



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

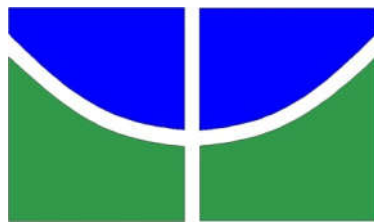
**INSPEÇÃO VISUAL E DIAGNÓSTICO DE PONTES EM ESTRUTURA
DE MADEIRA LOCALIZADAS EM RODOVIAS RURAIS
ADMINISTRADAS PELO DER/DF**

Ronald Paiva Lima

Brasília, 24 de novembro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**INSPEÇÃO VISUAL E DIAGNÓSTICO DE PONTES EM ESTRUTURA
DE MADEIRA LOCALIZADAS EM RODOVIAS RURAIS
ADMINISTRADAS PELO DER/DF**

Ronald Paiva Lima

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília como parte
das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.
Orientador: Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares
Del Menezzi

Brasília-DF, 24 de novembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

PL732i Paiva Lima, Ronald
INSPEÇÃO VISUAL E DIAGNÓSTICO DE PONTES EM ESTRUTURA DE
MADEIRA LOCALIZADAS EM RODOVIAS RURAIS ADMINISTRADAS PELO
DER/DF / Ronald Paiva Lima; orientador Cláudio Henrique
Soares Del Menezzi. -- Brasília, 2023.
30 p.

Monografia (Graduação - ENGENHARIA FLORESTAL) --
Universidade de Brasília, 2023.

1. Diagnóstico de Estruturas. 2. Inspeção Visual. 3.
Pontes de Madeira. I. Henrique Soares Del Menezzi, Cláudio ,
orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, R. P. (2023). **INSPEÇÃO VISUAL E DIAGNÓSTICO DE PONTES EM ESTRUTURA DE MADEIRA LOCALIZADAS EM RODOVIAS RURAIS ADMINISTRADAS PELO DER/DF**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 30p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ronald Paiva Lima

TÍTULO: *Inspeção visual e diagnóstico de pontes em estrutura de madeira localizadas em rodovias rurais administradas pelo DER/DF.*

GRAU: Engenheiro Florestal

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Ronald Paiva Lima
ronaldpaivalima@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Ao listar e especificar os agradecimentos há o risco de esquecer-se de pessoas que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional, ainda assim, seguem meus agradecimentos:

À minha mãe Maria (*In Memoriam*) e ao meu pai Isaías que me conceberam.

Às minhas irmãs Sol, Luci, Nice, Tekinha e Aninha e ao meu irmão Regi, que cuidaram de mim com um carinho que hoje reconheço e agradeço profundamente.

À minha esposa Tânia pela companhia diária, pelo incentivo constante e por suportar as dificuldades de cada semestre.

À minha filha Liz, cujas palavras me fogem para expressar tudo o que sinto.

Aos meus professores e mestres que tive em todas as etapas desde os primeiros passos até chegar aqui.

Ao meu orientador Professor Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi por ter conduzido o desenvolvimento do trabalho com paciência e assertividade.

Aos examinadores da Banca de Avaliação, o Professor Dr. Ailton Teixeira do Vale e o Professor Dr. Alexandre Florian da Costa por aceitarem avaliar e discutir o tema proposto.

À Universidade de Brasília pela excelência de ensino.

Aos colegas de graduação pelo convívio durante as aulas, dos quais tenho boas lembranças, sem desmerecer os demais, faço menção ao Welliton da Conceição e à Mylene Mariano.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal que me proporcionou crescimento profissional e ao mesmo tempo me deu oportunidade para desenvolver as atividades acadêmicas.

Aos colegas de trabalho, dos quais gostaria de destacar o Janderlan.

Ao Laboratório de Produtos Florestais pelo apoio concedido durante a graduação, com recordações do Seu João (*In Memoriam*).

RESUMO

(LIMA, R. P.) **INSPEÇÃO VISUAL E DIAGNÓSTICO DE PONTES EM ESTRUTURA DE MADEIRA LOCALIZADAS EM RODOVIAS RURAIS ADMINISTRADAS PELO DER/DF.**

Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

As pontes são elementos essenciais em rodovias para encurtar distâncias em locais onde há cursos d'água, sejam eles perenes ou temporários. Em rodovias rurais não pavimentadas é comum o emprego da madeira para construção de pontes. Como todos os materiais a madeira está sujeita a deteriorações, como o ataque de fungos e insetos, e isto compromete suas propriedades de resistência mecânica. Tendo em vista a necessidade de inspeções periódicas em pontes, o objetivo deste trabalho foi apresentar um diagnóstico das estruturas de pontes de madeira localizadas em rodovias rurais administradas pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER/DF). Com a substituição do tabuleiro de madeira por uma estrutura metálica em uma ponte, foram coletadas algumas peças de madeira com a finalidade de identificar as espécies empregadas na construção e em seguida foi realizado o teste de compressão paralela às fibras, a determinação do teor de umidade e a análise densitométrica. As espécies identificadas foram *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho), *Hymenolobium sp.* (Angelim pedra) e *Eucalyptus sp.* (Eucalipto). As densidades aparentes médias encontradas foram de 1.047,29 e 968,94 kg/m³ (*D. excelsa*), 975,30 kg/m³ (*Eucalyptus sp.*) e 604,98 kg/m³ (*Hymenolobium sp.*). Os valores para os testes de resistência (f_{c0}) foram em média 72,44 e 60,22 N/mm² (*D. excelsa*), 70,92 N/mm² (*Eucalyptus sp.*) e 44,13 N/mm² (*Hymenolobium sp.*). Tanto a densidade aparente quanto a f_{c0} atingiram valores próximos dos valores tabelados. Ao final do trabalho, as inspeções indicaram que as estruturas encontravam-se em condições de permanecerem em serviço desde que fossem feitas manutenções reparadoras e periódicas e inspeções visuais, a fim de garantir a segurança viária e permitir as interligações entre as regiões rurais nas rodovias onde as pontes estão instaladas. E como se trata de uma construção permanente, as rotinas de inspeção e reparos devem ser constantes e com um programa bem estabelecido. São necessárias ações governamentais que fomentem a indústria e a pesquisa em estruturas de madeira para uma adaptação à agenda ambiental.

