruturas e patologias acarretando a ruína estrutural das mesmas. Isso ocorre devido ao mal dimensionamento ou a falta dele.

A garantia de maior vida útil e de satisfatório desempenho estrutural e funcional das pontes só será obtida por meio de um adequado dimensionamento e a especificação das espécies de madeira em condições satisfatória em termos de disponibilidade, economia de custos, durabilidade e sustentabilidade.

A utilização estrutural da madeira como material de construção em estruturas tem sido estudado e aplicado na tentativa de encontrar soluções viáveis técnica e economicamente.

A competitividade do mercado interno associada à abertura crescente ao mercado externo tem provocado uma crescente corrida na procura de materiais, técnicas e tecnologias

alternativas. Neste sentido, a utilização da madeira em estruturas correntes, que é um material renovável disponível, tem se mostrado uma alternativa coerente com as exigências financeiras, humanas e políticas deste novo século.

A utilização de espécies de madeiras de reflorestamento na construção de pontes com esta tecnologia pode propiciar a diminuição de custos com os materiais, sem implicar no aumento dos custos construtivos (a tecnologia da madeira pretendida pode ser considerada como um sistema totalmente pré-fabricado incidindo no tema da industrialização das estruturas de madeira) e, também, do ônus aos ecossistemas naturais do país. (OKIMOTO, 2002).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O ESTADO DO PARANÁ



Figura 01 - Estado do Paraná.
Fonte - Adaptado de SESC (2010).

Segundo o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (Ipardes 2011), o Paraná é um dos 26 Estados do Brasil e está situado na Região Sul do País, de acordo com a Figura 01. Faz divisa com os Estados de São Paulo, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul, fronteira com a Argentina e o Paraguai fazendo limite com o Oceano Atlântico. Ocupa uma área de 199.880 km².

A capital paranaense é Curitiba, há outras importantes cidades como Londrina, Maringá, Foz do Iguaçu, Ponta Grossa, Cascavel, Guarapuava e Paranaguá. Na Região Metropolitana de Curitiba, destacam-se os municípios de São José dos Pinhais e Araucária, por sua importância econômica.

O clima do Paraná está dividido em três tipos: no litoral e nas porções mais baixas do planalto, o clima é subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes; na porção mais elevada no estado, as chuvas são bem distribuídas durante o ano e os verões são amenos; por sua vez, no extremo noroeste do estado os verões são quentes e os invernos bem secos.

2.1.1. A Região Sudoeste do Paraná

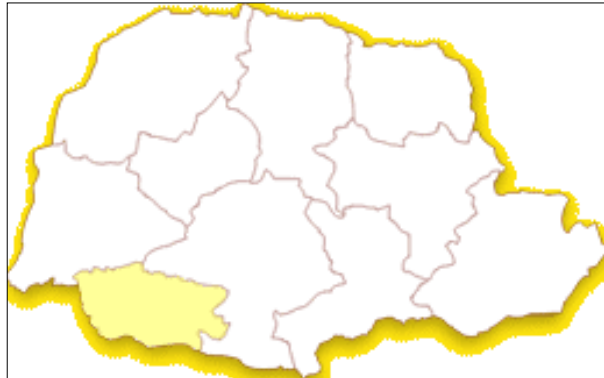


Figura 02 - Região Sudoeste.
Fonte - Adaptado de SESC (2010).

Pôde-se apontar, segundo dados do Serviço Social do Comercial (SESC, 2010), que a mesorregião do Sudoeste Paranaense é formada pela união de 37 municípios agrupados em três microrregiões (Capanema, Francisco Beltrão e Pato Branco). Possui 468.559 habitantes, cerca de 5% da população do Estado está concentrada nesta mesorregião. Estima-se que existam 40,2 habitantes por km², espalhados numa área de 11.651,833 km².

Desta forma, é marcante nessa mesorregião a influência do modo de produção dos imigrantes gaúchos e catarinenses. A economia rural é baseada em minifúndios devido às características do relevo acidentado. Até meados de 1940 a região era constituída de matas de araucárias densas, o que faz da região Sudoeste uma das últimas áreas de ocupação intensiva do Estado.

Em relação ao meio ambiente, a produção intensiva em pequenas propriedades representou pressão considerável sobre as áreas disponíveis, avançando a ocupação para áreas de florestas, o que resultou em um alto grau de comprometimento ambiental do Sudoeste, potencializado pelas duas usinas hidrelétricas que foram criadas na região (SESC, 2010).

2.2. MADEIRA - CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo Calil (2010), madeira é um material produzido a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas com funções de sustentação mecânica. Sendo resistente e leve, é utilizado para fins estruturais e de sustentação de construções. É um material orgânico, sólido, de composição complexa, onde predominam as fibras de celulose e hemicelulose unidas por lignina. Caracteriza-se por absorver facilmente água e por apresentar propriedades físicas diferentes consoantes à orientação espacial. As plantas que produzem madeira

são perenes e lenhosas, caracterizadas pela presença de caules de grandes dimensões, em geral denominados troncos, que crescem em diâmetro ano após ano.

Para distinguir a madeira pela sua disponibilidade e características, ela foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pela humanidade, mantendo, apesar do aparecimento dos materiais sintéticos, uma imensidade de usos diretos e servindo de matéria-prima para múltiplos outros produtos. A madeira é um dos materiais mais utilizados em arquitetura e engenharia civil.

Alguns estudos apontam que a madeira é considerada um excelente material estrutural, conhecida pela sua baixa densidade quando comparado com outros materiais como o aço para construção. (KOLLMAM & CÔTÉ JR 1968).

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), a madeira é um dos materiais de construção mais antigos, e possivelmente um dos primeiros a ser utilizados para a construção de pontes, por ser de fácil manuseio e de grande disponibilidade no mercado.

De acordo com Furiati (1981), as principais vantagens que a utilização da madeira apresenta são pelo fato de que é capaz de resistir tanto a esforços de compressão, como de tração; é um material leve em peso e que possui elevada resistência mecânica; permite fácil trabalhabilidade; não estilhaça quando golpeada; apresenta boas condições naturais de isolamento térmico e absorção acústica; apresenta no seu aspecto natural grande diversidade de padrões.

Nesse sentido, Furiati (1981) apresenta também as principais desvantagens da utilização da madeira, que é um material fundamentalmente heterogêneo, bastante vulnerável aos agentes externos e sua durabilidade é limitada quando desprotegida, é sensível aos agentes biológicos, podendo sofrer alterações nas suas dimensões quando ocorre variação de umidade.

2.3. MADEIRA DE REFLORESTAMENTO

Ao apresentar a madeira de reflorestamento, Okimoto (1997) evidencia que é o ato ou efeito de reflorestar. Isto é, uma ação ambiental que visa repovoar áreas que tiveram a vegetação removida pelas forças da natureza (incêndios, por exemplo), ações humanas evitando a exploração de florestas nativas.

De acordo com Okimoto (1997), o reflorestamento vem apresentar soluções para estas questões. As espécies de reflorestamento introduzidas alcançam a idade de corte para o uso estrutural, geralmente aos 20 anos, que as tornam facilmente renováveis. As técnicas de plantio

prevêm espaçamentos adequados para o desenvolvimento e corte da árvore e para a circulação interna minimizando o custo da extração.

Deve-se observar também que apenas algumas espécies têm interesse comercial, mas o processo de extração, atualmente executado, não prevê a retirada apenas destas espécies, isto é, grandes áreas são derrubadas para o aproveitamento de poucas espécies de interesse comercial. Salienta-se também, que muitas destas espécies possuem um ciclo de sustentabilidade acima de 35 anos. (BENCHIMOL, 1996).

Ainda segundo Okimoto (1997) no Brasil, apesar de possuir extensas áreas de matas nativas, o preço da madeira destas espécies é elevado e a extração de algumas é proibida. Os preços com as quais estas madeiras chegam ao mercado consumidor interno dependem de inúmeros fatores tais como a extração dificultada pela localização e acessibilidade das áreas florestais e o transporte da madeira até os grandes centros consumidores.

De acordo com esses estudos, no Brasil, como alternativa de rápido crescimento, tem-se o gênero *Eucalyptus*, o qual se apresenta uma opção potencial das mais importantes, não somente por sua capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes, mas, sobretudo, pela grande diversidade de espécies, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999).

De acordo com dados do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LAMEM, 2006), da Escola de Engenharia de São Carlos no Brasil, a partir de 1966, o governo instituiu um programa de incentivos fiscais para aumentar a área plantada no país. Em poucos anos, a área com plantações de Eucalipto saltou de 400 mil para 3 milhões de hectares tendo assim grande disponibilidade destas.

Segundo a Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas (ABRAF), em 2004, o Brasil possuía aproximadamente 5,5 milhões hectares de florestas plantadas, distribuídas em praticamente todo o território nacional e em mais de 500 municípios. Desse total, a maioria (60%) é representada pelas florestas de eucalipto e o restante (36%) é coberto por florestas de pinus, que juntas são as principais espécies que formam as florestas plantadas no país, como pode ser observado na Figura 03.

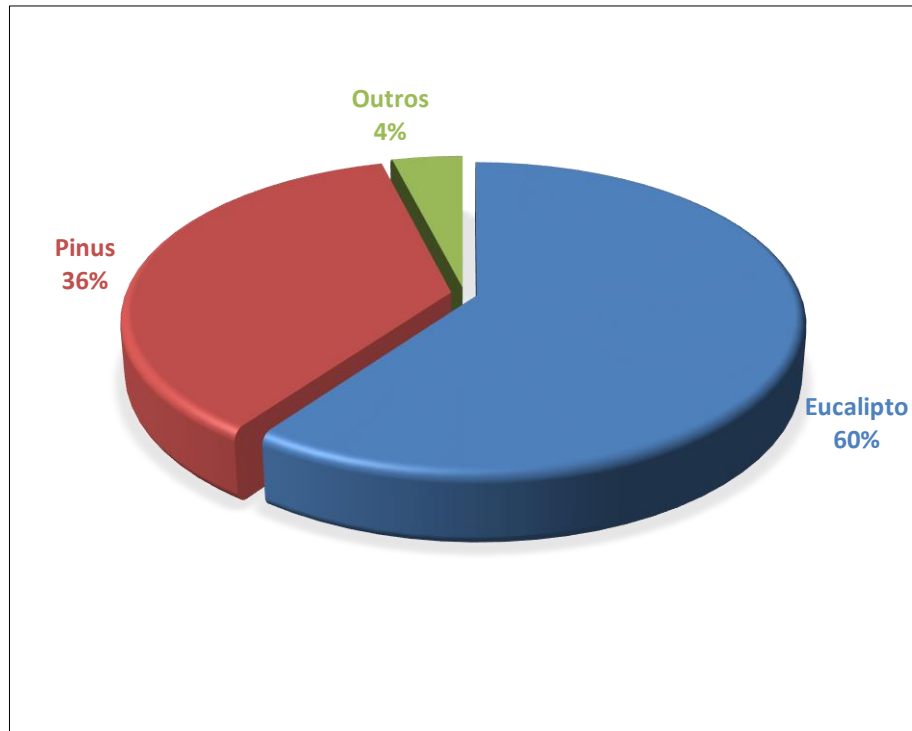


Figura 03 - Participação das Espécies na Área de Florestas Plantadas no Brasil (2004).
Fonte - Adaptado de Manual de Reflorestamento da ABRAF (2006).

Os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Bahia e Mato Grosso do Sul são, nessa ordem, os maiores detentores em superfície florestal plantada no país, percebe-se a distribuição da área de florestas plantadas por espécie na Figura 04.

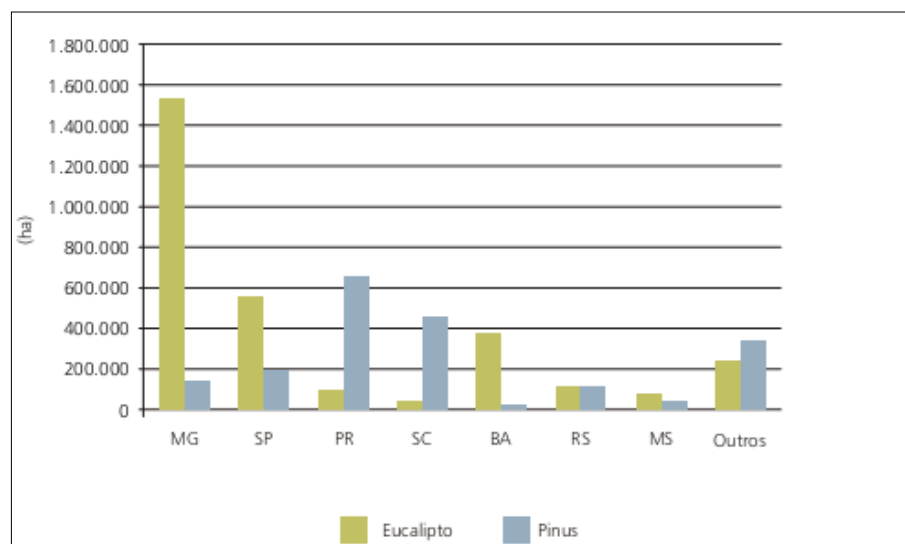


Figura 04- Distribuição da Área de Florestas Plantadas por Espécie Segundo as Principais UF.
Fonte - Adaptado de Manual de Reflorestamento da ABRAF (2006).

É possível observar na Figura 05 o plantio de Eucalipto no ano de 2006.

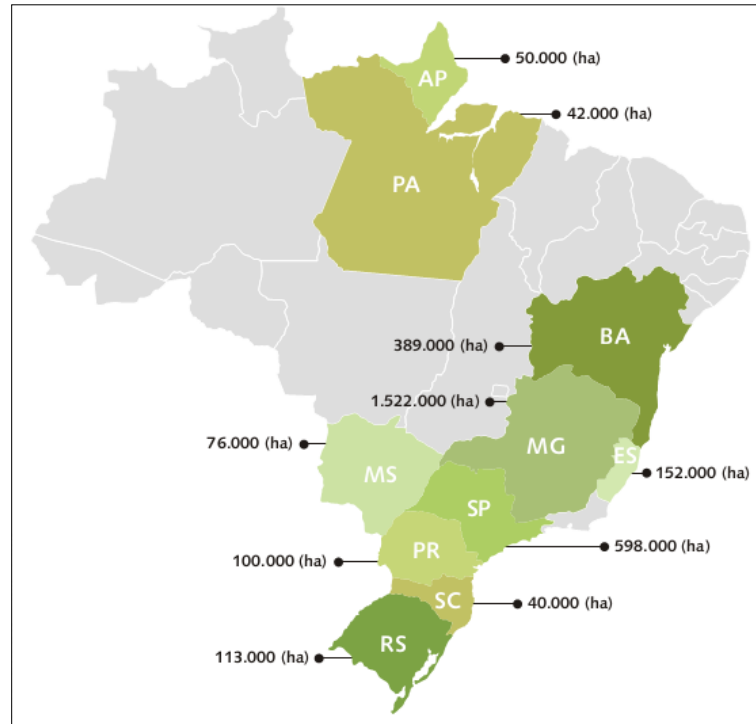


Figura 05 - Áreas Plantadas de Eucalipto.

Fonte - Adaptado de Manual de Reflorestamento da ABRAF (2006).

Ainda conforme a ABRAF, no ano de 2012, a área brasileira de plantios de Eucaliptos e Pinus atingiu 6,66 milhões de hectares, sendo 76,6% desde valor para plantios de Eucaliptos e 23,4% para Pinus. A distribuição geográfica das áreas de plantios florestais em 2012 é ilustrada na Figura 06.

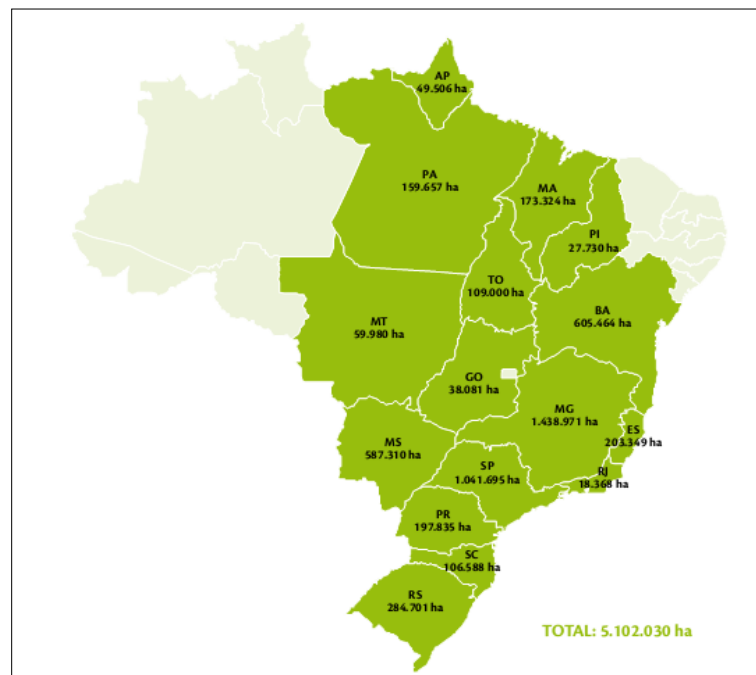


Figura 06 – Área e Distribuição de Plantios Florestais com Eucalipto nos Estados do Brasil, 2012.

Fonte - Adaptado de Anuário Estatístico ABRAF (2012).

2.3.1. Eucalipto: plantio no Estado do Paraná

O eucalipto é uma planta que ao longo da sua evolução natural desenvolveu mecanismos adaptativos eficientes para crescer rapidamente sob condições favoráveis e também suportar estresse hídrico, de temperatura, nutricional, entre outros, o que explica o grande número de espécies na natureza e sua ampla dispersão nas regiões de origem.

Conforme Abdalla (2002), o gênero *Eucalyptus*, conta com um grande número de espécies e híbridos. Foram trazidos em sua maioria da Austrália no início do século XX para proteção das lavouras como barreiras contra o vento e como fins energéticos para as ferrovias.

Atualmente, com a dificuldade de obter as tradicionais madeiras de florestas naturais devido à exploração predatória e o seu elevado custo, o eucalipto pode se tornar a melhor alternativa para utilização de madeira serrada, painéis, peças roliças e outros produtos (ABDALLA, 2002).

O território do Estado do Paraná situa-se em uma Região de transição climática, passando do subtropical ao temperado com três tipos de clima definidos pela localização, temperatura e ciclos de chuva (CARVALHO E QUEIROZ, 2002).

No litoral, o clima é do tipo tropical super-úmido sem estação seca; nas Regiões Norte, Oeste e parte do Sudoeste, predomina o subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estação seca, com poucas geadas; na Região de Curitiba, Campos Gerais e Sul prevalece o verão brando, sem estação seca, com dez a vinte e cinco geadas por ano (WREGGE *et al.*, 2004).

O Paraná não apresenta nenhuma restrição hídrica (IAPAR, 2013). No caso do plantio de eucalipto os impedimentos maiores são as baixas temperaturas no período de inverno, sendo perceptíveis em algumas localidades. Além da mínima absoluta deve se levar em consideração, a umidade relativa do ar para consideração na escolha da espécie.

A umidade elevada e a precipitação média próxima a 2.000 mm anuais, associadas a temperaturas que oscilam entre 20 e 21°C, são características do clima que ocorre no litoral do Paraná, as quais favorecem o desenvolvimento da ferrugem do eucalipto (*Puccinia psidii*). Esse fungo pode ser observado em mirtáceas como goiabeiras no litoral, sendo considerada a mais severa das doenças fúngicas do eucalipto, por reduzir o crescimento das plantas novas e causar a morte de brotações (CARVALHO *et al.*, 1998).

Por outro lado, a espécie *E. urophylla*, sob condições de alta umidade, apresenta crescimento anual excelente nos primeiros dois anos em relação a espécie *E. pellita*, decrescendo posteriormente pela suscetibilidade a fungos e bactérias (HARDIYANTO, 2003).

Eucalyptus grandis e *E. cloeziana* são as espécies mais sensíveis, enquanto *E. pellita*, *E. urophylla* e *E. citriodora*, reclassificado botanicamente como *Corymbia citriodora*, são espécies resistentes (CARVALHO *et al.*, 1998).

Ainda conforme Carvalho *et al* (1998), em se tratando de temperatura os eucaliptos podem sofrer influência, quando próximas ou abaixo de 0°C, ocasionando danos que vão desde a perda de área foliar até a morte das plantas, em várias idades.

Sobre altas temperaturas pode ocorrer a exsudação de uma goma avermelhada pelo tronco evidenciando má adaptação a essa condição. A goma em contato com o ar se torna vítrea e favorece o escurecimento da casca como é caso da espécie *Corymbia citriodora*.

Quanto mais jovem a planta, maior o dano nas folhas, caules e ramos devido a ocorrência de geadas, por possuir maior sensibilidade do material vegetativo em decorrência da proximidade ao solo, onde a inversão térmica é mais pronunciada (CARAMORI *et al.*, 2000).

Os efeitos da geada nos eucaliptos são diretamente observados por sintomas desde a queima superficial das folhas até desfolha total em plantas novas e em brotos. Geadas são comuns na Região de Curitiba, Campos Gerais e Sul do Estado, onde prevalece o clima temperado em que as médias anuais das mínimas variam de 7,3 a 12°C, com dez a 25 geadas por ano (IAPAR 2013). No entanto, a média anual das temperaturas mínimas é de pouca serventia para a escolha das espécies de eucaliptos para plantios comerciais.

Conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), o fator climático importante a ser observado é a temperatura mínima absoluta registrada no local ou região em que se pretende realizar o plantio. O valor deve ser comparado à temperatura mínima que as espécies toleram para tomada de decisão sobre as espécies mais indicadas.

Segundo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico (IPARDES, 2004), a região sudoeste do Paraná apresenta dois tipos de clima, nas zonas de menores altitudes. Ao longo dos vales dos rios Iguaçu, Chopin e Capanema, ocorre o clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), onde os verões são quentes, as geadas poucos frequentes e as chuvas concentradas nos meses de verão, a temperatura média é superior a 22°C nos meses quentes enquanto nos meses mais frios é inferior a 18°C com chuvas entre 1600 mm e 1900 mm.

Nas zonas de maior altitude ocorre o clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb) onde os verões são frescos, porém, as geadas severas e frequentes sem estação seca. As temperaturas são inferiores a 22°C nos meses quentes e nos meses frios inferiores a 18°C ocorrendo a mesma frequência de chuva (Cfa).

A crescente demanda por madeira como matéria-prima para melhoria da qualidade de vida da população faz do eucalipto, devidamente melhorado pela pesquisa e com técnicas silviculturais apropriadas, uma opção a mais de investimento no meio rural.

Para o sucesso do empreendimento florestal, além da definição da espécie a ser plantada com base no clima predominante na região, deve-se considerar a finalidade principal da matéria-prima que será produzida.

A espécie de *Eucalyptus grandis* é a mais utilizada em áreas tropicais e de transição para subtropicais no Brasil e em dezenas de outros países, na forma pura ou em cruzamentos (EMBRAPA, 2006).

Destaca-se pelo rápido crescimento, desde que sob condições ambientais adequadas, proporcionando um insuperável incremento volumétrico, boa forma de fuste, boa desrama natural, pequena quantidade de casca, elevado porcentual de cerne e madeira apropriada para múltiplos uso (CARAMORI *et al.*, 2000).

Ainda conforme EMBRAPA (2006), na região climática para a qual *E. dunnii* é indicada, é pouco frequente a ocorrência de períodos longos sem chuvas. Como a espécie sobrevive e se desenvolve por até cinco meses sem chuvas, não há restrição para o seu plantio no Paraná quanto a essa variável.

Arnold *et al* (2004), afirma que em locais de temperaturas mais elevadas o *E. dunnii* apresenta um crescimento semelhante ao de espécie tropicais nos primeiros três anos. Porém, após o terceiro ano, ocorre redução no crescimento.

Já a temperatura média das mínimas do mês mais frio o *E. dunnii* é de intervalo amplo (-1 a 17°C), indicando ser uma espécie apropriada para regiões de transição climática nas quais ocorrem expressivas variações nas temperaturas durante os períodos de inverno.

Em temperatura média anual essa espécie desenvolve-se sob temperatura entre 14 e 18°C. Resultados de pesquisas em vários países mostram que temperaturas médias anuais desde a mínima de 12°C até o limite máximo de 22°C são ideais para o crescimento da espécie.

Em locais de clima tendendo a tropical (temperaturas médias anuais maiores que 22°C), *E. dunnii* pode apresentar, nos três primeiros anos, um crescimento semelhante ao de *E. grandis* e *E. saligna*. Após esse período, observa-se tendência ao declínio de crescimento se não houver umidade disponível no solo (ARNOLD *et al.*, 2004).

Em temperatura mínima absoluta *E. dunnii* pode ser plantado em regiões com temperatura mínima absoluta maior que 11°C negativos como constatado na província de Hunan, na China (ARNOLD *et al.*, 2004).

Para a Região de clima temperado no Paraná, a temperatura mínima absoluta de referência para o *E. dunnii* é -5°C . Isso corresponde a -8°C na superfície do solo, segundo Grodzki *et al.* (1996). Na condição preconizada, os plantios comerciais de *E. dunnii* podem ser afetados em níveis toleráveis, mesmo na fase inicial de desenvolvimento, o que não ocorre sob condições extremas. Além dos parâmetros climáticos, devem-se observar fatores como: o plantio na primavera, evitar plantios nos fundos dos vales, qualidade de mudas, entre outros.

Segue a interpretação de Janovic e Booth (2002) e como ela nos ajuda a perceber as exigências climáticas para o crescimento e o desenvolvimento do *E. dunnii* (Tabela 01).

Tabela 01 - Exigências Climáticas Ajustadas para *E. Dunnii*.

Parâmetros Bioclimáticos	Indicadores (Mínimo/Máximo)	
Precipitação média anual	845 mm	1.950mm
Temperatura média das máximas do mês mais quente	24°C	31°C
Temperatura média das mínimas do mês mais frio	-1°C	17°C
Temperatura média anual	12°C	22°C
Número de meses sem chuvas	0	5
Regime de chuvas	Regular no verão	

Fonte - Adaptado de Janovic e Booth (2002).

Para *E. grandis* as exigências climáticas foram ajustadas em função da região de ocorrência conforme observamos na Tabela 02. Vale ressaltar a alta suscetibilidade ao frio dessa espécie. Em regiões sujeitas a geada de forte intensidade o *E. grandis* não deve ser plantado (EMBRAPA, 2006).

Tabela 02 - Exigências Climáticas Ajustadas para *E. Grandis*.

Parâmetros Bioclimáticos	Indicadores (Mínimo/Máximo)	
Precipitação média anual	900mm	3730mm
Temperatura média das máximas do mês mais quente	22°C	34°C
Temperatura média das mínimas do mês mais frio	0°C	16°C
Temperatura média anual	12°C	25°C
Número de meses sem chuvas	0	5
Regime de chuvas	Regular no verão	

Fonte - Adaptado de Janovic e Booth (2002).

Ao observarmos as Tabelas 01 e 02, podemos perceber que devido às características citadas e a situação climática que predomina na região de Pato Branco, a espécie mais indicada para o plantio é o *E. dunnii*, sendo também a espécie mais comercializada na região, segundo pesquisa realizada com fornecedores locais.

2.3.2. Tratamentos Preservativos

Conforme o Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LAMEM, 2006), as técnicas de preservação química consistem em introduzir, através de processos adequados, produtos químicos dentro da estrutura das madeiras, visando torna-las tóxicas aos organismos que a utilizam como fonte de alimentos. A escolha do processo e do produto preservativo dependerá do tipo de madeira e das condições de utilização das mesmas.

Existem inúmeras maneiras de se retardar as ações de agentes biológicos deterioradores. Segundo Sgai (2000), o método mais amplamente adotado é o da impregnação da madeira com substâncias tóxicas aos organismos xilófagos (animais que se alimentam da madeira). Há vários processos de impregnação da madeira, bem como várias substâncias que podem ser empregadas.

Se levarmos em consideração a escolha de cada processo e substância, esta depende do ambiente em que a madeira será utilizada. Já os produtos preservativos são definidos como sendo substâncias ou formulações químicas, de composição e características definidas, que devem apresentar as seguintes propriedades:

- Eficiência na prevenção ou controle de organismos xilófagos;
- Segurança em relação ao homem e ao meio ambiente;
- Permanência na madeira (não deve perder-se na madeira por decomposição, evaporação, lixiviação, exsudação ou outros);
- Não corrosivo;
- De custo acessível (competitivo);
- Disponível no mercado;
- Não deve alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

A escolha adequada de um produto preservativo é a primeira condição para conferir proteção a uma madeira de baixa durabilidade natural. Os preservativos de madeira podem ser agrupados segundo sua natureza como: Oleosos, e os hidrossolúveis. Os oleosos são os produtos essencialmente representados pelos derivados do alcatrão de hulha, esses contêm misturas complexas de agentes fungicidas ou inseticidas a base de compostos de natureza orgânica ou organometálica. Já os hidrossolúveis são produtos que contêm misturas mais ou menos complexas de sais metálicos (SGAI, 2000).

Deve-se considerar a busca de produtos preservativos de menos impacto ao meio ambiente, à higiene e segurança. Igualmente importante é a seleção do método de aplicação, ou

seja, nenhum produto poderá atribuir proteção satisfatória à madeira se não for corretamente aplicado.

Segundo Calil (2010), a aplicação dos produtos preservativos poderá ser efetuada com base nos seguintes processos: sem pressão, isto é, impregnação superficial da madeira, ou com pressão, quando há impregnação profunda da madeira, por aplicação do preservativo em autoclave, disponível em usinas de preservação de madeiras.

Calil (2010) afirma que os processos de impregnação superficiais caracterizam-se por não utilizarem pressão externa para forçar a penetração do preservativo na madeira, portanto proporcionam baixa retenção e penetração do produto preservativo.

A impregnação é baseada nos princípios da difusão ou da capilaridade, as quais proporcionam uma penetração do preservativo quase que superficial, na maioria das vezes.

Essas considerações referem-se ao uso de produtos preservativos oleosos, óleos solúveis ou emulsionáveis aplicados às madeiras secas, pelos processos de aspersão, imersão e pincelamento; e preservativos hidrossolúveis com propriedades difusíveis, aplicados às madeiras úmidas por estes processos.

De acordo com Nazar (2007), para as madeiras serem utilizadas em pontes, é recomendado o tratamento sob pressão com produtos preservativos de natureza hidrossolúvel ou oleosa. Os principais parâmetros de qualidade para a madeira preservada são a penetração e a retenção do preservativo absorvido no processo de tratamento. Portanto, quanto maior a responsabilidade estrutural do componente de madeira, maior deve ser a retenção e penetração do produto preservativo, com isso sua vida útil será maior.

Segundo a NBR 8456 (ASSOCIAÇÃO... 1984), os postes de eucalipto devem, antes da aplicação do preservativo, serem submetidos ao processo de secagem natural preferencialmente, ou de condicionamento artificial com vapor, aquecimento em preservativo à pressão atmosférica, aquecimento em óleo, sob vácuo ou secagem em estufa. Em qualquer dos casos a temperatura não deve ultrapassar 105°C pois o teor de umidade assume papel de importância para a correta utilização industrial das madeiras.

Conforme Nazar (2007) o teor de umidade correspondente ao mínimo de água livre e ao máximo de água de impregnação, é denominado ponto de saturação das fibras. Para as madeiras brasileiras, situa-se em torno de 25%, sendo que até esse percentual ocorre pouco dano no material. A partir desse ponto, a perda de umidade é acompanhada de retração, com as respectivas reduções de dimensões e aumento de resistência.

Fundamentando-se em Appel (2006), os quatro preservativos de ação prolongada mais utilizada e responsável por cerca de 80% da madeira tratada existente no mundo são: creosoto,

pentaclorofenol, borato de cobre cromatado (CCB) e arseniato de cobre cromatado (CCA), sendo este o responsável pelo maior volume de madeira tratada no mundo.

Segundo estudos realizados Lepage (1986), o CCB tem como elementos ativos em sua composição o óxido cuproso e o boro, porém acredita-se que o composto de boro não possui boa fixação na madeira.

No caso do CCA, o qual foi descoberto em 1933 pelo cientista Dr. Sonti Kamesan, é indicado para tratamento de madeira em uma grande variedade de usos, incluído dormentes, postes, mourões, construções residenciais e comerciais, estacas, pontes e outros.

Em conformidade com American Woods Preservers Association (AWPA 1996), o CCA é classificado em três tipos de acordo com as diferentes formulações e as variações das porcentagens de cobre, cromo e arsênio. No Brasil, o mais utilizado é o tipo C, que apresenta 47,5% de cromo (CrO_3), 18,5% de cobre (CuO) e 34% arsênio (As_2O_5).

O CCA é indicado somente para tratamento pelo processo de vácuo-pressão em autoclave pelo fato da rápida reação com a madeira após a impregnação.

Segundo Geisse (2006), a autoclave é um grande cilindro de aço, normalmente com 2 metros de diâmetro e até 25 metros de comprimento, fabricado para suportar pressões elevadas de até 18 kg/cm^2 . Este cilindro possui uma porta de aço em uma das extremidades, que é totalmente vedada e dimensionada para suportar a elevada pressão de trabalho. Este processo é chamado de "célula cheia" ou "Bethell". Após o carregamento da autoclave, é dado um vácuo (pressão negativa), que retira o ar e a umidade das células da madeira. Em seguida, sem permitir a entrada de ar e com alta pressão, o líquido imunizante preenche todos os espaços vazios da autoclave e da própria madeira. Daí o nome de célula cheia. O líquido imunizante preenche os espaços das células da madeira, que antes eram ocupados pelo ar e pela umidade.

A região de Pato Branco/PR comporta uma indústria onde é utilizado o método de tratamento de impregnação por autoclave. O equipamento possuiu 2 metros de diâmetro e comprimento total de 9 metros, limitando o comprimento das toras tratadas (Figura 07).



Figura 07 - Auto Clave – Tratamento Eucalipto.
Fonte - Os Autores (2013).

2.4. SOLUÇÕES EM PONTES

2.4.1. Pontes de Madeira

Ao contrário da crença popular, grandes elementos de madeira possuem resistência ao fogo igual ou superior a elementos de aço ou concreto por exemplo. Pontes de madeira não necessitam equipamentos especiais para instalação e geralmente são construídas sem mão-de-obra altamente especializada. A pré-fabricação e a industrialização são facilmente aplicadas (RITTER, 1992).

As pontes de madeira seguem, em linhas gerais, os mesmo sistemas estruturais de outros materiais. Por outro lado, como o material “madeira” é extremamente versátil e associando-se ao quesito leveza, têm-se soluções únicas para algumas situações.

Pode-se trabalhar na questão de concepção de projeto basicamente com elementos lineares e planos. Além da madeira maciça, em toras ou serrada, dispõe-se de composições destes elementos como chapa de madeira laminada compensada ou madeira recomposta. (OKIMOTO, 2002).

Por mais que houveram avanços tecnológicos e de competitividade do mercado, torna-se necessária a busca de melhorias no dimensionamento dos elementos estruturais das pontes de madeira.

Como ao longo dos anos estas pontes passaram por um processo de deterioração, devido à falta de manutenção, resultou em estruturas com durabilidade reduzida, logo cedendo lugar às estruturas de aço e de concreto.

2.4.1.1. Tipos de pontes de Madeira

Conforme Paiva (1995), existem variados tipos de pontes de madeiras das mais variáveis dimensões e soluções estruturais. É possível observar alguns desses modelos na Figura 08.

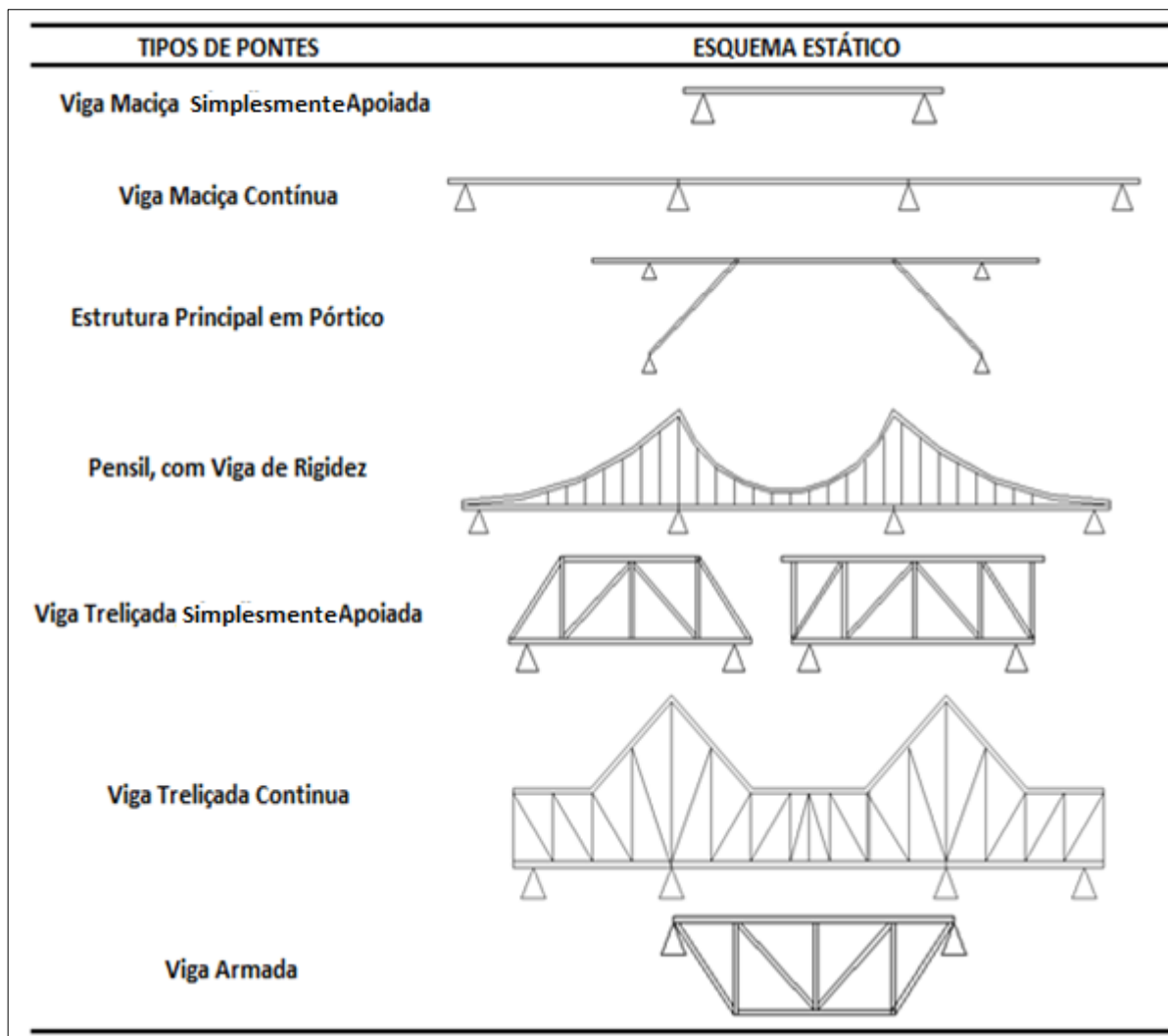


Figura 08 - Tipos Estruturais de Pontes em Madeira.
Fonte – Adaptado de Logsdon (1982).

2.4.2. Pontes de Concreto Armado

Segundo Hellmeister (1978), a evolução da utilização do concreto armado e do aço na construção das pontes tem acompanhado a história do homem na idade moderna. A tecnologia da madeira também tem alcançado alto nível, mas sua utilização é muito menos frequente.

O concreto é um material utilizado em larga escala no mundo inteiro. Em sua fase final de aplicação, após algumas horas, apresenta-se de forma sólida, passando a ideia de ser um produto altamente resistente, denso, indestrutível, durável, fácil de ser produzido.

Conforme Mehta (2008) descreve, concreto é um material compósito que possui uma pasta aglomerante ao qual se aglutinam partículas ou fragmentos agregados.

2.4.3. Pontes Mistas

Segundo Molina (2008), alternativas para resolver os problemas apresentados nas pontes de madeira surgiu com a utilização de concreto nos transversinas de madeira. No Brasil, o primeiro registro da utilização de concreto em transversinas de madeira foi sobre o Ribeirão dos Porcos, no interior do estado de São Paulo, na rodovia que liga Cambaratiba a Borborema.

Neste sistema, Hellmeister (1978) empregou peças roliças de madeira tratadas com CCA (solução de Cobre, Cromo e Arsênio) sobre longarinas, aplicando concreto somente como elemento de regularização da superfície. As imperfeições naturais das superfícies das peças roliças de madeira serviram de apoio para a peça de concreto, criando certa resistência ao deslizamento, transmitindo as forças de cisalhamento entre a madeira e o concreto.

Conforme Molina (2008), no sistema misto, durante a construção da transversina, a utilização de vigas roliças naturais, dispostas lado a lado, serve de fôrma para o concreto. Portanto, o sistema misto apresenta, além da facilidade de execução, vantagens econômicas com relação aos outros sistemas de transversina utilizados.

Segundo Alvim e Almeida (2003), a associação destes dois materiais resulta em elementos com excelentes características estruturais, combinando-se o que há de melhor em cada material, isto é, a leveza da madeira com uma maior resistência do concreto às intempéries.

Na transversina mista, a peça de concreto (constituída de uma laje armada) deve ser conectada às vigas de madeira de tal modo que ambos os materiais trabalhem em conjunto conforme a Figura 09.

De um modo geral, as inovações tecnológicas têm permitido melhorar a confiabilidade das estruturas mistas de madeira-concreto, especialmente no que se refere a utilização de conexões associadas a adesivos (ou resinas) estruturais adequados.