Palavras-chave: Diagnóstico de Estruturas, Inspeção Visual, Pontes de Madeira.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dimensões das amostras retiradas de madeiras armazenadas no pátio do 2º DR. ...	15
Figura 2. Seções extraídas de madeiras da ponte do Córrego do Ouro.	15
Figura 3. Dimensões consideradas para o teste de densitometria.....	17
Figura 4. Ponte sobre o Córrego Mentira.	18
Figura 5. Ponte sobre o Córrego do Ouro.....	19
Figura 6. Ponte sobre o Córrego Pedreiras.	20
Figura 7. Ponte sobre o Ribeirão Água Doce.....	21
Figura 8. Ponte sobre o Córrego Vereda Grande.....	22
Figura 9. Ponte sobre o Córrego Quinze.	23
Figura 10. Substituição do tabuleiro de madeira da ponte do Córrego do Ouro.....	24
Figura 11. Substituição da estrutura de madeira da ponte do Córrego Pedreiras.	24
Figura 12. Obras de construção de galeria de drenagem do Córrego Quinze.	24
Figura 13. Tensão máxima e densidade.	26
Figura 14. Perfis densitométricos de madeira sólida.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das pontes de estrutura de madeira - Sistema de OAEs - DER/DF.....	15
Tabela 2. Classificação dos corpos de prova antes da identificação das espécies.	16
Tabela 3. Identificação das espécies arbóreas das madeiras.....	16
Tabela 4. Situação das pontes durante a visita para inspeção.....	17
Tabela 5. Densidade aparente média calculada e valores tabelados.	25
Tabela 6. Determinação da tensão máxima.	25
Tabela 7. Determinação do teor de umidade.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP	- Corpo de Prova
CREA	- Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DER/DF	- Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal
DF	- Distrito Federal
f_{c0}	- Compressão Paralela às Fibras
kg/m^3	- Quilograma por Metro Cúbico
N	- Newton
N/mm^2	- Newton por Milímetro Quadrado
kN	- Kilonewton
LPF	- Laboratório de Produtos Florestais
NBR	- Normas Brasileiras
OAEs	- Obras de Artes Especiais
SRDF	- Sistema Rodoviário do Distrito Federal
tf	- Tonelada Força
TU	- Teor de Umidade
VC	- Vicinal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1. Inspeção.....	11
3.2. Densitometria Pelo Método de Raios-X.....	12
3.3. Pontes.....	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
6. CONCLUSÕES.....	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária do Distrito Federal (DF) administrada pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER/DF) é composta por todas as rodovias do Sistema Rodoviário do Distrito Federal (SRDF). Neste contexto, nas rodovias localizadas em zonas rurais e que ainda não receberam pavimentação asfáltica, há pontes construídas utilizando a madeira como matéria prima.

Essas obras são muito importantes, pois a construção de pontes tem o papel de promover a economia de uma região e também proporcionam maior facilidade de acesso a mercadorias, educação, cultura e interação entre os seus habitantes. Diante desse cenário, vale lembrar que as pontes de madeira têm baixo custo e fácil construção, e ainda com o adequado tratamento preservativo, é possível obter a garantia de durabilidade (Manera, 2011).

Como a madeira é um material empregado na engenharia construtiva de pontes, e por ser um material orgânico, está sujeita à deterioração provocada por fungos, insetos e danos mecânicos (Advanced Timber Bridge Inspection, 2014), desta forma as inspeções são indispensáveis, pois elas são boas oportunidades de identificar os processos de deterioração, bem como realizar os reparos e manutenções de forma antecipada ao desgaste do material por completo (Brashaw, 2014).

Esse desgaste deve ser atentamente verificado para diminuir o risco de acidentes provocados pela ruptura de algum dos elementos constituintes das pontes de madeira, apesar do baixo fluxo de veículos automotores em rodovias rurais. Mesmo assim, não se pode desprezar o risco de ocorrência de acidentes nessas rodovias.

Portanto, os acidentes provocados pela deterioração das peças estruturais em pontes de madeira podem ser evitados a partir de um diagnóstico das estruturas, que pode ser iniciado por uma ação considerada simples, a inspeção visual.

Contudo, apesar da dualidade entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, em um momento de intensas discussões sobre as questões ambientais, a utilização da madeira como matéria prima em construção de pontes não é unanimidade, pois o Projeto de Lei nº 3.981 de 2019 indica que não seja utilizada a madeira com esta finalidade, salvo construções provisórias ou preservação pelo valor histórico.

2. OBJETIVO

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar um diagnóstico das estruturas de pontes de madeira localizadas em rodovias rurais administradas pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER/DF).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Inspeção

A avaliação de pontes depende da inspeção que é feita sobre seus elementos estruturais. Sobre este tema o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) aponta que as inspeções são divididas em cadastral, rotineira, especial, extraordinária e intermediária. Os profissionais envolvidos nas inspeções devem ser engenheiros e técnicos habilitados com os graus mínimos exigidos, e no caso do profissional de engenharia, este deve ter registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) (Brasil, 2004).

Assim, como todos os materiais estão submetidos a alguma forma de degradação, e a madeira também segue esta premissa básica, as estruturas de madeira em projetos de pontes necessitam de inspeções periódicas para o levantamento das condições de uso dos materiais empregados em sua construção.

Atendidos os requisitos profissionais, uma boa inspeção também deve ter uma metodologia clara com procedimentos adequados e também contar com equipamentos próprios para aferição da qualidade das estruturas de madeira. Os equipamentos se classificam em comuns e especiais (Brasil, 2004).

Destaca-se ainda que inspeções específicas em estruturas de madeira são bem exploradas nos EUA e no Canadá, tanto que há vários manuais com esta finalidade, entre os quais podem ser citados o Wood and Timber Condition Assessment Manual (2004), o Advanced Timber Bridge Inspection Field Manual for Inspection of Minnesota Timber Bridges (2014) e o Wood and Timber Condition Assessment Manual (2004).