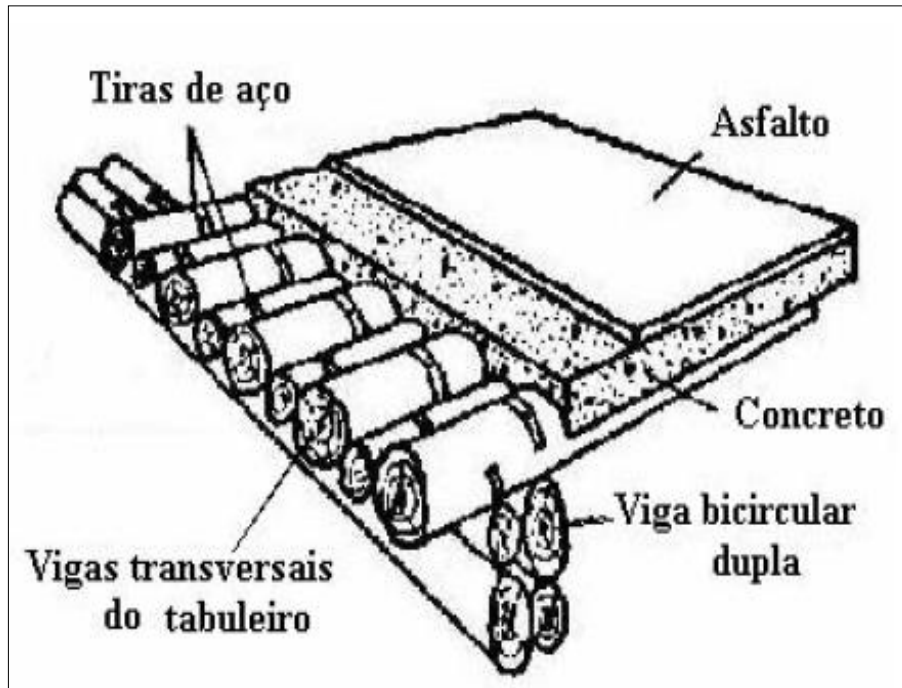


Figura 09 – Ponte Mista em Madeira e Concreto.
Fonte – Hellmeister (1974).

2.4.4. Pontes Metálicas

Segundo Milani (2010), considera-se como obras duráveis as pontes de aço, sendo as ações que mais as degradam a corrosão e a fadiga. Porém, em virtude da facilidade de realizar trabalhos de conservação, de reparação e de reforço, tais obras acabam por ser bastante duráveis. Percebe-se que neste tipo de ponte as obras de conservação e reforço são mais fáceis e econômicas de realizar em relação aos outros tipos.

Bauer (1994) verificou que existem muitas pontes de aço que estão a ultrapassar os cem anos de serviço com satisfatório comportamento, feitas com os novos tipos de aços pouco corrosíveis. Com as modernas técnicas de soldagem, que eliminam os rebites e parafusos, a vida futura dessas novas pontes excederá largamente o tempo de serviço das atuais pontes metálicas.

2.5. ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES

Conforme PFEIL (1990) e MARCHETTI (2008), as pontes do ponto de vista funcional podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, conforme Figura 10 abaixo.

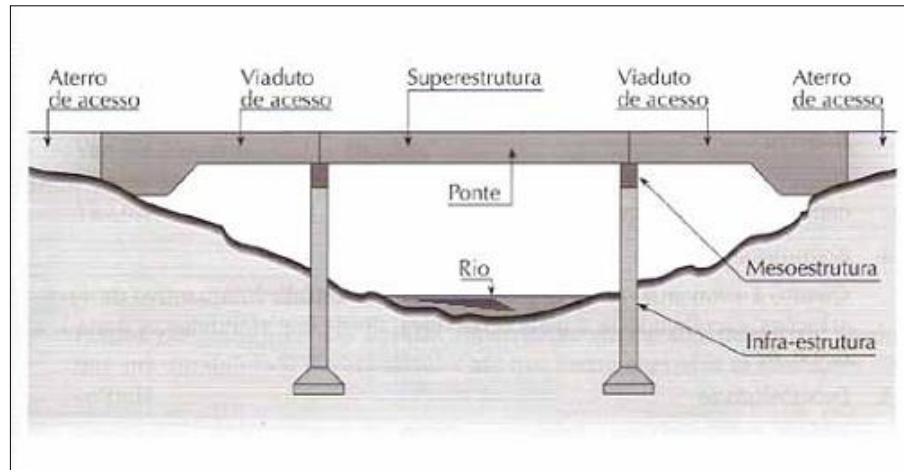


Figura 10 - Divisão Estrutural De Uma Ponte.

Fonte - Adaptado de Marchetti (2008 apud MILANI 2010).

2.6. ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS PONTES DE MADEIRA

Neste trabalho será abordada apenas a superestrutura, a qual é composta basicamente, de acordo com Molina (2006), por:

- Vigas, também chamadas de longarinas;
- Transversina;
- Rodeio e;
- Por elementos secundários: defensas e guarda rodas.

Os elementos podem ser observados nas Figuras 11, 12 e 13.

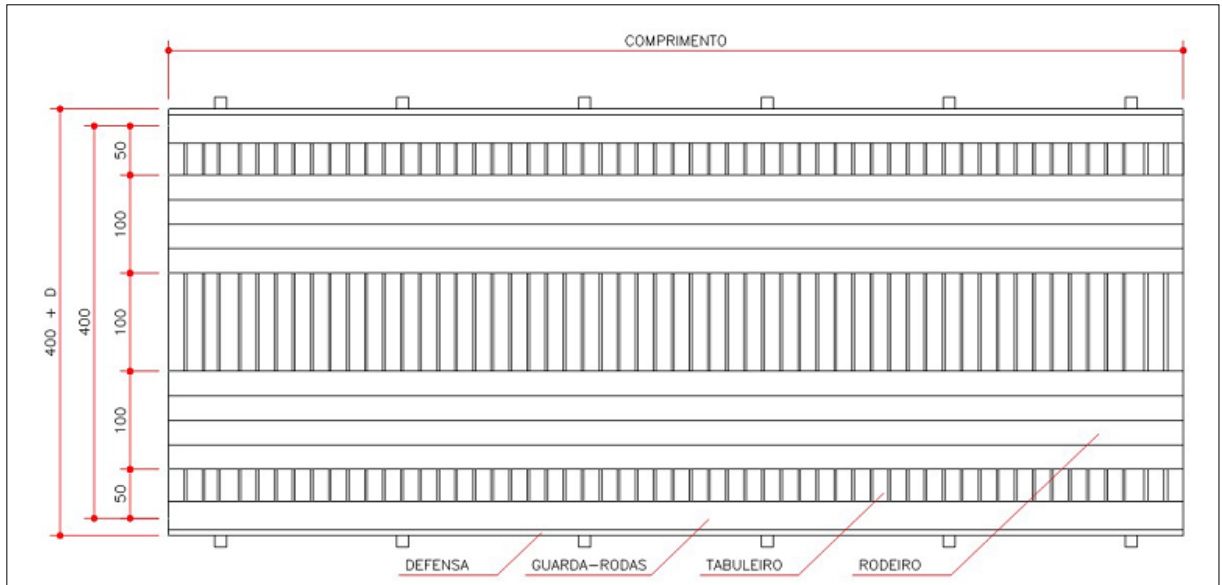


Figura 11 - Ponte em Vigas Roliças de Madeira Tratada: Vista Superior da Ponte.
 Fonte - Calil Junior (2006, p.80).

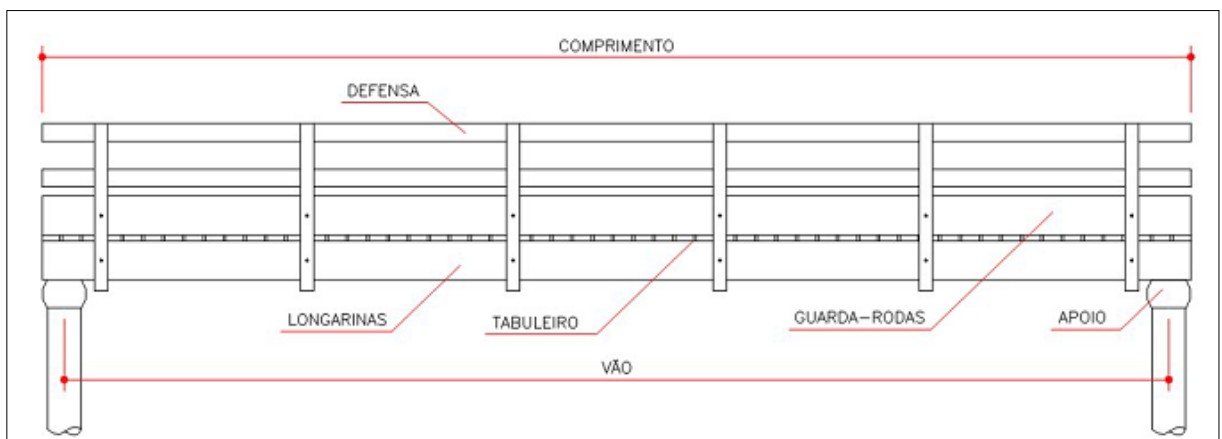


Figura 12 - Ponte em Vigas Roliças de Madeira Tratada: Vista Lateral da Ponte.
 Fonte - Calil Junior (2006, p.80).

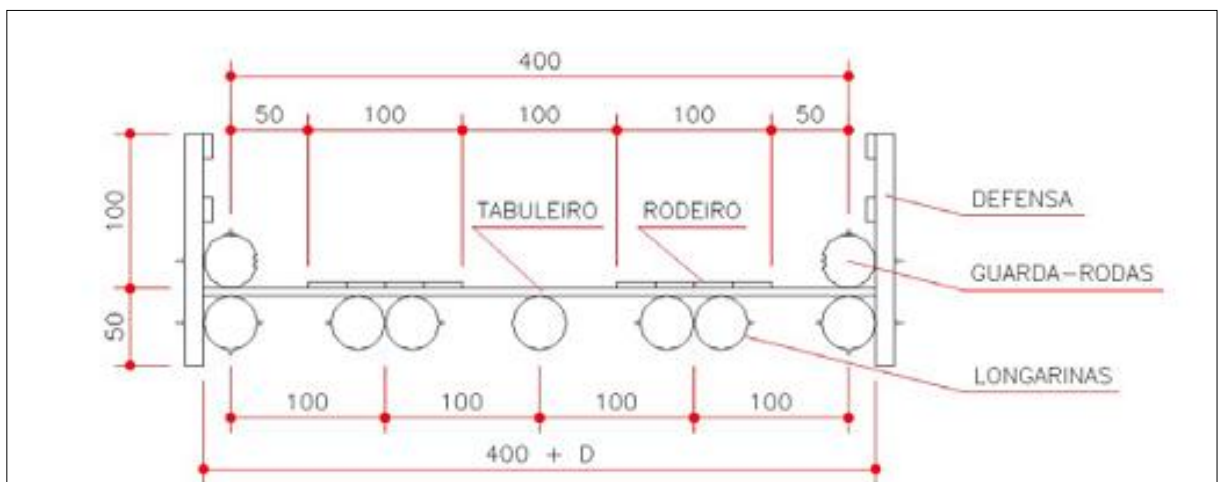


Figura 13 - Ponte em Vigas Roliças de Madeira Tratada: Seção Transversal.
 Fonte - Calil Junior (2006, p.80).

Segundo MOLINA (2006), as pontes em viga são as mais práticas e facilmente encontradas, sendo utilizadas na forma de vão único. A alternativa mais econômica entre as vigas de madeira é a utilização de peças roliças. Entretanto, deve-se ter alguns cuidados especiais em sua disposição construtiva, como por exemplo, a geometria cônica das toras faz com que seja necessário algum tipo de regularização para compensações longitudinais entre o topo e a base.

De acordo com Calil Junior *et al.* (2006), as longarinas são formadas por peças roliças de madeira dispostas no sentido longitudinal, alternando a disposição topo-base, tendo em vista a conicidade das peças. São também responsáveis por suportar o peso próprio da estrutura e também as cargas acidentais e seus efeitos dinâmicos.

A transversina é constituída por peças de madeira serrada, dispostas no sentido transversal e ligadas nas longarinas por parafusos, devendo suportar a carga acidental do veículo tipo, no caso deste sair do rodeio.

O rodeio é formado por peças de madeira serrada, dispostas no sentido longitudinal, tem a função de indicar a localização correta de onde o veículo deve passar e distribuir de forma uniforme as cargas acidentais para as transversinas e longarinas.

Já o guarda rodas e a defesa são os itens de segurança ao tráfego da ponte, sendo dimensionados de maneira a evitar que o veículo possa sair da ponte.

2.7. LIGAÇÕES

A execução das estruturas de madeira requer peças maciças com dimensões dificilmente encontradas. A viabilidade dessas estruturas se dá pela confecção de uniões compatíveis com as solicitações mecânicas, oferecendo resistência, durabilidade e segurança. A normatização brasileira referente à madeira aborda as ligações por meio de pinos metálicos, ligações coladas, cavilhas ou conectores. Os pinos metálicos são constituídos por pregos e parafusos, enquanto conectores podem ser anéis metálicos ou chapas metálicas com dentes estampados (CALIL, 2007).

Os pinos metálicos, principalmente os parafusos, podem ser considerados como os utilizados com maior frequência. Conforme a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997) no item 8.3.4, recomenda-se que os parafusos estruturais tenham diâmetro não inferiores a 10 mm e a resistência característica de escoamento f_{yk} de pelo menos 240 MPa.

No caso das arruelas de aço segundo a Norma citada anteriormente, o item 10.2.3 diz que a espessura mínima deve ser de 9 mm para ligações em elementos estruturais de poste e 6

mm em outras estruturas, não devendo em caso algum menor que 1/8 do lado, no caso de arruela quadrada, e o diâmetro em arruelas redondas (CALIL JR, 2007).

No cálculo das ligações, a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997) não permite a consideração benéfica do atrito entre as superfícies de contato, devido à retração e à deformação lenta da madeira. Também não deve ser considerado o atrito proporcionado por estribos, braçadeiras ou grampos. (CALIL *et al* 2003).

Essas conexões são determinantes no campo do projeto em madeira: são mais relevantes do que na construção em concreto e mais complexas que nas construções em aço devido à natureza anisotrópica da resistência e rigidez do material. Construções e elementos de madeira consistem da montagem de partes simples –colunas, vigas, caibros – ligados por elementos de concepção também simples (AMEIDA, 2002).

Segundo Brito (2010), as ligações em estruturas com peças de madeira roliça são mais difíceis de serem confeccionadas do que as ligações com madeira serrada. Em alguns casos é necessário que a peça de madeira seja cortada para facilitar a conexão das juntas e garantir o melhor comportamento entre os elementos estruturais nas ligações.

Deste modo, os autores citados afirmam que este é um dos principais problemas para a resistência ao uso de construções com peças de madeira roliça, onde os processos de execução das ligações são realizados por métodos bastante artesanais e dificultosos, que em alguns casos apresentam baixa eficiência.

Com isso Brito (2010) apresentou os tipos mais usuais de conexões nas estruturas de madeira, essas podendo ser utilizadas para várias situações desde treliças até pontes.

2.7.1. Ligações por Entalhes

Segundo Szucs (1992), a ligação por entalhes é considerado uma transmissão direta ou por contato direto, nela não possuem dispositivos intermediários entre as peças de madeiras.

Calil (2003) complementa que o dimensionamento das ligações por entalhes requer a verificação dos efeitos localizados, como a compressão no local do esforço, e em alguns casos a tendência a promover cisalhamento paralelo as fibras da madeira.

Esse tipo de ligação é usualmente utilizado no Brasil para sistemas viga-coluna e constitui num encaixe côncavo no topo da coluna (Figura 14) e às vezes fixada verticalmente com a adição de barra de aço galvanizado (pino metálicos) para impedir separação das peças (BRITO 2010).



Figura 14 - Confeção da Ligação para Entalhe, de Encaixe Cilíndrico, no Topo da Peça.
Fonte - Acervo dOs Autores (2013).

2.7.2. Ligações com Cavilhas de Madeira

Calil *et al*, (2003) afirma que as cavilhas possuem o mesmo sistema de um pino metálico quanto relação à transmissão de esforços (Figura 15). Esse tipo de ligação tem a vantagem de poderem ser utilizadas onde o ambiente é agressivo para os pinos metálicos.

Os autores ainda garantem que para sua confecção, a madeira utilizada deve possuir as propriedades mínimas de resistência, os valores especificados para a Classe C60 conforme NBR 7190:1997. Caso tenha uma densidade inferior esta deve ser aplicada um resina para aumentar a resistência até os valores compatíveis com a classe.



Figura 15 – Ligações por Cavilha.
Fonte – PARTEL (1999).

2.7.3. Ligações com Barra Rosqueada e Pino Metálico (Dowel-Nut)

É um sistema que consiste em barras de aço rosqueada, arruelas, pinos metálicos e porcas, ou parafusos com rosca e pino metálicos. Segundo BRITO (2010) o sistema de ligação funciona da seguinte maneira: primeiramente é feito um furo transversal passando pelo eixo da viga; próximo à coluna conecta-se o pino metálico que possui um furo com rosca fêmea compatível com o diâmetro da rosca da barra de aço. A barra de aço rosqueada é então introduzida passando transversalmente pela coluna e em um furo no eixo longitudinal da viga de forma a rosquear no orifício do pino metálico transversal. Na extremidade externa da barra de aço na face externa da coluna, introduz-se a arruela e a porca, comprimindo fortemente a madeira da coluna na direção transversal. Assim a barra de aço introduzida longitudinalmente no eixo da viga, ao rosquear com o pino transversal à viga, conecta-se na face interna da coluna como representa a Figura 16.



Figura 16 - Ligação Metálica com Barras Rosqueada e Pino.
 Fonte - BRITO (2010).

2.7.4. Ligações com barras rosqueadas, arruelas e porcas.

São utilizadas barras de aços rosqueadas, com sua fixação feita por arruelas e porcas nas suas extremidades. É usualmente utilizado em conexões entre os elementos estruturais, com peças roliças de madeira (BRITO, 2007).

Após colocado o parafuso ou barra rosqueada, as arruelas e porcas comprimem a madeira, assim transmitindo o esforço para o material.

Na Figura 17 ilustra-se diversos tipos de ligação utilizando barras de aço rosqueada.

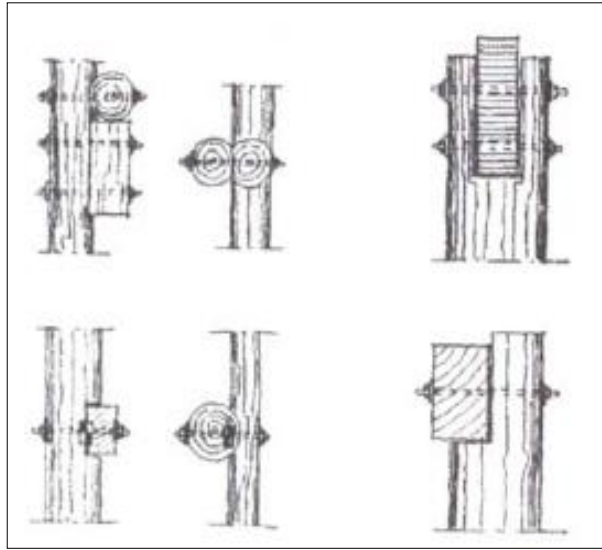


Figura 17 – Ligações com Barras Rosqueadas, Arruelas e Porcas.
Fonte – Holz (1995).

2.7.5. Ligações com Chapas Metálicas Externas Parafusadas

Esse tipo de ligação é também denominado como talas metálicas. Essa conexão é executada através de barras de aço com roscas, que atravessam transversalmente as chapas e as peças de madeira roliça. Apertando as porcas nas extremidades das barras de aço, travam o sistema comprimindo às peças de madeira (BRITO 2010).

Segundo Holz (1995) neste tipo de conexão é comum modificar as madeiras roliças fatiando duas faces externas, de maneira a tornarem planas e contínuas, para unir adequadamente junto às faces das chapas metálicas conforme a Figura 18.

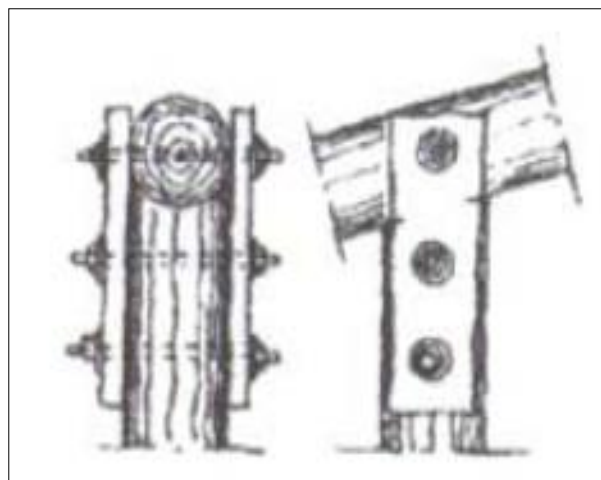


Figura 18 – Ligação com Chapas Metálicas Externas.
Fonte – Holz (1995).

2.7.6. Ligações com Chapas Metálicas Internas Parafusadas

Conforme Brito (2010), essa ligação consiste em um sistemas de chapas no qual ela é inserida no eixo da peça de madeira roliça, sendo sua conexão feita por barras de aço com rosca que atravessam transversalmente a peça de madeira. Com o aperto da porca, travam o sistema comprimindo a face da chapa na peça de madeira como mostra na Figura 19.