Entre as técnicas de inspeção, a visual é a mais simples para indicar a deterioração da madeira, outras técnicas como sondagem, teor de umidade, tempo de onda de estresse e perfuração de resistência também são empregadas (Brashaw, 2014). Apesar da simplicidade, a

inspeção visual deve ser executada de forma adequada, onde o principal produto gerado é um relatório fotográfico. Este documento deve ser composto de seis fotos no mínimo e registrar vista superior, vista inferior, vistas laterais, detalhes de apoios, articulações e juntas, conforme aponta o Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias (Brasil, 2004).

3.2. Densitometria Pelo Método de Raios-X

Os estudos com utilização de densitometria através de raios-x têm registros na literatura nas décadas de 1960 e 1970 na França e no Canadá. Desta forma, Polge avaliou o lenho de árvores quantitativamente, e Parker avaliou a correlação climática com a densidade dos anéis de crescimento, outras pesquisas também foram desenvolvidas na Suíça e no Brasil (Tomazello *et al.*, 2008).

A densitometria por raios-x é mais um método para a determinação da densidade da madeira, o qual vem ganhando espaço (Arantes *et al.*, 2016). A técnica consiste na obtenção de radiografias de uma fina secção transversal de madeira sobre um filme radiográfico, a radiação que passa pela amostra de madeira forma uma imagem da estrutura transversal quando o filme radiográfico é exposto à fonte de raio (Amaral, 1994).

Dentre as vantagens da determinação da densidade através da densitometria de raios-x, estão a sensibilidade do microdensímetro, a resolução que varia entre 10 e 20 leituras/mm em trabalhos normais, a velocidade de processamento de 3 cm/min., a compatibilidade com provetes de 2 mm de espessura, e também o fato das lâminas das amostras de madeira serem permanentes, podendo a leitura ser realizada diversas vezes (Silva *et al.*, 2001). Ainda segundo os autores, os processos tradicionais são morosos e podem apresentar erros na determinação volumétrica de amostras muito pequenas.

3.3. Pontes

Ao vincular pessoas e povos, as pontes são muito importantes no desenvolvimento de diversas funções sociais, (Milani, 2012). Ainda segundo o autor, conexões econômicas e culturais são possibilitadas com a utilização de pontes. Em se tratando de comunidades de áreas rurais, essas estruturas são importantes para o desenvolvimento econômico e social, onde as estradas desempenham o papel de entrada de insumos agrícolas e escoamento da produção, bem como, garante a livre circulação das populações que neste meio residem (Calil Junior *et al.*, 2006). Por fim, as pontes são soluções estruturais para transposição de obstáculos nas vias de transporte (Prata, 1995).

Duas divisões básicas são muito importantes para uma boa compreensão sobre o funcionamento de pontes em madeira, que são o sistema estrutural e o tabuleiro, onde o primeiro é o suporte do segundo que recebe as cargas externas principalmente dos veículos. Em se tratando de cargas, as pontes são divididas em três classes, C12, C30 e C45, que estão aptas a suportar carregamentos de 120, 300 e 450 kN respectivamente (Calil Junior *et al.*, 2006).

O sistema estrutural conhecido como Ponte em Viga é comumente aplicado na construção de pontes de madeira, geralmente de vão único, sendo considerada a forma mais prática, podendo ser ainda subdivididos em vigas de peças roliças simples e compostas, vigas de peças serradas simples e compostas, vigas laminadas coladas, vigas compostas por peças serradas e compensados, bem como as vigas treliçadas (Calil Junior *et al.*, 2006).

Por outro lado, o sistema estrutural identificado como Ponte em Arco é a técnica de arquear a madeira que seria empregada como viga e assim, utilizar as tensões de compressão em substituição das solicitações de flexão. A construção através de treliçamento ou de peças laminadas coladas possibilitam o aumento do vão a ser vencido (Calil Junior *et al.*, 2006).

Em outro sistema estrutural, o Pórtico, as estruturas transmitem cargas dos apoios intermediários para as extremidades, permitindo que as solicitações sejam distribuídas de forma mais homogênea. Assim, trabalham em condições de baixas resistência e rigidez do material e das ligações, tendo altas solicitações de cargas. Portanto, as emendas merecem atenção especial de acordo com a ação para qual a ponte deve ser projetada (Calil Junior *et al.*, 2006).

Há ainda o sistema estrutural do tipo Placa, onde a superestrutura da ponte é um conjunto de peças que formam uma placa sem haver outros elementos que contribuam na distribuição de cargas como vigas longarinas e transversinas. As placas podem ser laminadas: colada, pregada, parafusada e protendida; ou ainda compostas de concreto e madeira roliça/serrada. Às vezes este sistema é definido simplesmente como tabuleiro. (Calil Junior *et al.*, 2006).

Os tabuleiros de Pranchas de Madeira Serrada são os mais simples e mais antigos, geralmente são pranchas dispostas na direção transversal fixadas nas vigas longitudinais, podendo ser também peças posicionadas longitudinalmente fixadas nas vigas transversinas (Calil Junior *et al.*, 2006).

Outro tipo são os tabuleiros de Madeira Laminada Pregada, onde as peças serradas são colocadas com a maior dimensão na direção vertical e pregadas justapostas formando uma superfície contínua. Podem ser orientados na direção transversal das vigas longitudinais ou na direção longitudinal das vigas transversinas. (Calil Junior *et al.*, 2006).

Em continuidade, nos tabuleiros de Madeira Laminada Colada, os painéis são usados nas direções transversais e longitudinais, onde as duas configurações básicas são não conectadas e conectadas. (Calil Junior *et al.*, 2006).