Figura 19 - Detalhe da Conexão da Chapas no Eixo da Peça.
Fonte – BRITO (2010).

2.7.7. Ligações com Consoles Metálicos Perfurados e Parafusados

Brito (2010) afirma que uma empresa de construção e consultoria da Califórnia a (“Whisper Creek Developers Inc.”), utiliza consoles metálicos perfurados e parafusados entre peças roliças de madeira com função estrutural conforme a Figura 20.



Figura 20 - Ligações de Consoles Metálicos Perfurados e Parafusados.
Fonte – Acervo dOs Autores (2013).

2.7.8. Chapas metálicas galvanizadas com dentes estampados

Calil (2010) afirma que as chapas metálicas galvanizadas com dentes estampados são utilizadas nas extremidades dos postes, toras e mourões, garantindo maior controle dos esforços de tensões internas nas fibras das madeiras, evitando que as rachaduras já existentes se alastrem e também reduzindo os níveis de fendilhamento durante o processo de secagem da madeira como visto na Figura 21.

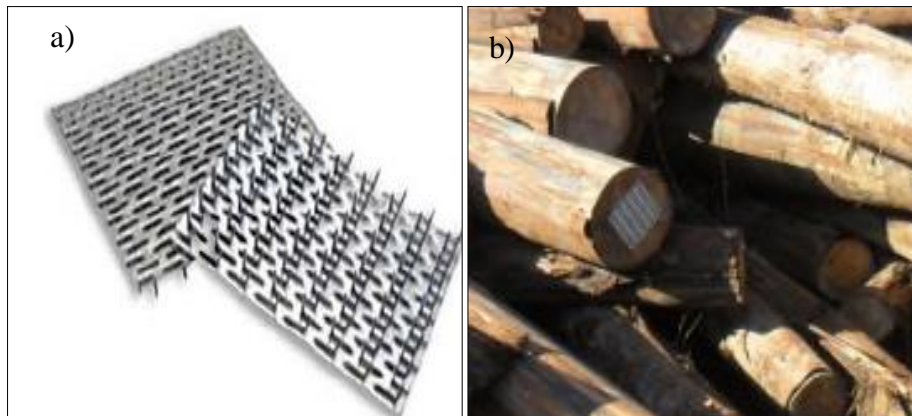


Figura 21 - (a) Detalhe das Chapa. (b) Chapas Fixadas no Topo da Peça.
Fonte - Acervo dos Autores.

2.7.9. Ligações com Cintas Metálicas Entrelaçadas

Segundo Calil (2010), há grande dificuldade de execução nesse sistema de ligação principalmente no posicionamento das cintas metálicas. Esse tipo de conexão foi utilizado na transversina da Ponte Pênsil sobre o rio Tietê em 1977, (Figura 22).

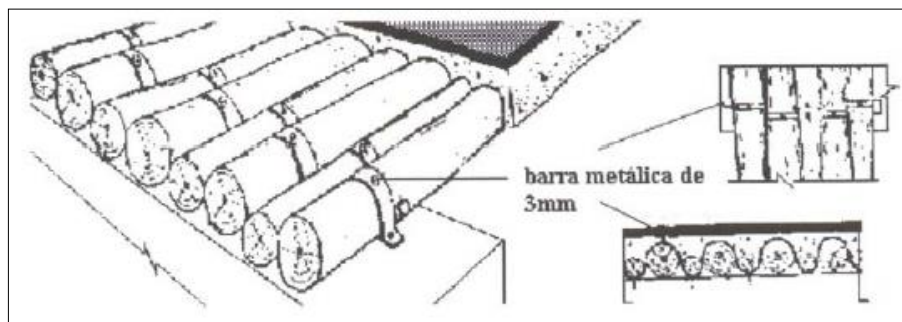


Figura 22 - Ligação com Cintas Metálicas.
Fonte - LOGSDON (1982).

Partel (1999) constatou a partir de ensaio feitos com as ligações citadas, qual a mais resistente entre as seguintes: chapas perfuradas pregadas; anéis e parafusos; pinos metálicos; e

entalhe e cavilha, comparando os valores de rigidez de cada tipo de ligação em peças roliças, na relação carga versus deslocamento (Figura 23).

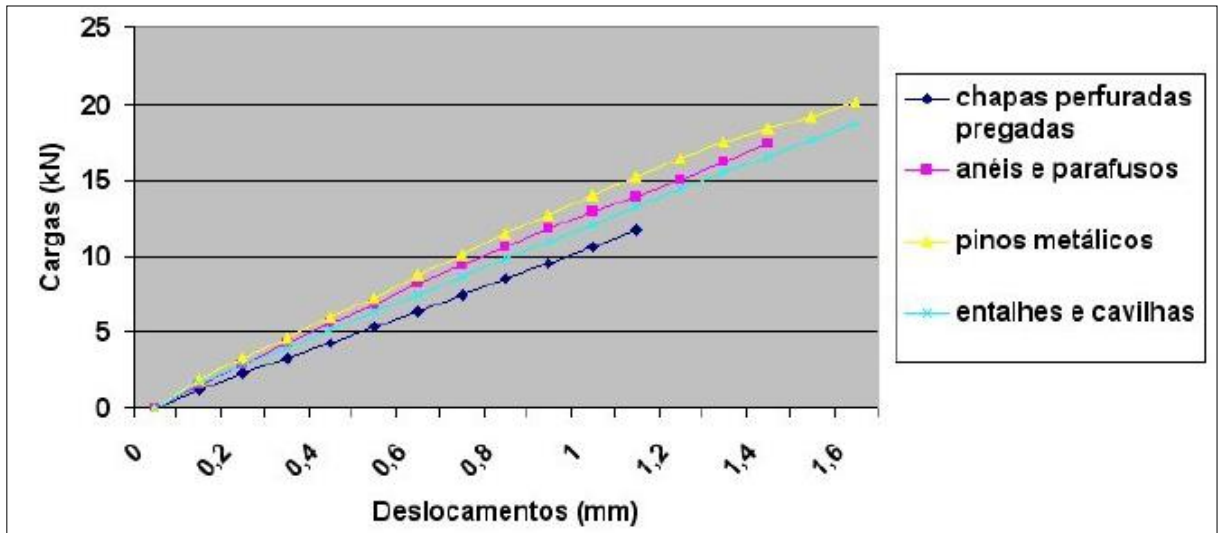


Figura 23 - Rigidez das Ligações.
Fonte - PARTEL (1999).

2.8. CARGAS SOBRE PONTES

Em 1940 surgiu no Brasil a questão da normatização com a NB-1, que tratava do cálculo de estruturas de concreto armado. Posteriormente, outras normas a complementar, entre elas a NB-6: Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias, publicada em 1943.

Dividiam-se as rodovias conforme o grau de importância, sendo as rodovias principais classificadas como rodovias de classe I. O trem-tipo era composto por cargas de compressores, caminhões e multidão.

Neste trabalho será indicado as diretrizes para o projeto e dimensionamento de pontes de madeira com os sistemas estruturais mais indicados para utilização na Região Sudoeste do Paraná.

Estas informações têm o objetivo de ajudar o engenheiro projetista, indicando a configuração geométrica das pontes e especificando os passos para o dimensionamento de cada sistema estrutural.

Para obter maiores informações sobre as diretrizes para projeto e critérios de dimensionamento, recomenda-se que os profissionais envolvidos (projetistas, engenheiros e arquitetos), consultem as normas técnicas da ABNT relacionadas com cada tipo de projeto:

- NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO..., 1980a) “Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”;

- NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO..., 1988) “Forças devidas ao vento em edificações”;
- NBR 6231 (ASSOCIAÇÃO..., 1980b) “Postes de Madeira- Resistência à Flexão”.
- NBR 6232 (ASSOCIAÇÃO..., 1973) “Postes de Madeira - Penetração e Retenção de Preservativo”;
- NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO..., 1982) “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre”;
- NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997) “Projeto de Estruturas de Madeira”;
- NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO..., 2003a) “Ações e segurança nas estruturas - Procedimento”.

Em alguns casos, pode ser necessário consultar as normas:

- NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2003b) “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”;
- NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO..., 1996) “Projeto e execução de fundações”;

Como as pontes são um tipo particular de estrutura, considerou-se as ações conforme a NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO..., 2003a) “Ações e segurança nas estruturas”, onde classifica-se as ações como permanentes, variáveis, e excepcionais.

2.8.1. Cargas Permanentes

Segundo a NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO..., 2003) “Como ação permanente direta considera-se o peso próprio dos elementos da construção, incluindo o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, peso dos equipamentos fixos e os empuxos devido ao peso próprio da terra não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas”.

“Ação indireta inclui, a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais” segundo a NBR 8681.

2.8.2. Cargas Variáveis

De acordo com a NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO..., 2003), consideram-se como ações variáveis as cargas acidentais das construções, bem como efeitos, tais como forças de frenação, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos

aparelhos de apoio e, em geral, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais:

- Ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;
- Ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas.

2.8.3. Cargas Excepcionais

A NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO..., 2003a), considera como excepcionais as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

3.1. SITUAÇÃO DAS PONTES DE ESTRADAS RURAIS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

Segundo Fernández Cánovas, (1988) patologia é a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das obras civis. Machado (2002) afirma que para que o diagnóstico das patologias esteja completo, é necessário abordar e esclarecer as manifestações patológicas; os vícios construtivos; as origens dos problemas; os agentes causadores dos problemas; o prognóstico para a terapia, e os erros de projeto.

Conforme Milani (2010), quanto às pontes de madeira encontradas no Município de Pato Branco, as principais manifestações patológicas observadas visualmente foram 93% com danos na madeira por ataques de insetos e ou fungos, 43% apresentam vigas em estágio avançado de apodrecimento, 82% com defeitos nas peças de madeira no tabuleiro e 25% danos devido à sobrecarga de veículos, como podemos observar na Figura 24 abaixo.

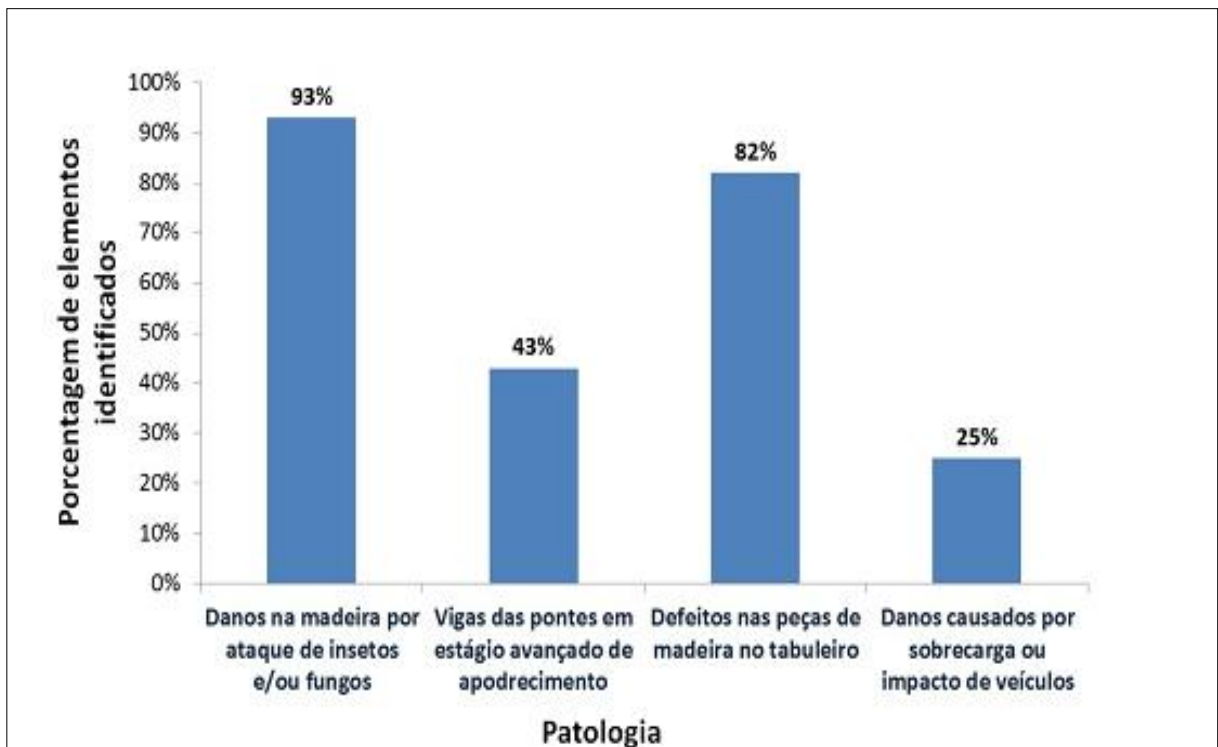


Figura 24 - Manifestações Patológicas nos Elementos da Superestrutura das Pontes de Madeira no Município de Pato Branco – Paraná.

Fonte - Milani (2010).

3.1.1. Rodeio e Transversina das Pontes de Estradas Rurais na Região Sudoeste do Paraná

A seguir pode-se observar a situação do rodeio e da transversina de algumas pontes presentes na Região Sudoeste do Paraná. Entre os defeitos encontrados pode-se observar ataque por fungos e insetos, danos de sobrecarga, defeito nas ligações das peças, deslocamentos, fissuras, defeitos na madeira, como por exemplo, fendas, nós, gretas, abaulamento, arqueamento, empenamento, entre outros.



Figura 25 - Ponte 01: Rodeio com Peças Soltas, Defeito nas Transversina, Inexistência de Defensas.

Fonte - Borsatti (2013).

A Ponte 01 apresenta rodeio com as peças soltas, observa-se defeito nas peças que compõem a transversina, inexistência de defensas.



**Figura 26 - Ponte 02: Transversina Danificada, Ausência Guarda-Rodas e Defensas.
Fonte - Borsatti (2013).**

A Ponte 02 apresenta inexistência de algumas peças do rodeio, a transversina possui peças danificadas, comprometendo as longarinas, ausência de guarda-rodas e a defesa.



**Figura 27 - Ponte 03: Rodeio Desgastados e Transversinas Quebradas.
Fonte - Borsatti (2013).**

Na Ponte 03 observa-se que as peças do rodeio estão desgastadas, as transversinas estão quebradas em suas extremidades, inexistente guarda-rodas e defesa.



Figura 28 - Ponte 04: Rodeio Danificado.
Fonte - Borsatti (2013).

Pode-se observar que na Ponte 04 que as peças do rodeio e da transversina estão danificadas e inexistente defesa.



Figura 29 - Ponte 05: Rodeio com Peças Soltas e Transversinas Quebradas.
Fonte - Borsatti (2013).

A Ponte 05 apresenta rodeio com peças soltas, transversina com peças quebradas, inexistência de guarda-rodas e defensas.



Figura 30 - Ponte 06: Excesso de Vegetação.
Fonte - Borsatti (2013).

Percebe-se na Ponte 06 excesso de vegetação ao longo da ponte e inexistência de guardarodas e defesa.



Figura 31 - Ponte 07: Estrutura Comprometida.
Fonte – Os Autores (2013).

Verifica-se na Ponte 07 que o rodeio não ultrapassa as dimensões da ponte, danificando a estrutura e inexistente defesa.



Figura 32 - Ponte 08: Rodeio Danificado.
Fonte – Os Autores (2013).

Verifica-se na Ponte 08 que o rodeio danificado e inexistência de defesa.



Figura 33 - Ponte 09: Rodeio Danificado.
Fonte – Os Autores (2013).

Verifica-se na Ponte 09 que a largura do rodeio é pequena e inexistente defesa.



Figura 34 - Ponte 10: Rodeio Danificado.
Fonte – Os Autores (2013).

Verifica-se na Ponte 10 que o rodeio está danificado e inexistente guarda-rodas e defesa.



Figura 35 - Ponte 11: Rodeio e Transversina Danificados.
Fonte - Os Autores (2013).

Verifica-se na Ponte 11 que o rodeio e a transversina estão danificados e inexistente guarda-rodas e defesa.

Observa-se que a maioria das pontes estão em péssimas condições, algumas colocam a vida do usuário em perigo principalmente se for utilizados máquinas ou caminhões, sendo necessário uma urgente manutenção destas pontes.

3.1.2. Vigas e Apoio das Pontes na Região Sudoeste do Paraná

De acordo com Lamem (2006) os apoios devem ser projetados e executados para garantir condições mínimas de segurança, funcionalidade e durabilidade. No caso das pontes deve-se considerar a erosão, níveis d'água máximo e mínimos, velocidades máximas de escoamento, e comportamento dos apoios de pontes próximas.

Os tipo de apoios mais comuns são: estacas com contenção de madeira, estacas com contenção mista de gabiões e madeira, estacas com muro de contenção em madeira, muro de gabiões, muro de contenção de alvenaria, muro de gravidade de concreto, muro de concreto sobre estacas, entre outros. Abaixo podemos observar as vigas de sustentação e os tipos de apoios encontrados na Região Sudoeste do Paraná.



Figura 36 - Detalhe Viga de Suspensão e Apoio.
Fonte - Os Autores (2013).



Figura 37 - Detalhe do Apoio.
Fonte - Os Autores (2013).



Figura 38 - Detalhe da Viga de Suspensão Danificada por Ataque de Fungos.
Fonte - Milani (2010).



Figura 39 - Detalhe da Viga de Suspensão e do Apoio.
Fonte - Milani (2010).



Figura 40 - Detalhe da Viga de Suspensão.
Fonte - Borsatti (2013).



Figura 41 - Detalhe do Apoio em Madeira.
Fonte - Milani (2010).

Conforme Milani (2010), as pontes encontradas apresentam vigas de sustentação e apoios constituídos com toras de madeira e gabiões. Algumas vigas apresentam boa condição de estabilidade, observa-se erosão do solo das fundações e manifestações patológicas em estágio avançado de apodrecimento.

Segundo observado nas imagens anteriores, acredita-se que os problemas encontrados podem ser atribuídos à inexistência de projetos executivos, falta de mão de obra qualificada, falta de manutenção, entre outros.

3.2. MODELO DE PONTE DE MADEIRA PROPOSTO PARA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

Segundo Borsatti (2013), a ponte mais utilizada na região Sudoeste seria as compostas de vigas de peças roliças. Ela tem a finalidade de suprir a demanda de veículos que por elas transitam. No entanto, em determinados casos as mesmas não atendem as medidas necessárias para o transporte de máquinas agrícolas.

Conforme Calil Junior *et al.* (2006), nas pontes de madeira em vigas roliças, o rodeio indica o local correto por onde o veículo deve transitar. Esta é a posição mais crítica para as longarinas, que devem suportar os esforços provocados pela totalidade de uma linha de rodas

do veículo-tipo. A Figura 42 abaixo mostra o posicionamento transversal crítico para o dimensionamento das longarinas.

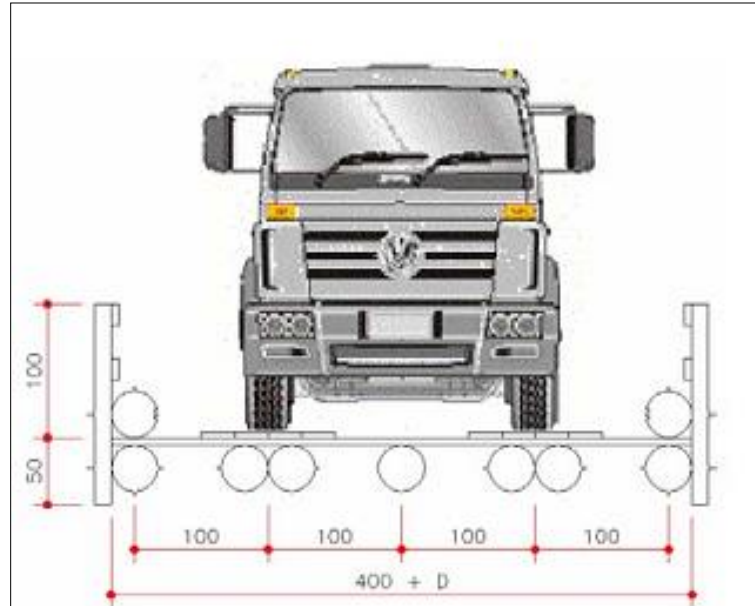


Figura 42 - Posicionamento Transversal do Veículo-Tipo Sobre o Rodeio.
Fonte - Calil Junior (2006).

Ainda conforme Calil Junior *et al.* (2006), outra possibilidade de solicitação que pode ocorrer nas pontes em vigas rolças, é quando o veículo-tipo transite fora do rodeio. Esta é a situação mais crítica para a transversina. A Figura 43 ilustra o posicionamento transversal crítico para o dimensionamento da transversina.