Por último, apresentam-se tabuleiros por Composição de Concreto e Madeira, em que o sistema é formado por uma laje de concreto que apresenta rigidez por estar conectada à estrutura de madeira. Nas composições de concreto e madeira serrada os dois tipos básicos são os tabuleiros em viga T e os tabuleiros em laje. O sistema de concreto e madeira roliça apresenta um tipo básico construtivo onde a madeira é utilizada sem receber qualquer alteração em serrarias, o que é uma vantagem em relação ao custo. As vigas de madeira serrada ou de madeira roliça são dispostas longitudinalmente, no sentido do fluxo do tráfego da ponte (Calil Junior *et al.*, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa consistiu em identificar as pontes de madeira no Distrito Federal sob responsabilidade do DER/DF para posterior avaliação visual das peças estruturais. Como algumas pontes receberam peças metálicas no lugar das peças de madeira, então, foram recolhidas algumas amostras e delas foram confeccionados corpos de prova. Desta forma foram realizados a densitometria e o teste de compressão paralela às fibras dessas madeiras, o que complementou o estudo.

Inicialmente, foi realizada uma consulta ao Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (OAEs) do DER/DF, onde foram encontradas 10 pontes em estrutura de madeira que estão listadas na Tabela 1. Em seguida, ocorreram as inspeções visuais onde foram observadas as macroestruturas das pontes, com a elaboração de relatório fotográfico para cada uma delas.

Tabela 1. Relação das pontes de estrutura de madeira - Sistema de OAEs - DER/DF.

Sequência	Nome da Ponte	Rodovia	Comprimento (m)
1	Córrego Mentira	VC-201	25,00
2	Córrego do Ouro	VC-201	15,00
3	Córrego Pedreiras	VC-201	10,00
4	Córrego Capão Grande	VC-249	11,60
5	Ribeirão Água Doce	DF-205	20,00
6	Ribeirão das Salinas	DF-201	15,00
7	Córrego Vereda Grande	DF-205	15,30
8	Afluente Rio Ponte Alta	VC-383	9,00
9	Córrego Juliano	VC-511	8,05
10	Córrego Quinze	DF-353	6,00

Em continuidade, do material retirado de uma ponte foram seccionadas peças com a dimensão de 30 cm x 20 cm x 6 cm aproximadamente, sendo comprimento, largura e espessura respectivamente, conforme a Figura 1.

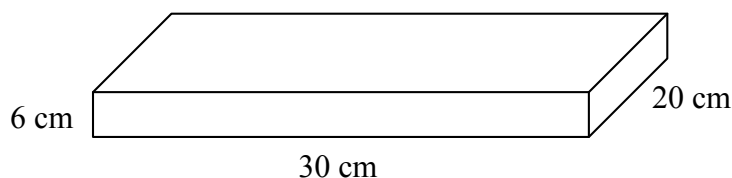


Figura 1. Dimensões das amostras retiradas de madeiras armazenadas no pátio do 2º DR.

As seções de madeira (Figura 2) foram classificadas em A, B, C e D a partir de uma análise visual, considerados os desgastes mecânicos, os defeitos superficiais, a preservação interna da seção e as dimensões mínimas de aproveitamento. Em seguida foram levadas para a serraria do DER/DF para confecção dos corpos de prova.



Figura 2. Seções extraídas de madeiras da ponte do Córrego do Ouro.

Os corpos de prova foram classificados de acordo com suas dimensões e o aspecto visual da seção transversal, em seguida receberam uma marcação com uma letra (A, B, C e D), conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos corpos de prova antes da identificação das espécies.

CP	Dimensão (cm)	Quantidade (un.)
A	5 x 5 x 20	04
B	4 x 4 x 16	32
C	4 x 4 x 16	09
D	3 x 3 x 12	12
Total	-	57

Quatro corpos de prova foram entregues à equipe de anatomia da madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), que identificou as espécies de madeira de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Identificação das espécies arbóreas das madeiras.

Amostra	Nome Científico*	Nome Comum	Família	Flora
A	<i>Dinizia excelsa</i>	A. Vermelho	Mimosaceae	Nativa
B	<i>Dinizia excelsa</i>	A. Vermelho	Mimosaceae	Nativa
C	<i>Hymenolobium sp.</i>	Angelim	Fabaceae	Nativa
D	<i>Eucalyptus sp.</i>	Eucalipto	Myrtacea	Exótica

* Informação obtida da pesquisa da equipe do LPF, os demais dados foram acrescidos pelo autor.

Com os corpos de prova classificados por espécie e dimensões, a obtenção das medidas de base, altura e massa foram realizadas com a utilização de instrumentos específicos como paquímetro e balança digitais, ambos com precisão de duas casas decimais, sendo as cargas mínima e máxima de 0,5 g e 6.200 g respectivamente, com erro de 0,1 g.

De posse dos dados, foram realizadas a determinação do teor de umidade (TU), a densitometria e o teste de compressão paralela às fibras (f_{c0}).

Primeiro os corpos de prova foram submetidos a um processo de secagem em estufa à temperatura máxima de 103 +/- 2 °C (Melo, 2002), para a determinação do TU, que teve duração de quatro dias, até atingir a massa seca, ou seja, a variação percentual menor ou igual a 0,5% entre duas medidas consecutivas, conforme indicado na norma de Projeto de estruturas de madeira (NBR 7190, 1997).

Como um parâmetro necessário para o teste de densitometria, o teor de umidade foi cadastrado no densitômetro junto com os dados de altura, largura, espessura e massa dos corpos de prova. A Figura 3 apresenta as dimensões que são consideradas pelo densitômetro para realização do ensaio. A varredura do feixe de raios-x foi realizada na face tangencial dos corpos de prova.



Figura 3. Dimensões consideradas para o teste de densitometria.

Para a determinação do perfil densitométrico da madeira, os raios-x são emitidos e uma parte deles é absorvida pela amostra, os raios-x não absorvidos são convertidos em sinais elétricos na câmara de medição de ionização, logo a densidade da amostra é medida através da conversão e da interpretação destes sinais elétricos.