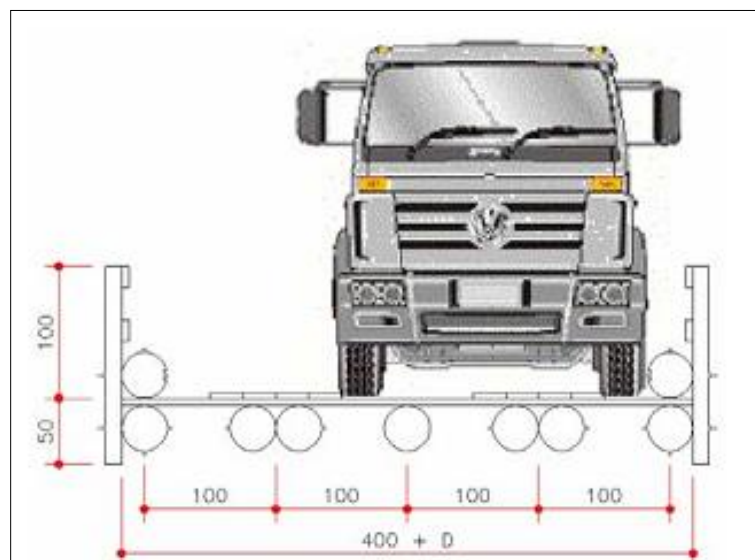


Figura 43 - Posicionamento Transversal do Veículo-Tipo Fora do Rodeio.
Fonte - Calil Junior (2006).

É possível observar pelas Figuras 44 e 45 apresentadas a seguir que as pontes de madeira atendem as necessidades de usuários que trafegam em veículos tais como, automóveis, caminhões, motocicletas, no entanto não atendem as necessidades de usuários de máquinas agrícolas, uma vez que as mesmas ultrapassam o rodeiro. Além disso, é possível notar que até mesmo o caminhão pode sair do rodeio e ocasionar danos na ponte.

No entanto, para atender a necessidade dos maquinários agrícolas, inicialmente é necessário efetuar levantamento de dados sobre os mesmos. Os dados apresentados nas Tabelas 03 e 04 a seguir são referentes aos maquinários da região de Pato Branco conforme pesquisa realizada nas principais revendedoras de maquinário agrícola, coletando informações sobre os modelos mais vendidos, suas dimensões, seu peso e as dificuldades de locomoção nas estradas da região. A entrevista pode ser vista no ANEXO A.

Tabela 03 – Catálogo de Maquinário Agrícola I.

Colheitadeiras	9472 STS	1175	9670/9770 STS
Rodado dianteiro	4,20 m	3,40 m	4,40 m
Rodado traseiro	3,89 m	2,28 m	4,10 m

Fonte - Borsatti (2013).

Tabela 04 – Catálogo de Maquinário Agrícola II.

Equipamentos Agrícolas	5070	BASUCA
Rodado dianteiro	2,85 m	2,80 m
Rodado traseiro	2,80 m	2,50 m

Fonte - Borsatti (2013).

Nas Figura 44 e 45 observa-se que a largura das pontes geralmente não atendem a dimensão das máquinas agrícolas dos produtores rurais da região, uma vez que as rodas ultrapassam o rodeiro. Além disso, foi possível notar na entrevista feita em revendedora de máquinas agrícolas, a influência na compra dos tipos de maquinários agrícolas, devido à restrição de largura e qualidade das estradas da região sudoeste, não só estradas vicinais como também estradas pavimentadas.



Figura 44 - Máquina Atravessando a Ponte.
Fonte - Borsatti (2013).



Figura 45 - Máquina Atravessando a Ponte.
Fonte - www.youtube.com/watch?v=jKYNsC4jk88 (2014).

Desta forma, em sua pesquisa acadêmica, Borsatti (2013) propôs um modelo para satisfazer as exigências do maquinário, observado na Figura 46.

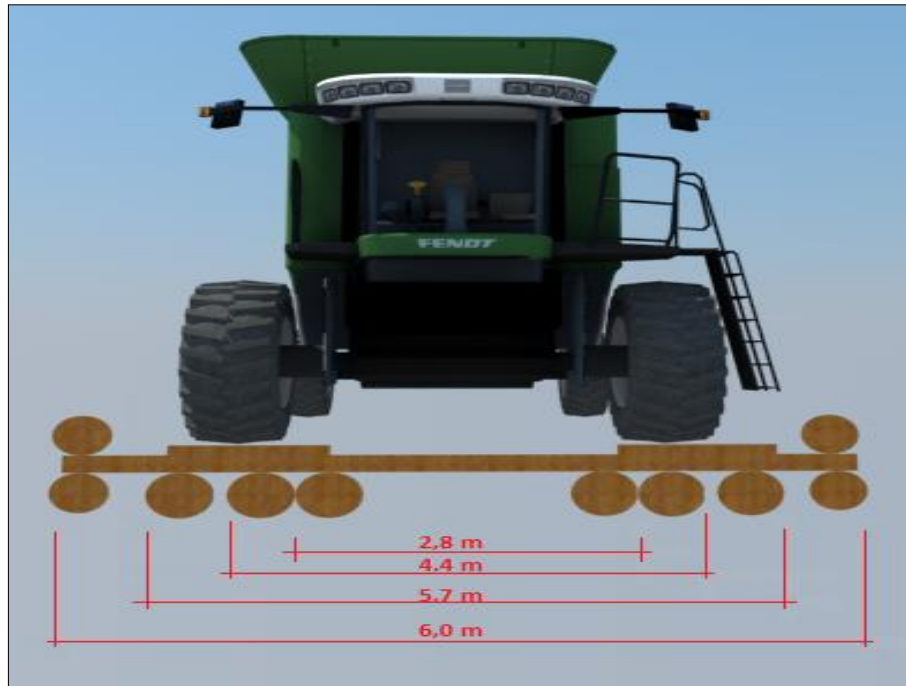


Figura 46 - Posicionamento Transversal do Veículo na Proposta de Ponte em Madeira.
Fonte - Adaptada de Borsatti (2013).

Devido a modernização dos maquinários agrícolas, algumas máquinas apresentam tamanho além do convencional, onde se pode acoplar 4 pneus por eixo, como mostra a Figura 61. Desta forma a dimensão das pontes foi adaptada para abranger este equipamento.

Com isso adaptou-se o modelo proposto por Borsatti (2013), onde a largura da ponte passou de 6,0 metros para 6,70 metros.

Analisaram-se diversas possibilidades para o rodeio, a mais adequada foi a de manter o rodeio por todo o tabuleiro, deixando apenas um vão de 0,70 metros central. Nas laterais foi deixado local para passagem de pedestre, como observa-se na Figura 47 e 48.

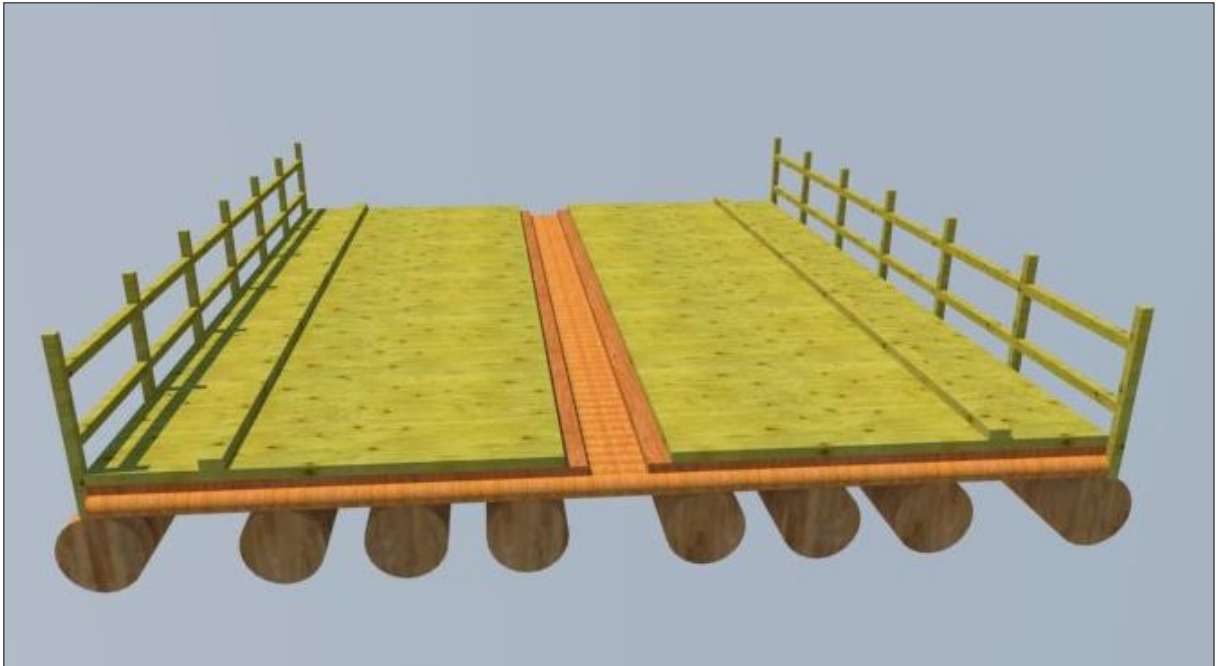


Figura 47 - Modelo Proposto.
Fonte - Os Autores (2013).

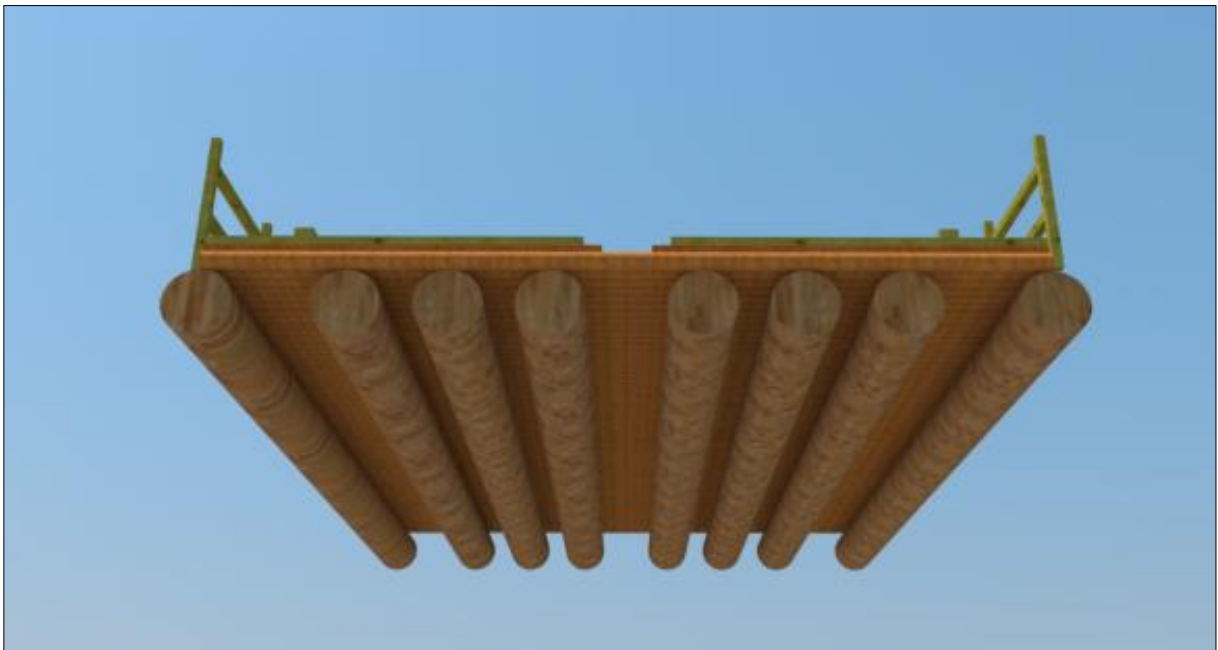


Figura 48 - Modelo Proposto.
Fonte - Os Autores (2013).

O modelo proposto inicial possui em seu rodeio tábuas de 7,5 x 15 (cm), para as transversinas, usualmente usa-se tábuas com as mesmas dimensões do rodeio. No entanto, como não existe comercialmente tábuas com 6,70 metros de comprimento, alterou-se para toras, e as longarina com oito toras, sendo seu vão máximo de 9 metros, devido à disponibilidade comercial das toras na região Sudoeste, e vão mínimo de 5 metros.

3.3. CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO

Para realizar o dimensionamento dos elementos estruturais, alguns critérios básicos devem ser analisados.

3.3.1. Propriedades de Resistência e Rigidez

Segundo Calil Junior *et al.* (2006) as propriedades de resistência e rigidez são influenciadas pela disposição dos elementos anatômicos responsáveis pela resistência mecânica, que são sobretudo as fibras.

Portanto, as principais propriedades da madeira a serem consideradas são: densidade, teor de umidade, resistência e rigidez.

Ainda Calil Junior *et al.* (2006) afirmam que a densidade é utilizada na determinação do peso próprio da estrutura, e pode-se adotar o valor da densidade aparente.

A rigidez da madeira expressa pelo seu Módulo de Elasticidade, determina o seu comportamento na fase elástico-linear. Conforme a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), devem ser conhecidos os módulos nas direções: paralela (E_{c0}) e normal (E_{c90}) às fibras.

O percentual de umidade presente na madeira altera as propriedades de resistência e elasticidade. Com isso deve-se ajustá-la em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas.

3.3.2. Propriedades Consideradas no Projeto Estrutural

De acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), em projetos de estruturas de madeira, para a padronização das propriedades da madeira adota-se o conceito de classes de resistência, propiciando assim a utilização de várias espécies com propriedades similares em um mesmo projeto.

Ainda conforme a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), a realização de ensaios de laboratório para a determinação das propriedades da madeira fornece, a partir da análise estatística dos resultados, valores médios dessas propriedades (X_m).

Para a utilização das propriedades em cálculos de estruturas de madeira, devem ser obtidos os valores característicos (X_k) e, posteriormente, os valores de cálculo (X_d).

A obtenção de valores característicos para resistência de espécies de madeira já investigado por laboratórios idôneos, é feita a partir dos valores médios dos ensaios pelas seguintes relações:

$$X_{Nk,12} = 0,7 * X_{Nm,12} \quad (01)$$

$$X_{Vk,12} = 0,54 * X_{Vm,12} \quad (02)$$

A partir do valor característico determinado da madeira pode-se obter o seu valor de cálculo (X_d) pela expressão:

$$X_d = K_{mod} * X_k / \gamma_w \quad (03)$$

Onde:

γ_w - coeficiente de minoração das propriedades da madeira.

K_{mod} - coeficiente de modificação.

3.3.3. Coeficiente de Modificação (K_{mod})

Segundo a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), os coeficientes de modificação afetam os valores de cálculo de propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade e da qualidade da madeira utilizada. O coeficiente de modificação é determinado pela expressão:

$$K_{mod} = K_{mod,1} * K_{mod,2} * K_{mod,3} \quad (04)$$

O coeficiente de modificação $K_{mod,1}$, que leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, conforme Tabela 05 abaixo:

Tabela 05 – Valores de $K_{mod,1}$

Classes de Carregamento	Tipos de Madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa Duração	0,70	0,45
Média Duração	0,80	0,65
Curta Duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte - NBR 7190:1997.

O coeficiente de modificação $K_{mod,2}$ leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado, conforme Tabela 06 abaixo:

Tabela 06 – Valores de $K_{mod,2}$

Classes de Umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira laminada colada Madeira compensada	
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte - NBR 7190:1997.

O coeficiente de modificação $K_{mod,3}$ leva em conta a categoria da madeira utilizada. Para madeira de primeira categoria, ou seja, aquela que passou por classificação visual para garantir a isenção de defeitos e por classificação mecânica para garantir a homogeneidade da rigidez, o valor de $K_{mod,3}$ é 1,0.

Caso contrário, a madeira é considerada como de segunda categoria e o valor de $K_{mod,3}$ é 0,8.

Nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade na direção às fibras deve ser tomado como:

$$E_{co,ef} = K_{mod} * E_{c0,m} \quad (05)$$

3.3.4. Coeficiente de Ponderação (γ_w)

Para verificações de Estados Limites Últimos (ELU), a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), especifica os valores dos coeficientes de ponderação, de acordo com a solicitação:

Compressão paralela às fibras: $\gamma_w=1,4$

Tração paralela às fibras: $\gamma_w=1,8$

Cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_w=1,8$

Para verificações de Estados Limites de Serviço (ELS), adota-se o valor básico de $\gamma_w=1,0$.

3.4. Dimensionamento do Sistema Estrutural de Ponte de Madeira

Para realizar o dimensionamento do sistema estrutural de ponte de madeira é necessário seguir algumas etapas.

3.4.1. Definição da Geometria e a Classe Estrutural da Ponte

Segundo Calil Junior *et al.* (2006), um projeto deve ser definido inicialmente pela largura da ponte e número de faixas baseado em fatores decorrentes das condições locais.

Através do modelo proposto na Figura 63 citado anteriormente, definiu-se a geometria da ponte, observada na Figura 49. A partir desse modelo a estabilidade da estrutura será verificada.

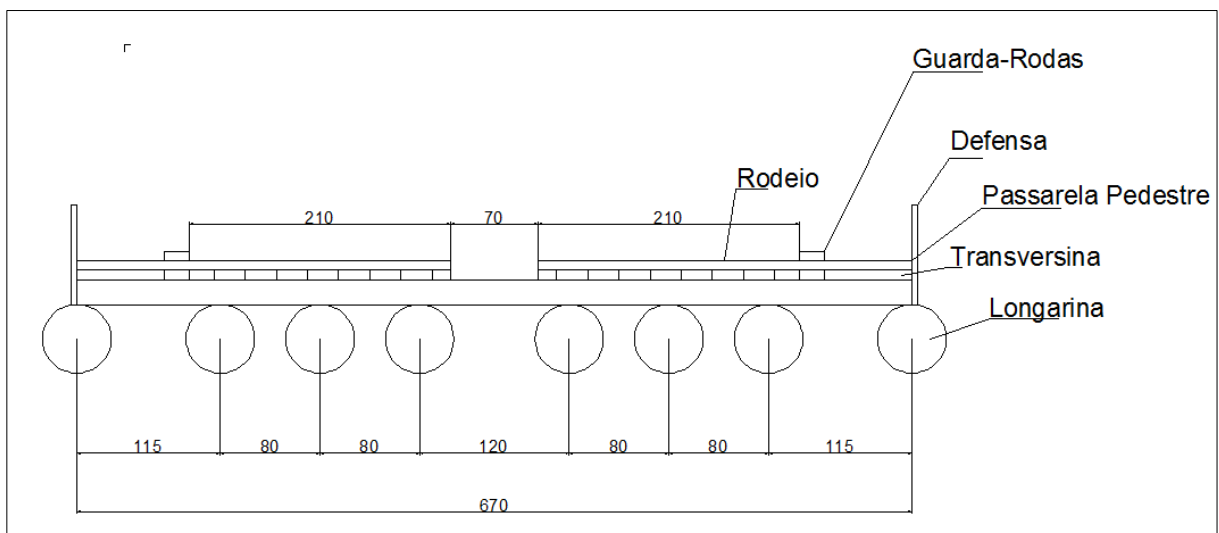


Figura 49 - Modelo Proposto (Corte).
Fonte - Os Autores (2013).

Para a verificação da capacidade resistente da estrutura dos demais vãos, serão utilizados os mesmos espaçamentos entre peças como apresentado acima. As modificações para obter se melhor aproveitamento das peças serão somente na otimização dos diâmetros das mesmas.

A classe estrutural da ponte é definida em função dos veículos que possam trafegar com maior frequência sobre a ponte. A norma NBR 7188 “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre” (ASSOCIAÇÃO...,1982), define três classes de pontes:

Classe 45: Veículo-Tipo pesando 450 kN.

Classe 30: Veículo-Tipo pesando 300 kN.

Classe 12: Veículo-Tipo pesando 120 kN.

Tendo em vista que o transporte de grãos para exportação é feita através de caminhões graneleiros, utilizou-se como base para o dimensionamento os veículos-tipo apresentados na Figura 50 e 51, e definiu-se a Classe 45 como classe estrutural da ponte a ser dimensionada.

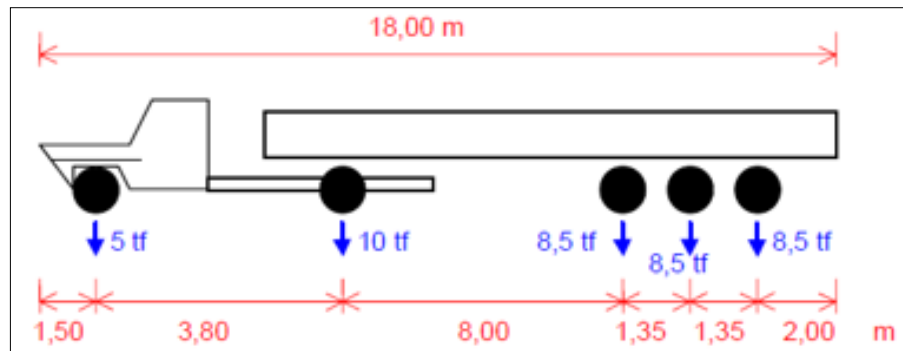


Figura 50 – Veículo-Tipo I Utilizado para Cálculos.
Fonte - Calil Junior (2006).

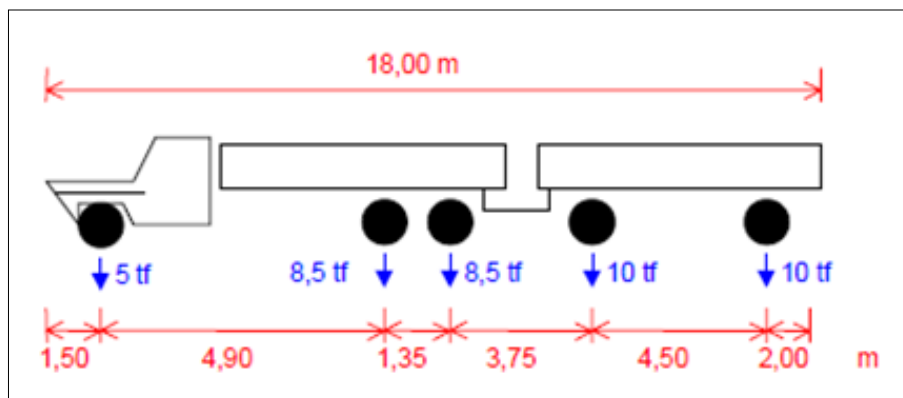


Figura 51 – Veículo-Tipo II Utilizado para Cálculos.
Fonte - Calil Junior (2006).

Foram utilizados dois trens-tipo sugeridos por Calil Júnior (2006) em busca das situações mais desfavoráveis para o dimensionamento da estrutura.

Também foi levado em consideração os tipos usuais de veículos empregados na área rural da região para a colheita de grãos, no entanto, como a carga máxima constatada nestes maquinários é de 21 tf (Colheitadeira S680 – John Deere) este modelo de veículo-tipo foi desconsiderado já que os modelos expostos nas Figuras 50 e 51 apresentam carga superior.

O maquinário agrícola foi de suma importância para definição da abrangência da pista de rolamento da ponte e será calculada para vãos de 5 a 9 metros por conta das características das peças de madeira roliça disponíveis na região.

3.4.2. Valores Característicos

Conforme dito anteriormente, o tipo de material empregado nos elementos estruturais da ponte é o *Eucalyptus dunnii*. As características da madeira foram retiradas da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997), conforme a Tabela 07.

Tabela 07 – Valores característicos do Eucalyptus Dunnii.

Nome comum	Nome científico	ρ_{ap} (12%) kg/m ³	f_{c0} (Mpa)	f_{t0} (Mpa)	f_{t90} (Mpa)	f_v (Mpa)	E_{c0} (Mpa)
E. Dunnii	Eucalyptus Dunnii	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029

Fonte – Anexo E da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO ...,1997).

3.4.3. Estimativa das cargas atuantes

De acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997), as peças de seção circular, sob a ação de solicitações normais ou tangenciais, podem ser consideradas como se fossem de seção quadrada, de área equivalente.

As peças de seção circular variável podem ser calculadas como se fossem de seção uniforme, igual à seção situada a uma distância da extremidade mais delgada igual a um terço do comprimento total, não podendo considerar um diâmetro superior a 1,5 vezes o diâmetro nessa extremidade.

Na Figura 52 observa-se o diâmetro equivalente de cálculo para peças de seção circular variável.

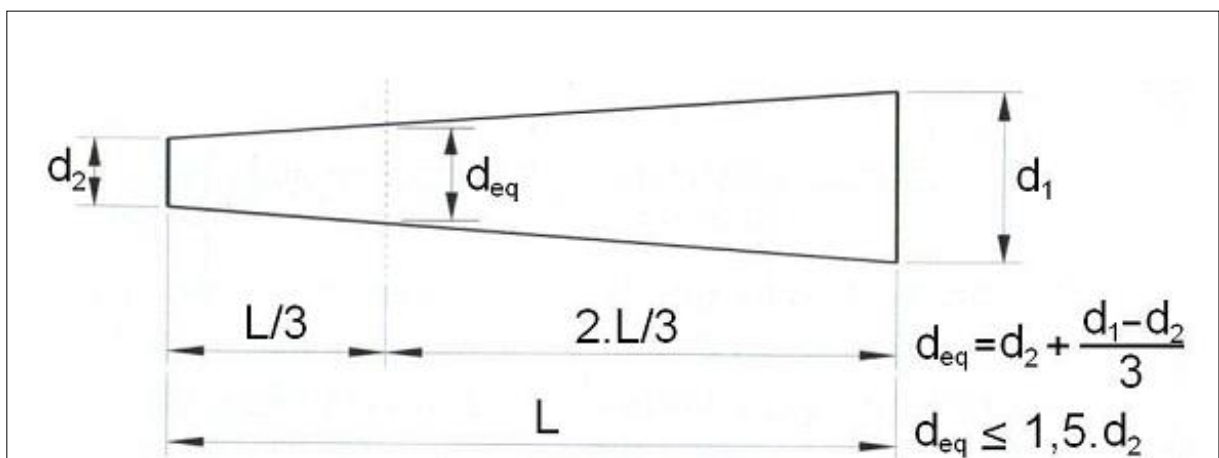


Figura 52 - Cálculo do Diâmetro Equivalente.

Fonte - Calil Junior (2006).

Onde:

d_{ep} – diâmetro equivalente de cálculo;

d_1 – maior diâmetro (base);

d_2 – menor diâmetro (topo);

L – comprimento total da peça.

Foi realizado um pré-dimensionamento das transversinas e longarinas. Para o rodeio utilizaram-se pranchas de 3 metros de comprimento, 15 centímetros de largura e 7,5 centímetros de altura.

Para as transversinas e as longarinas utilizaram-se toras com diâmetro de ponta de 15 e 50 centímetros, respectivamente. As longarinas, por possuírem maior diâmetro e comprimento, apresentam diferença entre o diâmetro de ponta e o de topo, característica não observada para as transversinas já que estas possuem menor diâmetro e comprimento. Na Figura 51 expõem-se o cálculo necessário para obter-se o diâmetro equivalente quando existe essa variação.

Observa-se que modelo de ponte proposto possui 6,70 metros de largura, diferente dos modelos convencionais que apresentam de 3 a 4 metros de largura. Propõe-se a utilização de toras na construção da transversina já que não são encontradas pranchas com essas dimensões.

Para uma melhor compreensão das cargas permanentes separou-se em rodeio, transversina e longarina.

3.4.3.1. Rodeio

Para o cálculo do peso próprio atuando no rodeio, considerou-se a área de abrangência entre duas transversinas, situação essa que seria mais desfavorável para o elemento em questão, além disso, como cada rodeio abrange somente um lado do eixo do caminhão, a carga total por eixo foi dividido por dois para a determinação da carga do trem tipo como mostra a Figura 53.

Além disso a área para as cargas permanentes e variáveis para essa peça foram consideradas como na Figura 54.

Os critérios de dimensionamento para o rodeio foram realizados com o intuito de que fossem verificadas as condições de suporte da estrutura. Por isso foram consideradas duas camadas de rodeio, mas devido a carga do pneu não ser uma carga pontual e o rodeio ser uma peça continua capaz de transmitir grande parte dos esforços por igual é possível utilizar na prática somente uma camada de rodeio para satisfazer as condições de uso.



Figura 53 - Distribuição da Carga do Trem Tipo nos Rodeios e Transversinas.
Fonte - Os Autores (2013).

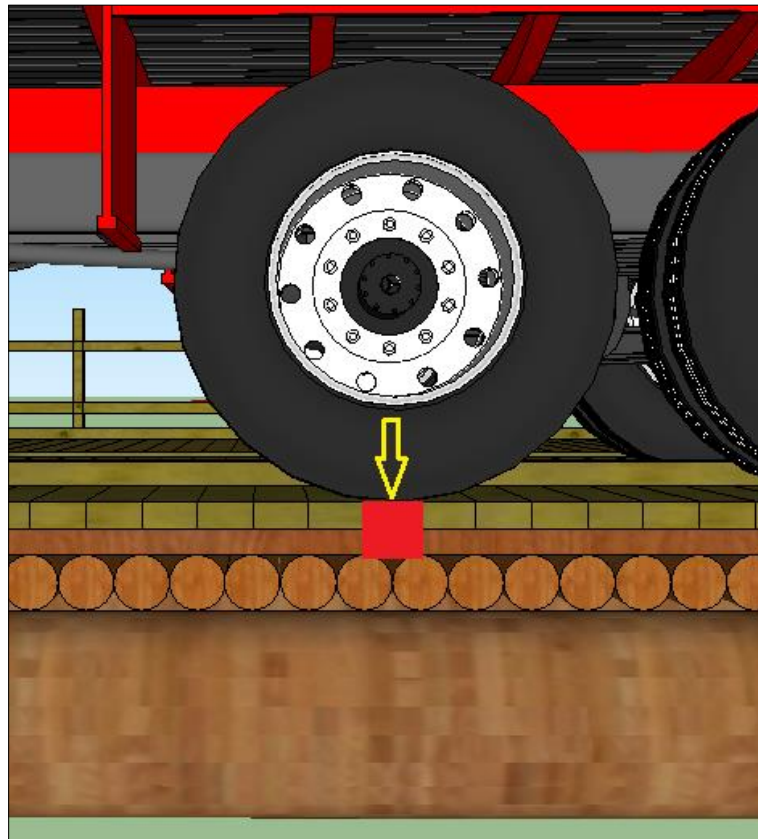


Figura 54 - Área de Abrangência para Verificação do Esforço do Rodeio.
Fonte - Os Autores (2013).

É possível notar que na Figura 54 existem duas faixa de rodeio, essa condição foi adotada para que a verificação da estabilidade da estrutura.

Conforme a NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO..., 1982) deve-se considerar também a carga do passeio, onde acrescenta-se 5kN/m² sobre os referidos passeios. Com isso obteve-se os dados observados na Tabela 08 abaixo.

Tabela 08 – Cargas Atuantes no Rodeio.

Área (m ²)	Comp. (m)	Volume (m ³)	Rodeio			Carga Total do Passeio (kN/m)	Total de Cargas (kN/m)
			ρ _{pap} (kg/m ³)	Peso (kg)	Peso Total +3% (kg)		
0,0225	0,15	0,0038	690	2,3288	0,1599	0,75	1,8192

Fonte - Os Autores (2013).

É necessário acrescentar ao peso total 3% devido aos conectores metálicos.

Para o rodeio considerou-se o esforço pontual do pneu do veículo tipo como exposto na Figura 54, situação mais desfavorável.

Como o vão entre eixos de toras é pequeno, será considerado uma transmissão quase plena da carga no rodeio para as transversinas desconsiderando o esforço cortante.

3.4.3.2. Transversinas

Para os valores das cargas atuantes na transversina considerou-se as cargas de peso próprio do rodeio, e peso próprio das transversinas, levando em conta o acréscimo de 3% devido aos conectores metálicos e a carga do passeio conforme NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO..., 1982).

A Tabela 09 apresenta os resultados obtidos para peso próprio do rodeio atuando na transversina. A disposição do veículo tipo utilizado para os cálculos está exposta na Figura 69.

Tabela 09 – Cargas do Rodeio Atuando na Transversina.

Área (m ²)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Rodeio			Carga (kN/m)
			Pap (kg/m ³)	Peso (kg)	Peso + 3% (kg)	
0,0675	6,70	0,4523	690	312,0525	321	0,4797

Fonte - Os Autores (2013).

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para peso próprio da transversina.

Tabela 10 – Peso Próprio da transversina.

Área (m ²)	Comprimento (m)	Transversina		Peso (kg)	Peso + 3% (kg)	Carga (kN/m)
		Volume (m ³)	Pap (kg/m ³)			
0,0177	6,70	0,1183	690	81,6537	84,10	0,3766

Fonte - Os Autores (2013).

A Tabela 11 apresenta o resumo das cargas atuantes na transversina.

Tabela 11 – Resumo das Cargas Atuantes na Transversina.

Carga Total Pp +3% (kN/m)	Carga Total do Passeio (kN/m)	Total das cargas (kN/m)
0,8563	2,25	3,1063

Fonte - Os Autores (2013).

Como as transversinas estão dispostas lado a lado, considerou-se que a transmissão das cargas pelo rodeio e veículo tipo seriam a cada três toras lado a lado agindo assim como uma peça única, absorvendo os esforços por igual, como ilustra a Figura 55.

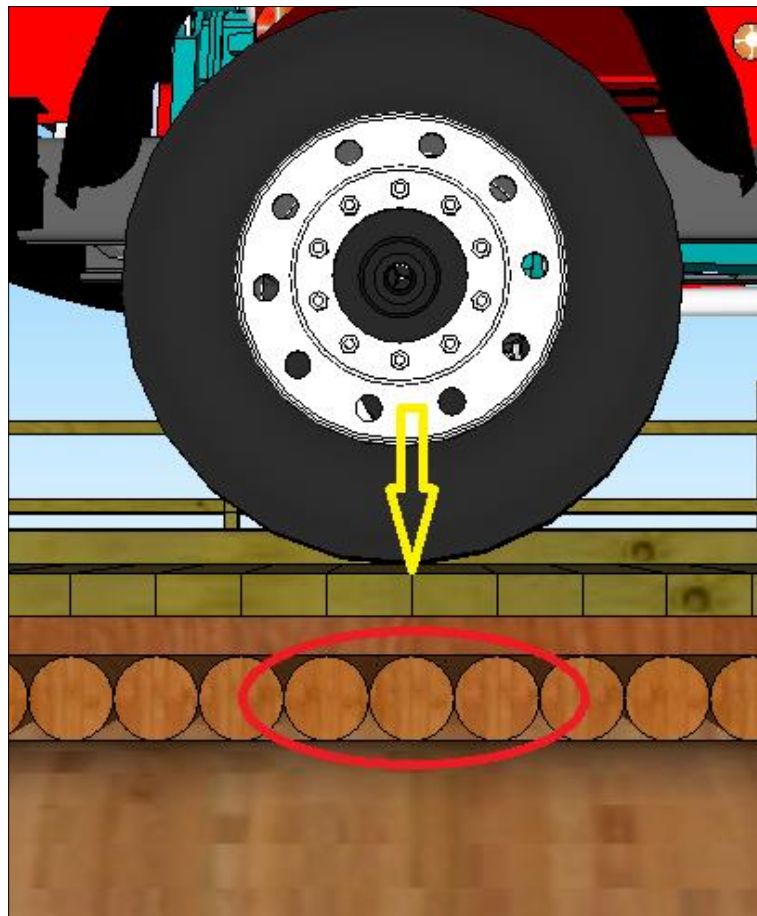


Figura 55 - Área de Abrangência para Verificação do Esforço nas Transversinas.
Fonte - Os Autores (2013).

3.4.3.3. Longarinas

No cálculo das cargas atuantes nas longarinas utilizou-se a carga de peso próprio dos rodeios, das transversinas e das longarinas, onde o procedimento de cálculo é o mesmo que o do rodeio e transversinas.

Devido à quantidade de transversinas dispostas lado a lado, o que confere uma boa rigidez ao sistema, é possível distribuir os esforços igualmente para as três longarinas principais, que absorvem a carga do sistema e veículo tipo.

Nas Tabelas 12 a 15 observam-se os valores de peso próprio do rodeio, da transversina, da longarina e o resumo das cargas, respectivamente.

Tabela 12 –Carga de Peso Próprio do Rodeio.

Rodeio						
Área (m ²)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Pap (kg/m ³)	Peso (kg)	Peso +3% (kg)	Carga (kN/m)
0,24	9,00	2,1600	690	1490,4000	1535,1120	1,7057

Fonte - Os Autores (2013).

Tabela 13 –Carga de Peso Próprio da Transversina.

Transversinas						
Área (m ²)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Pap (kg/m ³)	Peso (kg)	Peso +3% (kg)	Carga (kN/m)
0,0177	9,00	0,1589	690	109,6841	112,9746	1,3389

Fonte - Os Autores (2013).

Tabela 14 –Carga de Peso Próprio da Longarina.

Longarina						
Área (m ²)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Pap (kg/m ³)	Peso (kg)	Peso +3% (kg)	Carga (kN/m)
0,1589	9,00	1,4307	690	987,1570	1016,7718	4,0169

Fonte - Os Autores (2013).

Tabela 15 –Resumo das Cargas Atuantes na Longarina.

Carga Total Pp +3% (kN/m)	Carga Total do Passeio (kN/m)	Total das cargas (kN/m)
7,0615	8	15,0615

Fonte - Os Autores (2013).

3.4.4. Cálculo dos esforços máximos

Para determinação dos diagramas das diferentes partes da ponte, foram utilizados os veículos tipo citados anteriormente Figura 50 e 51, constatou-se que as cargas do veículo tipo II são mais desfavoráveis para a estrutura, portanto este que será utilizado para as verificações, como a ponte possui vão menor do que o veículo tipo, o veículo foi analisado de tal forma que oferecesse maior esforço para estrutura como demonstrado na Figura 56.

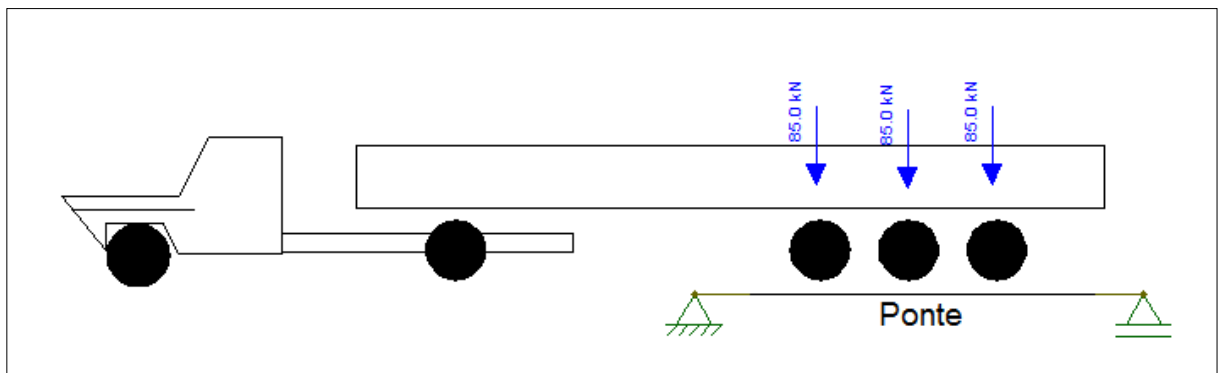


Figura 56 – Disposição do trem tipo II.
Fonte - Os Autores (2013).

As estruturas foram analisadas de forma independente (rodeio, transversina e longarina) obtendo-se os diagramas mostrados a seguir.

Para a análise dos carregamentos, foi desenhada a linha de influência dos esforços de cisalhantes e momentos fletores, pois através dela é possível determinar as reações em um local específico da estrutura, devido à força concentrada aplicada em movimento, assim obtendo os diagramas demonstrados a seguir (HIBBELER, 1985).

Todos os cálculos foram determinados para a situação mais desfavorável, com o maior vão livre (9 metros), e com o trem tipo Classe 45, sendo o roteiro de cálculo repetido para os demais vãos.

3.4.4.1. Rodeio

O rodeio diferencia-se das outras situações devido a análise pontual feita nas pranchas do mesmo. Com isso considerou-se o eixo mais carregado dos veículos tipo citados anteriormente e obteve-se o trem tipo da Figura 48, baseando-se na observação feita na Figura 57.

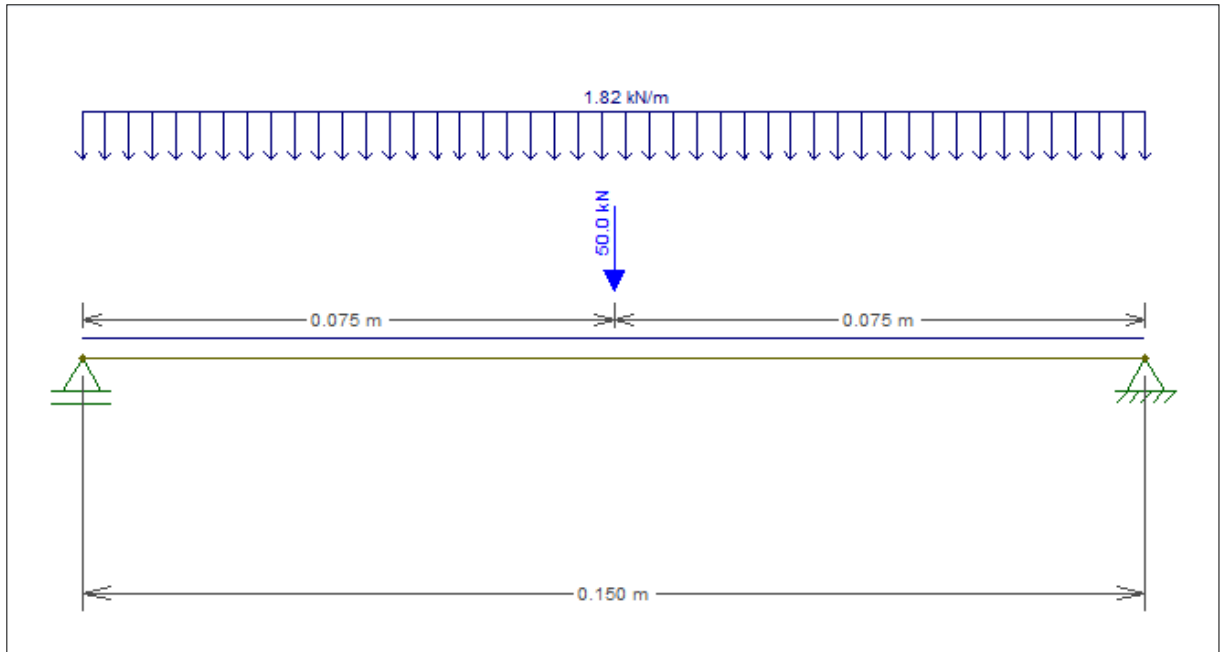


Figura 57 - Cargas Permanentes e Acidentais (Rodeio): Trem Tipo Específico.
Fonte - Os Autores (2013).