A densidade é um parâmetro importante em relação à resistência das madeiras, porém, os testes de compressão paralela não dependem deste dado para serem executados. Assim, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão paralela às fibras (f_{c0}), onde foi verificada a máxima tensão aplicada sobre suas áreas de seção quadrada. A prensa hidráulica utilizada tem capacidade de 100 tf e foi calibrada com carregamento monotônico crescente, com uma taxa em torno de 10 MPa/min (NBR 7190, 1997).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O diagnóstico sintético das inspeções visuais efetuadas durante a pesquisa está na Tabela 4. Em seguida encontra-se o relatório fotográfico com uma breve descrição da situação geral das pontes, bem como as alterações que foram encontradas em campo.

Tabela 4. Situação das pontes durante a visita para inspeção.

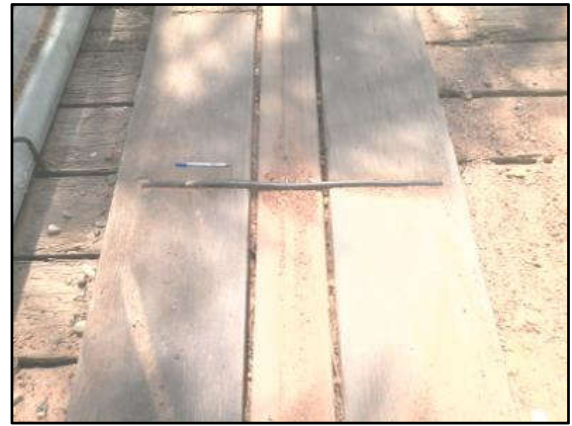
Seq.	Nome	Rodovia	Extensão (m)	Situação
1	Córrego Mentira	VC-201	25,00	Estrutura de Madeira
2	Córrego do Ouro	VC-201	15,00	Estrutura de Madeira (Alterada)
3	Córrego Pedreiras	VC-201	10,00	Estrutura de Madeira (Alterada)
4	Córrego Capão Grande	VC-249	11,60	Estrutura de Concreto
5	Ribeirão Água Doce	DF-205	20,00	Estrutura de Madeira
6	Ribeirão das Salinas	DF-201	15,00	Não Encontrada
7	Córrego Vereda Grande	DF-205	15,30	Estrutura de Madeira
8	Afluente Rio Ponte Alta	VC-383	9,00	Estrutura de Concreto
9	Córrego Juliano	VC-511	8,05	Estrutura Metálica
10	Córrego Quinze	DF-353	6,00	Estrutura de Madeira (Alterada)

Ponte 1 - Córrego Mentira – VC-201 (25,00 m) – (Data: set/2018)

A ponte apresenta elementos de segurança e sinalização, conforme visto na imagem da Figura 4a. O detalhe da guia de rodas pode ser observado na Figura 4b. A estrutura das vigas está destacada nas Figuras 4c e 4d, e os pilares estão representados nas Figuras 4e e 4f.



(a)



(b)



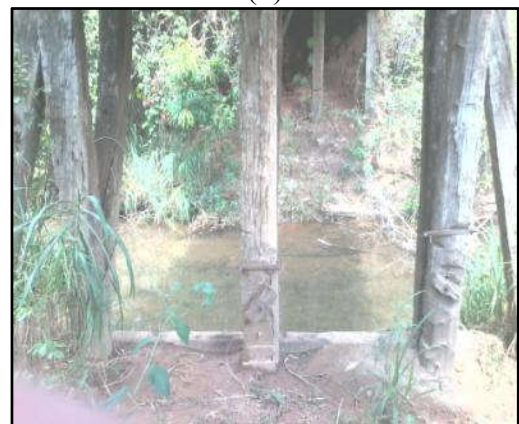
(c)



(d)



(e)

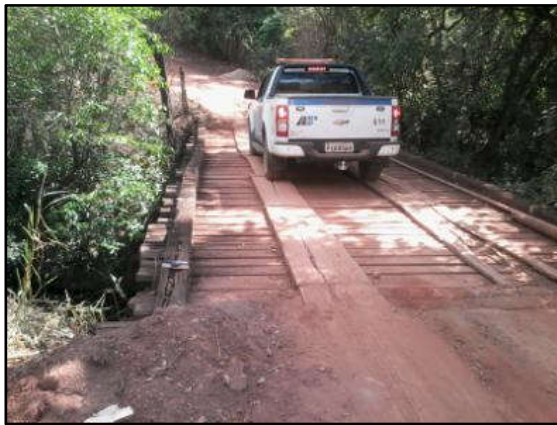


(f)

Figura 4. Ponte sobre o Córrego Mentira.

Ponte 2 – Córrego do Ouro – VC-201 (15,00 m) – (Data: set/2018)

A ponte não apresenta elementos de segurança e sinalização, conforme visto na imagem da Figura 5a. Além disso, foi verificada deterioração da guia de rodas e de pranchas do tabuleiro, conforme a Figura 5b. A estrutura das vigas está destacada nas Figuras 5c e 5d, e os pilares estão representados nas Figuras 5e e 5f.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5. Ponte sobre o Córrego do Ouro.

Ponte 3 - Córrego Pedreiras – VC-201 (10,00 m) – (Data: set/2018)

A ponte não apresenta elementos de segurança, porém há elementos de sinalização, conforme Figura 6a. A guia de rodas apresenta fendilhamento no sentido longitudinal da peça, conforme a Figura 6b. Na Figura 6c verifica-se a ponte em serviço. A estrutura das vigas é apresentada nas Figuras 6d e 6e. Neste caso, a estrutura de madeira encontra-se apoiada em estrutura denominada cortina de concreto, Figura 6f.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 6. Ponte sobre o Córrego Pedreiras.

Ponte 5 - Ribeirão Água Doce – DF-205 (20,00 m) – (Data: set/2018)

A ponte apresenta elementos de segurança e sinalização, conforme Figura 7a. Não foram encontrados defeitos na guia de rodas Figura 7b. A estrutura vista lateralmente apresenta o arranjo entre vigas e pilares, com destaque para a formação de mão francesa que reduz o vão das vigas, Figuras 7c e 7d. A vista inferior encontrada na Figura 7e apresenta o travamento horizontal dos pilares, tal situação geralmente é empregada para reduzir o efeito de flambagem. A Figura 7f apresenta o detalhe da base do pilar ancorado diretamente no solo.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 7. Ponte sobre o Ribeirão Água Doce.