É possível observar que a carga pontual é a carga total de um eixo do veículo tipo I dividido por dois, para fazer a verificação somente no vão entre transversinas.

Como foi citado anteriormente o esforço cisalhante não será considerado devido ao pequeno vão do rodeio, considerando a transmissão direta para as transversinas.

Na Figura 58 demonstra-se a linha de influência para o momento.

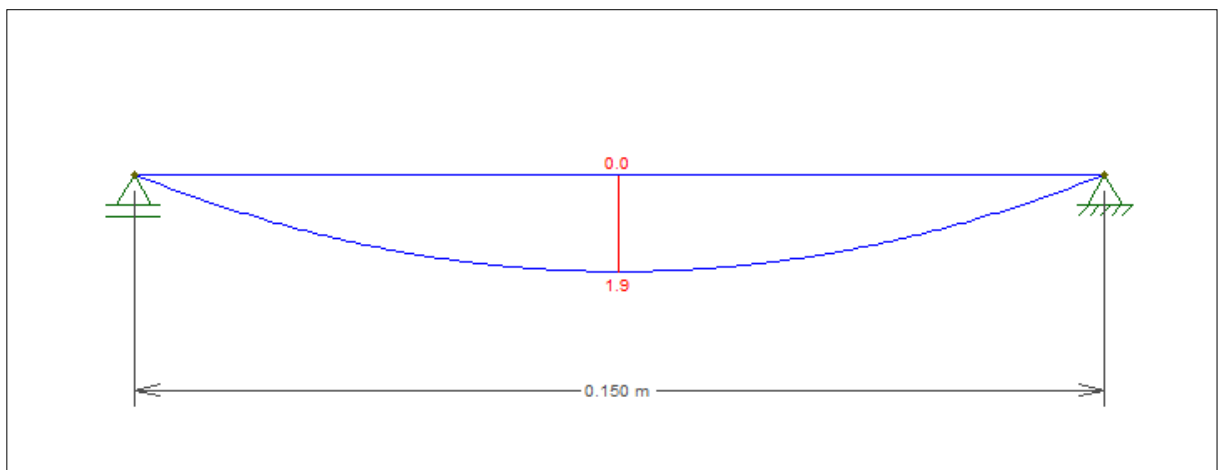


Figura 58 – Cargas Permanentes e Acidentais (Rodeio)- Momento (KN.m).
Fonte - Os Autores (2013).

Nota-se que o momento máximo é 1,9 KN.m, foi necessário acrescentar duas camadas de pranchas de rodeio para que a peça suporte o esforço.

3.4.4.2. Transversinas

Nota-se que a análise para as transversinas é feita transversalmente à ponte, como a largura da ponte não varia com os vãos, a condição para satisfazer os cálculos será a mesma para os demais vãos. Já o modo que foi considerado a disposição das cargas nas transversinas demonstrada na Figura 56 assim obtendo o trem tipo da Figura 59.

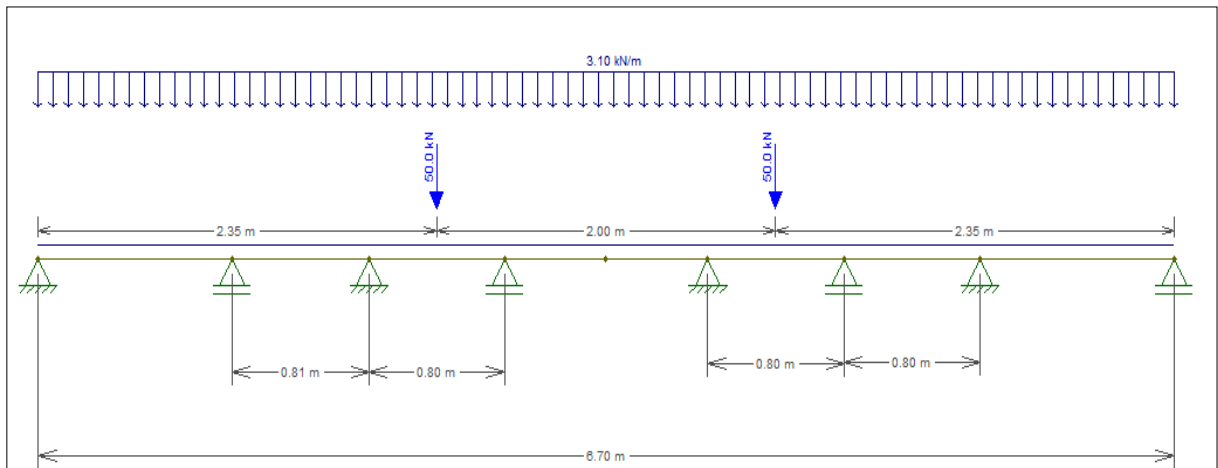


Figura 59 – Cargas Permanentes e Acidentais (Transversina)- Trem Tipo.
Fonte - Os Autores (2013).

Assim obtendo os envoltórios de esforços por meio da linha de influência para cortante e momento fletor, respectivamente.

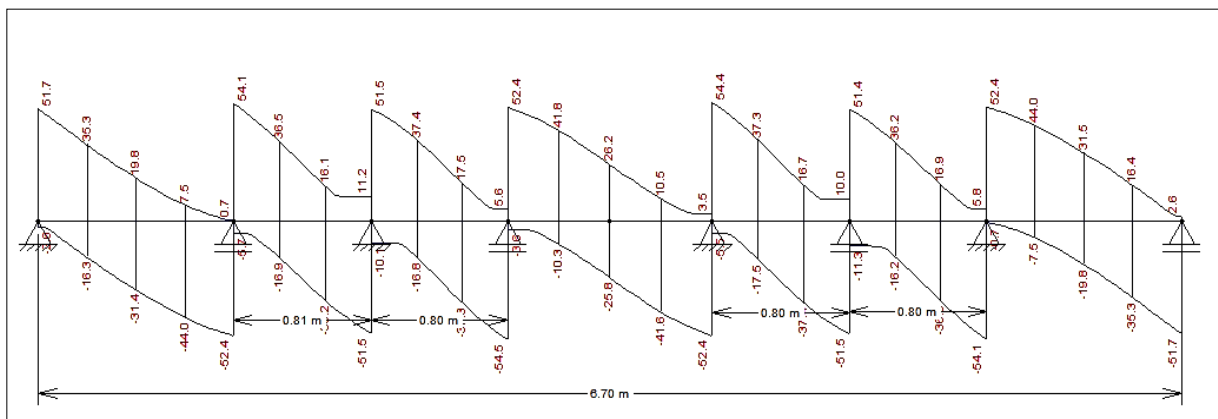


Figura 60 – Envoltória dos Esforços (Transversina)- Cisalhamento: Valores em KN.
Fonte - Os Autores (2013).

Lembrando que os esforços serão absorvidos por três transversinas. Assim obteve-se 54,5 kN dividindo por 3, portanto cada uma deve resistir a 18,17 kN.

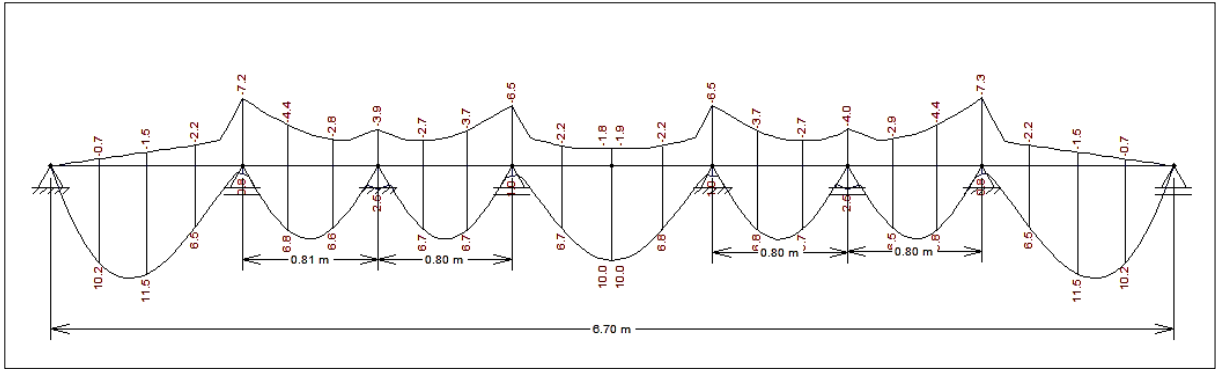


Figura 61 – Envoltória dos Esforços (Transversina)- Momento: Valores em KN.m.
Fonte - Os Autores (2013).

Valor máximo para o trem tipo único para essa situação é 3,84 kN já dividido por 3.

3.4.4.3. Longarinas

Para as longarinas foi utilizado o veículo-tipo II mostrado a seguir:

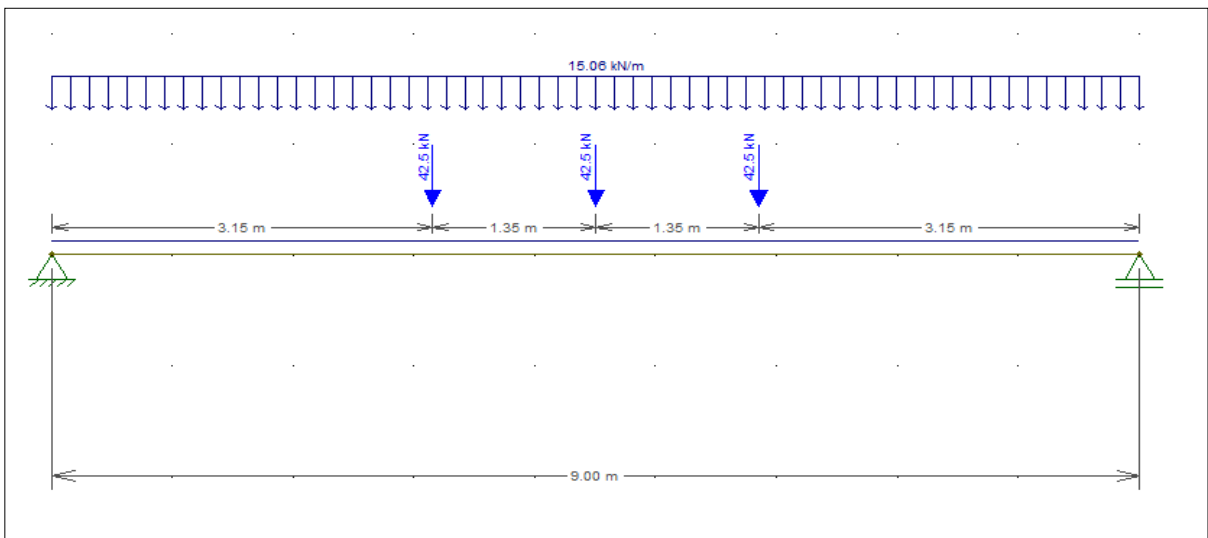


Figura 62 – Cargas Permanentes e Acidentais: Trem Tipo II.
Fonte – Os Autores, (2014).

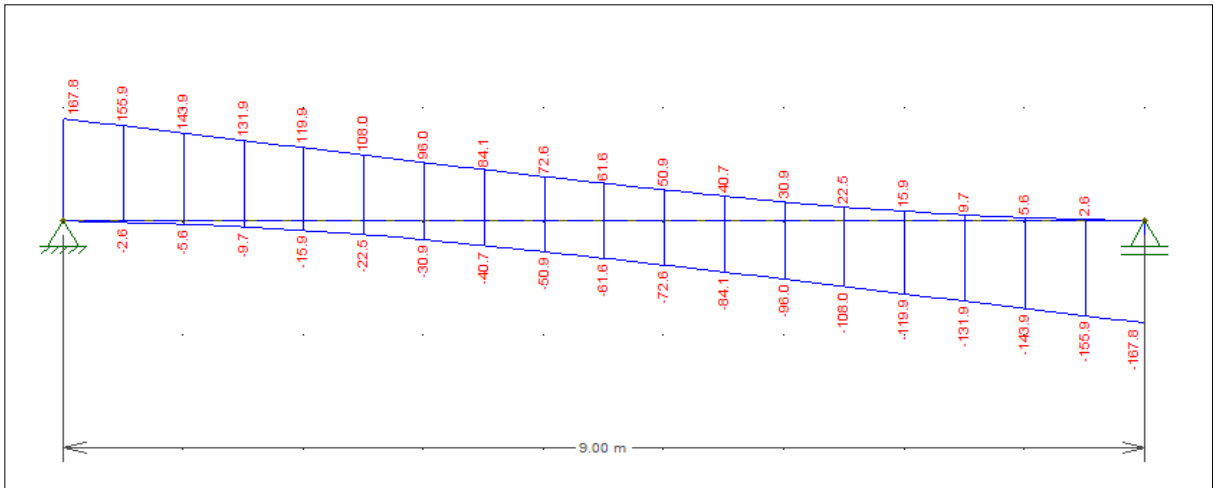


Figura 63 – Cargas Permanentes e Acidentais: Cisalhamento (KN).
Fonte – Os Autores (2013).

Através da Figura acima obteve-se o cortante máximo para cada longarina de 56 KN.

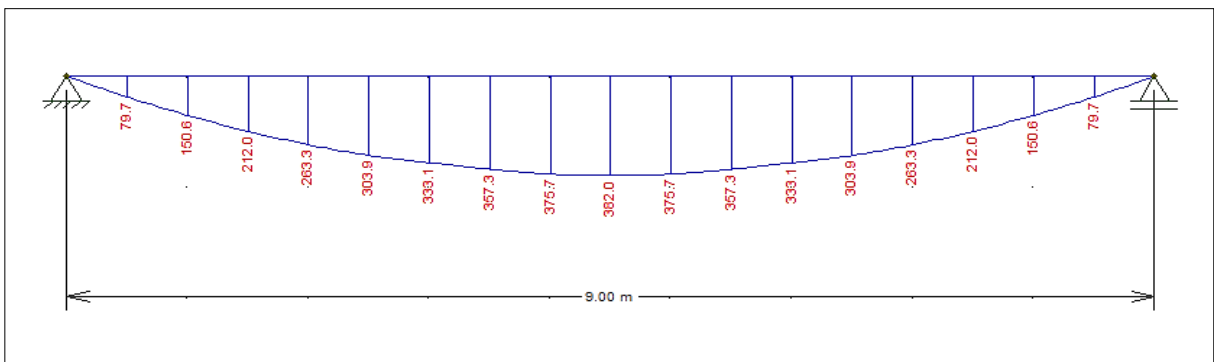


Figura 64 – Cargas Permanentes e Acidentais: Momento (KN.m).
Fonte - Os Autores (2013).

4. RESULTADOS

O procedimento apresentado acima foi realizado para os diferentes vãos, e com isso obtém-se um resumo do momento máximo e cortante máximo para as diferentes partes do sistema (Tabela 16).

Através dos valores obtidos de momento e cortante será possível fazer as verificações necessário para a ponte proposta. Verificando então os diâmetros possíveis, para resistir aos esforços solicitantes.

Tabela 16 – Dados para Dimensionamento de Esforços.

Vão(m)	Função	Comprimento (m)	Momento Máx	Cortante Máx. (KN)	Momento Máx para uma peça	Cortante Máx. Para uma peça
9,00	Rodeio	9,00	1,90	0	1,90	0
	Transversinas	6,70	4,70	18,20	1,57	6,07
	Longarinas	9,00	382	167,80	127,33	55,93
8,00	Rodeio	8,00	1,90	0	1,90	0
	Transversinas	6,70	4,70	18,20	1,57	6,07
	Longarinas	8,00	318,10	159,60	106,03	53,20
7,00	Rodeio	7,00	1,90	0	1,90	0
	Transversinas	6,70	4,70	18,20	1,567	6,067
	Longarinas	7,00	258,00	150,60	86,00	50,20
6,00	Rodeio	6,00	1,90	0	1,90	0
	Transversinas	6,70	4,70	18,20	1,57	6,07
	Longarinas	6,00	201,60	140,60	67,20	46,87
5,00	Rodeio	5,00	1,90	0	1,90	0
	Transversinas	6,70	4,70	18,20	1,57	6,07
	Longarinas	5,00	149,10	128,70	49,70	42,90

Fonte – Os Autores (2013).

4.1. VERIFICAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através dos dados observados anteriormente podemos verificar as dimensões necessárias para as pontes de diferentes vãos.

Na Tabela 17 observa-se os resultados dos esforços máximos a qual as estruturas estão expostas. É possível observar que alguns valores permanecem constantes devido a não variação na dimensão destas peças. Também é visto que os valores de esforço cortante para o rodeio não foram considerados, pois a abrangência dos pneus do veículo tipo não atua necessariamente

como uma carga pontual e as duas camadas de rodeio trazem maior rigidez para a estrutura melhorando a transmissão de esforços para as transversinas.

No caso da fixação das peças é possível optar pelas ligações sugeridas neste trabalho (item 2.7).

Para pontes com vão de 9 metros é necessário no rodeio 252 pranchas de 15,00 cm de largura por 7,50 cm de altura, 61 toras de 15,00 cm de diâmetros e 8 longarinas de 50,00 a 55,00 cm de diâmetro.

Para 7 e 8 metros observa-se que a configuração é a mesma de 9 metros.

Para 5 e 6 metros de comprimento é necessário o mesmo número de pranchas que os anteriores, de 15,00 cm de largura por 7,50 cm de altura, 61 toras de 15,00 cm de diâmetro e 8 toras de 40 a 45 cm de diâmetro.

A Tabela com as verificações está no ANEXO B.

As recomendações técnicas e os projetos estão no ANEXO C.

Tabela 17 – Dado para dimensionamento de esforços.

Madeira Utilizada	Função	Comp. (m)	Momento Max. para uma peça	Cortante Máx. para uma peça	Diâmetro Equivalente (cm)	Diâmetro Comercial (cm)	Verificação
<i>E. dunni</i>	Rodeio	9,00	1,90	0,00	7,5 x 15	7,5 x 15	ok
	Transversinas	6,70	1,57	6,07	15,00	15	ok
	Longarinas	9,00	127,33	55,93	47,00	50 a 55	ok
<i>E. dunni</i>	Rodeio	8,00	1,90	0,00	7,5 x 15	7,5 x 15	ok
	Transversinas	6,70	1,57	6,07	15,00	15	ok
	Longarinas	8,00	106,03	53,20	44,00	50 a 55	ok
<i>E. dunni</i>	Rodeio	7,00	1,90	0,00	7,5 x 15	7,5 x 15	ok
	Transversinas	6,70	1,57	6,07	15,000	15	ok
	Longarinas	7,00	86,00	50,20	41	50 a 55	ok
<i>E. dunni</i>	Rodeio	6,00	1,90	0,00	7,5 x 15	7,5 x 15	ok
	Transversinas	6,70	1,57	6,07	15,00	15	ok
	Longarinas	6,00	67,20	46,87	38	40 a 45	ok
<i>E. dunni</i>	Rodeio	5,00	1,90	0,00	7,5 x 15	7,5 x 15	ok
	Transversinas	6,70	1,57	6,07	15,00	15	ok
	Longarinas	5,00	49,70	42,90	34	40 a 45	ok

Fonte – Os Autores (2013).

5. CONCLUSÃO

Do ponto de vista econômico e social, é de suma importância ao desenvolvimento dos municípios que as estradas assegurem a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, o escoamento da produção e o livre deslocamento das populações do meio rural. Entretanto, ao longo dos anos, incorretos processos de construção e manutenção foram empregados nestas vias, principalmente pela carência de informações técnicas por parte da administração pública.

A maioria das pontes de madeira no Brasil não são projetadas e construídas por técnicos e construtores especializados em madeira. Isto resulta em estruturas caras, inseguras e de baixa durabilidade. O estado atual de degradação destas pontes reflete um quadro negativo do uso da madeira como material estrutural.

Constata-se assim, a urgente necessidade de implantar nas estradas municipais e estaduais os avanços tecnológicos atuais para a construção e recuperação das pontes de madeira.

O objetivo do presente estudo foi apresentar um modelo estrutural de pontes em madeira roliça que atendesse as necessidades da Região Sudoeste do Paraná, levando em conta as dimensões do maquinário agrícola, que muitas vezes faz com que cada produtor rural construa sua própria ponte empiricamente, e a carga dos caminhões que atualmente circulam nas estradas vicinais, os quais não estavam presentes quando as normas de dimensionamento foram elaboradas, fazendo com que as pontes fiquem desgastadas e tenham durabilidade inferior à necessária.

Os cálculos para dimensionamento das pontes apresentadas com solução foram fundamentadas nas normas técnicas da ABNT.

O resultado principal esperado com este trabalho é uma contribuição tecnológica para o projeto e a construção de pontes de madeira na região sudoeste do Paraná.