Ponte 7 - Córrego Vereda Grande – DF-205 (15,30 m) – (Data: dez/2021)

A ponte apresenta elementos de segurança e sinalização, conforme Figura 8a. Peças da guia de rodas estão avariadas, Figura 8b. As vigas estão apresentadas nas Figuras 8c e 8d. Os pilares de madeira estão combinados com e sem estrutura de concreto, Figuras 8e e 8f.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 8. Ponte sobre o Córrego Vereda Grande.

Ponte 10 - Ponte Córrego Quinze – DF-353 (6,00 m) – (Data: nov/2018)

A ponte não apresenta elementos de segurança, porém há elementos de sinalização, conforme Figura 9a. A guia de rodas e as pranchas do tabuleiro apresentam desgastes, Figura 9b e 9c. Na Figura 9d registra-se a ponte em serviço. A estrutura de madeira estava apoiada em estrutura de concreto, Figuras 9e e 9f.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 9. Ponte sobre o Córrego Quinze.

Em continuidade, verificou-se que e ao longo do tempo o DER/DF efetuou alterações das estruturas das pontes, conforme descrito a seguir: substituição do tabuleiro de madeira por elementos metálicos com aproveitamento dos pilares e das vigas de madeira na ponte do Córrego do Ouro; substituição das vigas e do tabuleiro de madeira que estavam apoiados em estrutura de concreto por peças metálicas na ponte do Córrego Pedreiras; substituição completa de uma ponte pela construção de um sistema de transposição de drenagem do tipo galeria de concreto, com todas as obras civis a ela relacionadas no Córrego Quinze.



Figura 10. Substituição do tabuleiro de madeira da ponte do Córrego do Ouro.
(Data: 17/06/2021)



Figura 11. Substituição da estrutura de madeira da ponte do Córrego Pedreiras.
(Data: 17/06/2021)



Figura 12. Obras de construção de galeria de drenagem do Córrego Quinze.
(Data: 28/06/2023)

Após a avaliação qualitativa oriunda das inspeções visuais, foram feitas análises quantitativas através dos dados referentes à densidade aparente, à compressão paralela às fibras, ao teor de umidade e à análise densitométrica. Assim sendo, os resultados apresentados na Tabela 5 mostraram que as espécies *D. excelsa* e *Eucalyptus sp.* tem maior densidade aparente quando comparadas ao valor de densidade aparente da espécie *Hymenolobium sp.* Os valores de referência das densidades em base seca das espécies *D. excelsa* e *Hymenolobium sp.* seguiram os dados publicados pelo Laboratório de Produtos Florestais (Brasil, 2023). Usando como referência a Tabela E. 1 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento, (NBR 7190, 1997), há correspondência entre a densidade aparente da espécie *Eucalyptus citriodora* com a espécie estudada, *Eucalyptus sp.*

Tabela 5. Densidade aparente média calculada e valores tabelados.

Espécie	Densidade Aparente (kg/m ³)	Valor Tabelado (kg/m ³)	Varição %
<i>Dinizia excelsa</i>	1.047,29	970,00	7,97%
<i>Eucalyptus sp.</i>	975,30	999,00*	-2,37%
<i>Dinizia excelsa</i>	968,94	970,00	-0,11%
<i>Hymenolobium sp.</i>	604,98	700,00	-13,57%

(*) Valor da densidade aparente para a espécie *E. citriodora* (NBR 7190, 1997).

Quanto ao ensaio de tensão de compressão paralela às fibras (f_{c0}), os valores de referência seguiram a mesma literatura, ou seja, dados do LPF e da NBR 7190. Os valores de f_{c0} das espécies *D. excelsa* e *Eucalyptus sp.* foram superiores quando comparados aos valores de f_{c0} da espécie *Hymenolobium sp.*, podendo-se inferir que há alguma correlação entre a densidade e a f_{c0} . As relações entre os valores determinados e os valores tabelados, resultaram em um fator que foi denominado de Coeficiente de Resistência, conforme apresentado na Tabela 6. Isto mostra que a madeira, mesmo após sua utilização em serviço, ainda conserva boas condições de resistência. Em relação à f_{c0} o valor encontrado para a espécie *Eucalyptus sp.* aproximou-se do valor de referência da espécie *Eucalyptus paniculata*.

Tabela 6. Determinação da tensão máxima.

Espécie	Média das Tensões Máximas (N/mm ²)	Valor Tabelado (N/mm ²)	Coeficiente de Resistência
<i>Dinizia excelsa</i>	72,44	85,61	0,85
<i>Eucalyptus sp.</i>	70,92	72,70	0,98
<i>Dinizia excelsa</i>	60,22	85,61	0,70
<i>Hymenolobium sp.</i>	44,13	56,29	0,78

(*) Tensão máxima (f_{c0}) para a espécie *E. paniculatum* (NBR 7190, 1997).

Os dados que foram agrupados na Figura 13, apresentam os comportamentos das curvas de densidade e de tensão de 46 amostras que foram submetidas ao ensaio de f_{c0} . Em síntese, para a espécie *D. excelsa* os dados dos ensaios com corpos de prova de 5 cm x 5 cm x 20 cm não permitiram uma boa análise devido à escassez de amostras, porém, para os corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm verificou-se que os valores de tensão variaram entre 26,85 a 86,96 N/mm² e acompanharam os resultados das densidades entre 753,35 e 1.065,47 kg/m³ desses pontos extremos. Os demais dados desse grupo de amostras apresentaram um valor de tensão entre 50 e 75 N/mm², que são próximos da tensão média encontrada de 60,22 N/mm².