O resultado final esperado corresponde à apresentação de projetos de pontes de madeira para pequenos e médios vãos, com sistemas construtivos simples, baixo custo, segurança adequada e durabilidade amplamente satisfatória. Sua relevância se impõe no atendimento da necessidade nacional de pontes em estradas, interligando milhares de microrregiões brasileiras.

Por fim, este trabalho não se encerra por si mesmo, deixando espaços para novos estudos com modelos estruturais adequados, e materiais diferentes para a construção das pontes, visando sempre o melhor custo benefício para a sociedade.

6. REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A. C. P. B. **Utilização de Madeira de Eucalyptus em Estruturas de Pontes**. 2002.108 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ABRAF, **Manual de Reflorestamento**, Brasília, 2006.
- ABRAF, **Anuário Estatístico**, Brasília, 20012.
- ALVES, N. P. **Análise de pontes de madeira protendidas transversalmente formadas por vigas-T**. São Carlos. 110p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2002.
- ALVIM, R. C., ALMEIDA, P. A. (2003). Estudo paramétrico da rigidez efetiva dos pisos mistos de madeira-concreto. In Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, V, 2003, São Paulo, p.15.
- ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâmina e manufatura de painéis compensados**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.
- APPEL, J.S.L.; TERESCOVA, V.; RODRIGUES, V. C. B.; VARGAS, V. M. F. **Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA**, Revista Brasileira de Toxicologia. 2006.
- ARNOLD, R. J.; JOHNSON, I. G.; OWEN, J. V. **Genetic variation in growth, stem straightness and wood properties in *Eucalyptus dunnii* trials in Northern New South Wales**. Forest Genetics, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2004
- ASSIS, T. F. Aspectos do melhoramento de Eucalyptus para a obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1999 Viçosa.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120/1980. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, ABNT. 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123/1988. **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, ABNT. 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6231/1980. **Postes de Madeira – Resistência à flexão**. Rio de Janeiro, ABNT. 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6232/1973. **Postes de Madeira – Penetração e Retenção de Preservativo**. Rio de Janeiro, ABNT. 1973.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188/1982. **Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre**. Rio de Janeiro, ABNT. 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/1997. **Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro, ABNT. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681/2003. **Ações e segurança nas estruturas – procedimento.** Rio de Janeiro, ABNT. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118/2003. **Projeto de estruturas - Procedimento.** Rio de Janeiro, ABNT. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122/1996. **Projeto e execução de fundações .** Rio de Janeiro, ABNT. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8456/1984. **Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica.** Rio de Janeiro, ABNT. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452/1986. **Vistoria de pontes e viadutos de concreto.** Rio de Janeiro, ABNT. 1986.

AWPA (American Wood - Preservers Association). FloridaCenter for Solid & Hazardous Waste Management. 1996. Disponível em: <http://www.awpa.com/>. Acesso em 14 de dezembro de 2013.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: novos materiais de construção.** 5. ed. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BENCHIMOL, I.S. (1996). **Técnicas de desdobro e produtividade da floresta amazônica em madeira serrada .** Piracicaba. 107p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo.

BILLINGTON, David P. **The Art of Structural Desing: A Swiss Legacy.** EUA New Haven Editors, USA, 2003.

BORSATTI, Douglas Sponchiado. **Subsídios para o diagnóstico das patologias de pontes de madeira do município de Ampére – PR.** 2013. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

CALIL JUNIOR, C.; GÓES, J. L. N. **Programa emergencial das pontes de madeira para o Estado de São Paulo** (2004). <Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2002\(01\)%2004.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2002(01)%2004.pdf)>. Acesso em: Acesso em: fev. 2013.

CALIL, J. C.; BRITO D.L. **Manual de projetos e construção de estrutura com peças roliças de madeira de reflorestamento.** São Carlos: EESC/USP, 2010.

CALIL JUNIOR, C. *et al.* **Manual de projeto e construção de pontes de madeira.** São Carlos: Suprema, 2006.

CALIL JÚNIOR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. Utilização da madeira em construções rurais. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, p. 71-77, 1997.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri: Manole, 2003.

CALIL, C. Jr. (2007). **Madeira Rolixa Tratada em Sistemas Construtivos**. Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira, Departamento Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP

CÁNOVAS FERNÁNDEZ, M. Patologia e terapia do concreto armado. São Paulo: Pini, 1988.

CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J.; MORAIS, H.; LEAL, A. C. **Geada: técnicas para proteção dos cafezais**. Londrina: IAPAR, 2000. 35 p. (IAPAR. Circular, 112)

CARVALHO, A. O.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; CARMO, M. G. F. **Resistência de espécies, progênies e procedências de Eucalyptus à ferrugem, causada por Pucciniapsidii Winter**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 33, n.2, p. 139-147, 1998.

CARVALHO, J. R. P. de ; QUEIROZ, E. de. **Uso da cokrigagem colocada na determinação da distribuição espacial de precipitação**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 4 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado técnico, 21)

COBRIRE. **Eucalipto autoclavado: madeira de reflorestamento com 15 anos de garantia**. Disponível em: <http://www.cobrire.com.br/eucalipto-tratado-em-autoclave-autoclavado.htm>. Acesso em: fev. 2013.

DEL QUIQUI, E. M.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU, J. Y. **Eucalyptus para o Noroeste do Estado do Paraná**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT; Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1986. 89 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 17). Elaborado sob a coordenação de Antonio Aparecido Carpanezi.

FERREIRA, L. M. **Aplicação da teoria da confiabilidade na obtenção delimites para o peso de veículos de carga em pontes de concreto**. 273 p. 2001. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

FONTE, T. F. **Pontes protendidas de eucalipto citriodora**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

FURIATI, M. **Classificação estrutural de peças de madeira. 1981**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

FUSCO, Péricles Brasiliense; CALIL JUNIOR, Carlito; ALMEIDA, Pedro Afonso de Oliveira. **Norma de projeto de estruturas de madeira**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Estruturas. São Paulo, 1996.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. **Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.

HARDIYANTO, E. B. Growth and genetic improvement of Eucalyptus pellitain South Sumatra, Indonesia. In: **Eucalypts in Asia** :proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People s Republic of China, 7-11April 2003. Canberra:ACIAR,2003. p. 82-88. (ACIAR Proceedings, 111)

HELLMEISTER, J. C.**Pontes de Eucaliptus Citriodora.1978.** Tese (livre docência) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 1978.

HIBBELER, R.C “Structural Analysis”, Macmillan Publishing Company, New York, 1985.

HOLZ. A. (1995). Timber Engineering. Step Eurofortech — EU Comett Programme . v. 2.1°ed. Centrum Hout. Netherlands. Roundwood structures, E19.

IPARDES, Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br>> Acesso em 03/12/2013.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. Improved species climatic profiles: a report for the RIRDC/L&W Australia/FWPRDC/MDBC Joint Venture Agroforestry Program. 2002. (RIRDC Publication, n. 02/095). Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/02-095.pdf>>.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ JUNIOR, W.A. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer, 1968. V. 2, 674 p.

LaMEM **Manual de Projeto e Construção de Pontes de Madeira.** USP, 2006.

LEPAGE ES. **Preservativos e sistemas preservativos.** In:Lepage, ES (Coord.) Manual de Preservação deMadeiras. São Paulo: IPT; SICCT. v.1, n.6, p.279-330,1986. Disponível em [http://www.lwr.kth.se/Personal/personer/bhattacharya/prosun/Enrev993\)ABM PB.pdf](http://www.lwr.kth.se/Personal/personer/bhattacharya/prosun/Enrev993)ABM PB.pdf). Acesso em 20 de dezembro de 2013.

LOGSDON, N.B. **Contribuição ao estudo das pontes de Madeira.** São Carlos, 1982. 366p.Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MARCONI, M. de. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado.** São Paulo: Blucher, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e Materiais.** São Paulo: Editora Ibracon, 2008. p. 12-14, 121, 122.

MILANI, Cleovir José. **Subsídios para o diagnóstico das pontes do sistema viário do município de Pato Branco – Paraná.** Fl. 216. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Passo Fundo, 2010.

MOLINA, J.C. **Relatório final da caracterização dos eucaliptos**. Projeto: Centro de Educação Ambiental (CEAM), Votorantin Metalurgia, Unidade Florestal. 2006.

NAZAR, Nilton. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**. Critérios para dimensionamento e escolha do sistema. Editora Pini. São Paulo, 2007.

OKIMOTO, F. S. **Pontes protendidas de madeira**: Parâmetros de projeto. São Carlos. 175p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1997.

OKIMOTO, F. S. **Análise da perda de protensão em pontes protendidas de madeira**. São Carlos. 197p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.

OKIMOTO, F. S.; CALIL JR., C. **Pontes protendidas de madeira**. São Carlos:–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002,p. 25-48.(Cadernos de Engenharia de Estruturas n. 18)

PARANÁ. IAPAR. **Médias históricas em estações do IAPAR** . Disponível em: <<http://www.iapar.br/>>. Acesso em: maio. 2013.

PARTEL. PRISCILA, M.P. (1999). **Sistemas Estruturais e Construtivos Utilizando Madeira Roliça de Reflorestamento**. São Carlos. 180 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

PAIVA, M.V.V. **Tabuleiro de madeira formado por duas camadas de peças ortogonais entre si e 45° com as bordas**. São Carlos, 1995. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PFEIL, W.; PFEIL M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

PFEIL, W. **Pontes: Curso básico: projeto, construção e manutenção**. Rio de Janeiro: Campus, 1983.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira**: dimensionamento segundo as normas brasileiras NB 11e os modernos critérios das normas alemãs e americanas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

PORTAL DO REFLORESTAMENTO. **Eucalipto tratado**: maior durabilidade e economia. Disponível em: <http://www.portaldoreflorestamento.com.br/eucalipto-tratado-maior-durabilidade-e-economia.html>. Acesso em fev. 2013.

RITTER, M. A. **Timber bridges**. Madison, Forest Products Laboratory — Forest Service, 1992.

SESC PR, Disponível em <<http://www2.sescpr.com.br/inventario/regioes.php?cod=7>> Acesso em 03/12/2013.

SGAI, R. D., **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras.** Campinas 2000.

STEINMAN, D. B., Watson, S. R. **.Bridges and Their Builders.** G. P. Putnam's Sons, New York. 1953

SZÜCS, Carlos Alberto. Madeira Laminada-Colada: **Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado.** Florianópolis: UFSC Departamento de Engenharia Civil, 1992. 13p.

WREGGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C.A.; BERTONHA, A.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T.; FERREIRA, R. C.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, S. L. **Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná.** Revista Brasileira de Agrometeorologia , Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 143-150,2004.

ANEXO A – Entrevista em Loja de Máquinas Agrícolas

Entrevista realizada na loja de maquinários agrícolas em Pato Branco – Paraná na data de 04 de outubro de 2013 com a finalidade de saber o maquinário mais comercializado na região sudoeste.

Segundo Silvano, vendedor:

As pontes da região não são adequadas para colheitadeiras, as quais possuem em torno de 6,1 m entre eixo externo da roda, sendo adequadas apenas para tratores que possuem em torno de 4 a 5 metros. Por este motivo, 90% das vendas realizadas são de maquinários com menor eixo, pois, assim como as pontes, as rodovias da região também não comportam o seu tamanho. Portanto, as dimensões das estradas vicinais e pontes influenciam diretamente no tipo de maquinário comprado pelos agricultores.

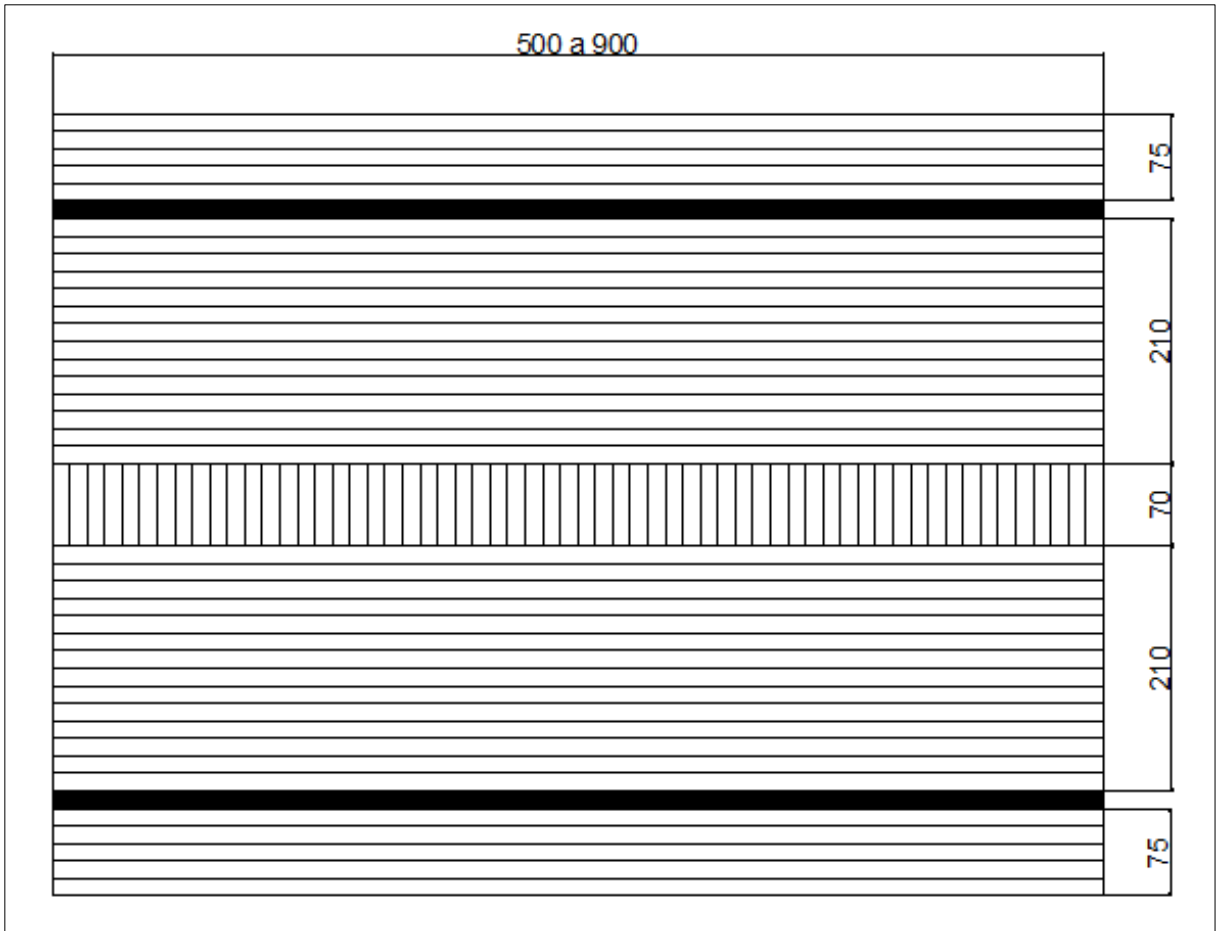
As vendas ocorrem de maneira sazonal, onde há períodos de 4 meses sem vendas significativas e épocas onde há venda de 15 a 20 máquinas por mês. Acredita-se que são vendidas em torno de 60 máquinas por ano.

Para o dimensionamento das pontes, considera-se relevante a distância entre eixo do maquinário, que em alguns casos apresenta até 6 pneus no mesmo eixo (não utilizado na região devido ao relevo). O comprimento da ceifa não é importante já que a mesma é deslocada em uma pequena carreta no sentido longitudinal.

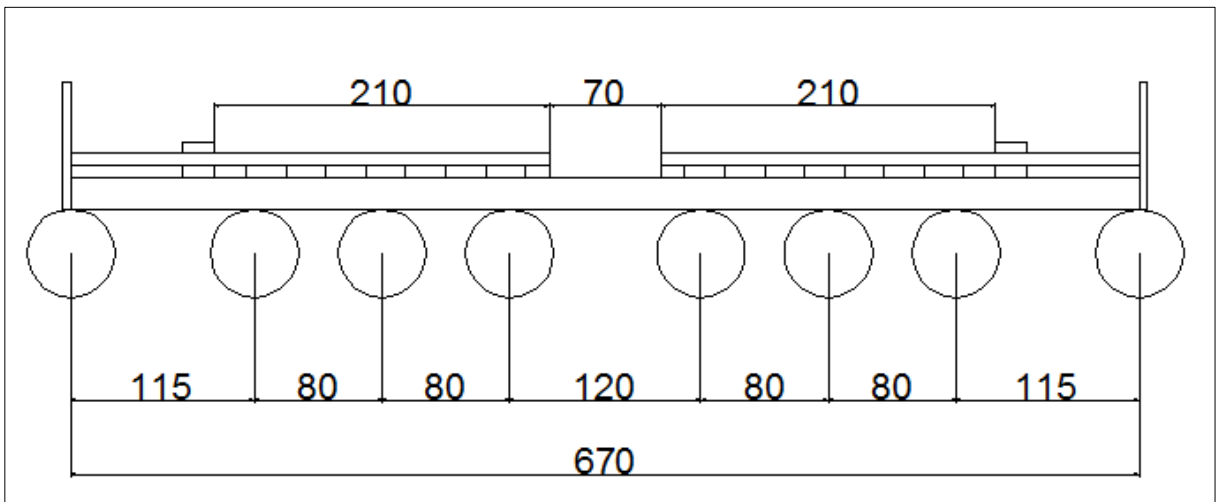
ANEXO B – Tabela de Verificações

Dimensões da peça		ÁREA		0,0169
Comprimento (m)	6,7	INÉRCIA DA PEÇA		2,38008E-05
Seção (m) Quadrada equivalente (bxh)	0,13	0,13	MS	0,000274625
Diâmetro da Tora	0,15			
Cargas Atuantes (KN)				
Momento Máx (KN.m)	3,83	Momento Majorado	5,362	
Cortante Mâx. (KN)	18,2	Cortante Majorada	25,48	
Kmods				
Classe de Carregamento de Longa Duração				
Kmods1	0,7			
Classe de Umidade		Kmod 1,2,3	0,448	
Kmod 2	0,8			
Categoria da Madeira				
Kmod 3	0,8			
Característica da Madeira				
Espécie	<i>Eucalypto dunnii</i>		Valores para cálculo	
fc0,k	48,9	fc0d (KN/m ²)	15648	
ft0,k	139,2	ft0d (KN/m ²)	34645,33333	
fv,k	9,8	fv,d (KN/m ²)	2439,111111	
Verificação (cortante)				
Tensão de calculo	2261,538462			
Verificação	ok			
Verificação (Momento)				
Tensão de Calculo	14643,60492			
Verificação (ft0)	ok			
Verificação (fc0)	ok			

ANEXO C – Projetos e Especificações



Vista Superior da Ponte



Vista Frontal da Ponte

ESPECIFICAÇÕES

- a) É vedada a utilização de madeira verde. A madeira deverá ser seca em estufa ou ao ar;
- b) A estocagem de madeira deverá ser feita com uma altura mínima de 30 cm, do solo;
- c) O transporte deverá ser efetuado cuidadosamente, evitando choques que venham prejudicar a integridade das fibras da madeira;
- d) As peças que tiverem sofrido danos não deverão ser utilizadas;
- e) Todas as peças de madeira da infra e meso-estrutura deverão ser tratadas com óleo de creosoto aquecido, e aquelas da infra-estrutura receberão uma pintura de piche, a quente;
- f) Todas as peças metálicas deverão ser executadas em aço com baixo teor de carbono, galvanizadas;
- g) Quando a frenagem das porcas for feita por meio de arame de freio de latão, os correspondentes furos das porcas e do corpo dos parafusos deverão ser feitos antes da galvanização;
- h) Sempre que for feito um orifício nas peças de madeira da infra e da meso estrutura, após o tratamento com óleo de creosoto, a superfície interna do orifício deverá ter o mesmo tratamento.

Quantitativo para diferentes vãos

Vão	Local	Descrição	Quantidade
5,00	Longarina	Toras de Eucalipto 5 metros (50 cm de diâmetro)	8
	Transversina	Toras de Eucalipto 6,7 metros (15 cm de diâmetro)	34
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 2 metros (15x7,5 cm)	82
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 3 metros (15x7,5 cm)	82
6,00	Longarina	Toras de Eucalipto 5 metros (50 cm de diâmetro)	8
	Transversina	Toras de Eucalipto 6,7 metros (15 cm de diâmetro)	41
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 3 metros (15x7,5 cm)	164
7,00	Longarina	Toras de Eucalipto 5 metros (50 cm de diâmetro)	8
	Transversina	Toras de Eucalipto 6,7 metros (15 cm de diâmetro)	47
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 2 metros (15x7,5 cm)	164
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 3 metros (15x7,5 cm)	82
8,00	Longarina	Toras de Eucalipto 5 metros (50 cm de diâmetro)	8
	Transversina	Toras de Eucalipto 6,7 metros (15 cm de diâmetro)	54
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 2 metros (15x7,5 cm)	82
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 3 metros (15x7,5 cm)	164
9,00	Longarina	Toras de Eucalipto 5 metros (50 cm de diâmetro)	8
	Transversina	Toras de Eucalipto 6,7 metros (15 cm de diâmetro)	61
	Rodeio	Tábuas de Eucalipto 3 metros (15x7,5 cm)	252