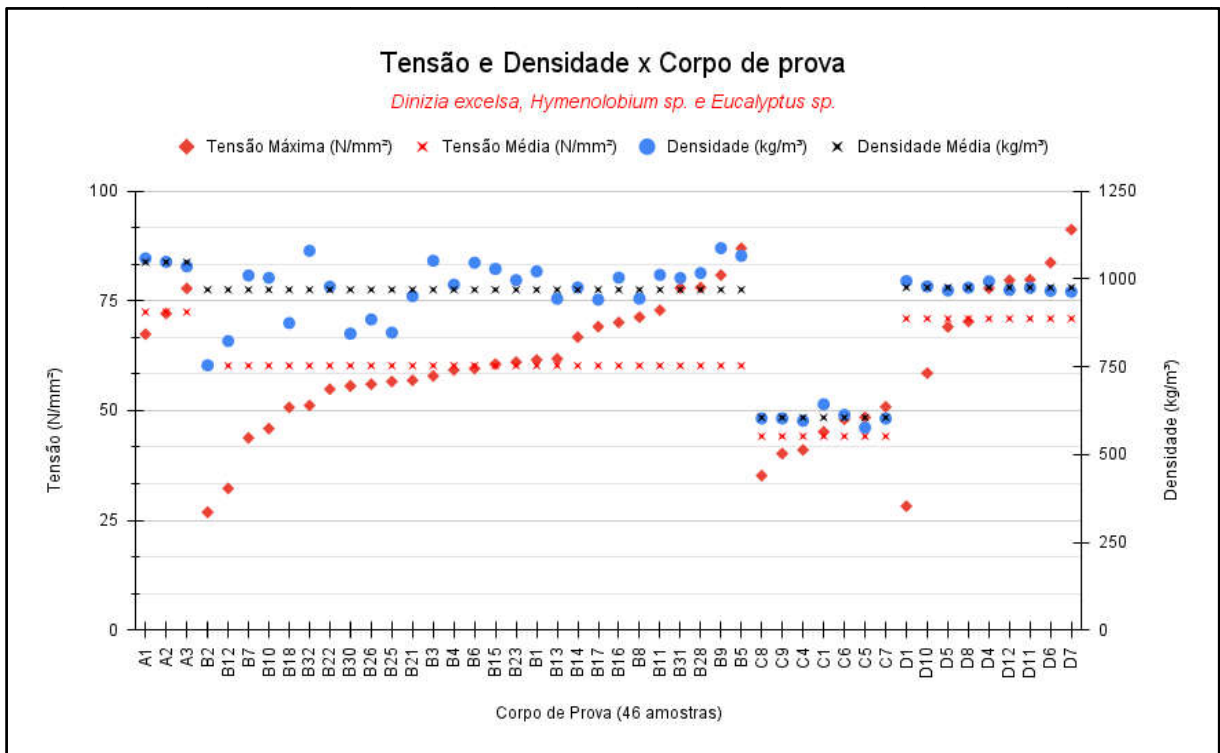


Figura 13. Tensão máxima e densidade.

Em continuidade da análise gráfica, os corpos de prova da espécie *Hymenolobium sp.* de 4 cm x 4 cm x 16 cm apresentaram resultados com menores variações, entre 35,19 e 50,86 N/mm², ou seja, ocorreu maior homogeneidade. Finalmente os corpos de prova da espécie *Eucalyptus sp.* de 3 cm x 3 cm x 12 cm apresentaram linearidade em relação à densidade, e referente à tensão um caso de *outlier* para o corpo de prova D1, com 28,22 N/mm² que difere muito da média geral da espécie. Isso pode ser justificado como uma ruptura frágil desse corpo de prova durante o ensaio de f_{c0} .

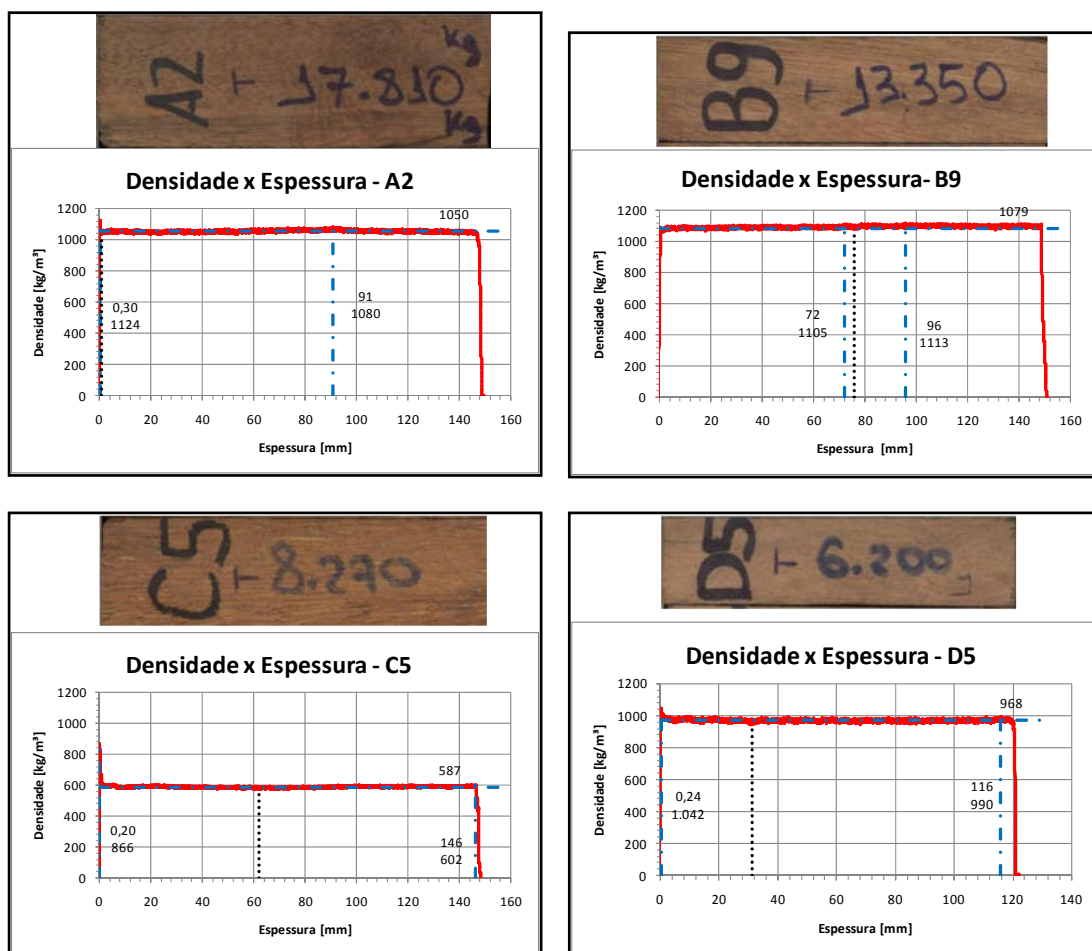
Na Tabela 7, os resultados mostraram que na determinação do teor de umidade (TU), a espécie *D. excelsa* apresentou o maior valor, seguida pelas espécies *Hymenolobium sp.* e *Eucalyptus sp.*

Tabela 7. Determinação do teor de umidade.

Espécie	Massas das amostras em secagem			Ms (g)	Ma (g)	TU (%)
	Mu (g)	Mu (g)	Mu (g)			
<i>Dinizia excelsa</i>	205.26	185.67	184.06	183.62	21.64	11,79
<i>Hymenolobium sp.</i>	149.72	136.11	135.65	135.53	14.19	10,47
<i>Eucalyptus sp.</i>	108.62	100.7	99.51	98.99	9.63	9,73

$$TU (\%) = (Ma/Ms) * 100$$

Em relação aos ensaios de densitometria, as amostras apresentaram o comportamento esperado para madeira sólida conforme a Figura 14, ou seja, os valores apresentaram linearidade, pois não deve haver diferença significativa de densidade em um mesmo corpo de prova. Apenas em pontos específicos os valores sofreram variações, como foi o caso encontrado na peça C2 em que o furo a 80 mm da origem foi marcado na curva, devido ao defeito localizado que afetou a densidade.



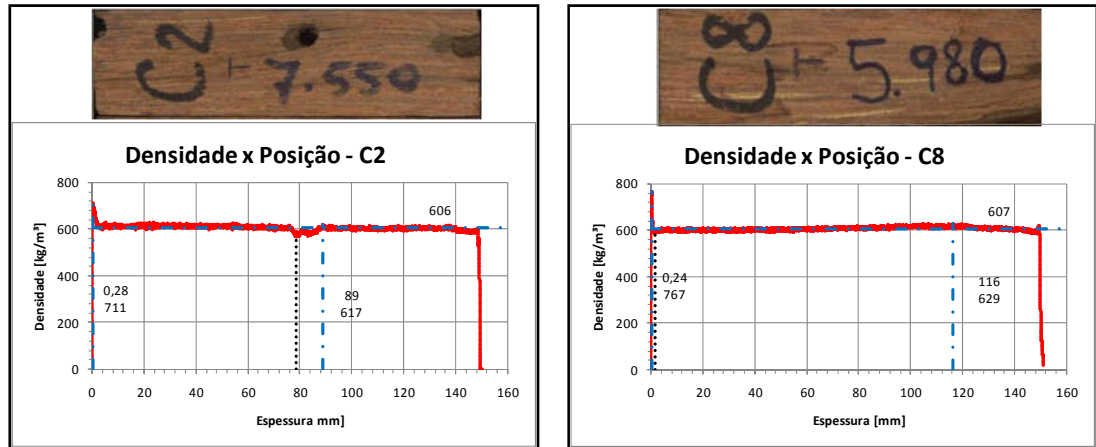


Figura 14. Perfis densitométricos de madeira sólida.

6. CONCLUSÕES

O diagnóstico das pontes após as inspeções visuais indica que as estruturas apresentam condições de permanecerem em serviço, desde que sejam feitas manutenções reparadoras, bem como sejam estabelecidas rotinas de novas inspeções visuais, a fim de garantir a segurança viária e permitir as interligações entre as regiões rurais nas rodovias onde as pontes estão instaladas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios-X em madeira**. 1994. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

ARANTES, M. D. C. et al.. **DENSITOMETRIA DE RAIOS X NA MADEIRA E CARVÃO DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake¹**. Revista *Árvore*, v. 40, n. 1, p. 155–162, jan. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997 - **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, p. 107. 1997.

BRASHAW, B. K.. **Inspection of timber bridge longitudinal decks with ground penetrating radar**. 2014. Tese (Doctor of Philosophy in Forest Resources) – Faculty of Mississippi State University, Mississippi, 2014.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO DO INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 253p. (IPR, Publicação 709).

BRASIL. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Banco de dados de madeira brasileira**. Laboratório de Produtos Florestais - LPF, 2023.

CALIL JUNIOR, C. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos – SP: Suprema, 2006. 252p.

MANERA, R. S. **Ponte com estrutura aporticada de madeira roliça**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

MELO, J. E. **Madeira: características e aplicações**. 1ª Edição. Brasília: Via Brasil. 2002. 30 p.

MILANI, C. J.; KRIPKA, M. A **Identificação de Patologias em Pontes de Madeira: Diagnóstico Realizado no Sistema Viário do Município de Pato Branco – Paraná**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 4, n. 1, 2012. DOI:

10.5216/reec.v4i1.17726. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/17726>.

Acesso em: 9 nov. 2023.

PRATA, D. G. **Pontes protendidas de madeira**. 1995. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Estrutural) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 1995.

SILVA, M. E. C. M.; LOUZADA, J. L. P. C. **Utilização da microdensitometria por raios X na avaliação qualitativa da madeira de choupo (Populus x euramericana. cv I.214)**. In: SIMPÓSIO DEL CHOPO, 1., 2001. Zamora. Proceedings. Zamora, 2001. p. 469-478.

TOMAZELLO, M.; LISI, C. S.; ROIG, F. A.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C.; ROQUE, R. M.; BELLOTE, A. F. **A DENSITOMETRIA DE RAIOS X APLICADA NA ANÁLISE DE MADEIRAS DE ÁRVORES TROPICAIS E SUBTROPICAIS**. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1., 2008, Seropédica. Palestras. Seropédica: UFRRJ, 2008. 2p