

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

IBANEZ DUTRA MUNHOZ

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA  
NA CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE PONTES  
DE MADEIRA NA AMAZÔNIA**

MANAUS – AM

2023

IBANEZ DUTRA MUNHOZ

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA  
NA CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE PONTES  
DE MADEIRA NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais na área de concentração de Engenharia Florestal e linha de pesquisa de Manejo e Tecnologia de Recursos Florestais, para o exame final.

Orientador: Prof. Dr. Adriano José Nogueira Lima.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos César Moraes Pereira.

MANAUS – AM

2023

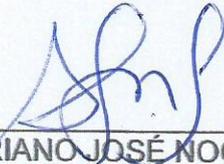
IBANEZ DUTRA MUNHOZ

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA  
NA CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE PONTES  
DE MADEIRA NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais na área de concentração de Engenharia Florestal e linha de pesquisa de Manejo e Tecnologia de Recursos Florestais, para o exame final.

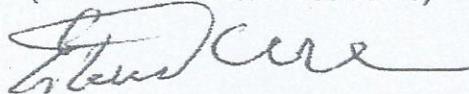
Aprovado em: 20. de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



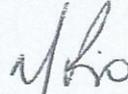
---

ADRIANO JOSÉ NOGUEIRA LIMA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA DA AMAZÔNIA - INPA  
(Professor Doutor Presidente)



---

ESTEVÃO VICENTE CAVALCANTIMONTEIRO DE PAULA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO AMAZONAS - UEA  
(Professor Phd 1º Membro)



---

NABOR DA SILVEIRA PIO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
(Professor Doutor 2º Membro)

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M966d Munhoz, Ibanez Dutra  
Desenvolvimento e avaliação tecnológica na construção e  
manutenção de pontes de madeira na Amazônia / Ibanez Dutra  
Munhoz . 2023  
99 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Adriano José Nogueira Lima  
Coorientador: Marcos Cesar de Moraes Pereira  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Manejo Florestal. 2. Tecnologia da Madeira. 3.  
Sustentabilidade. 4. Metodologia BIM. 5. Amazônia. I. Lima,  
Adriano José Nogueira. II. Universidade Federal do Amazonas III.  
Título

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta pesquisa às vítimas dos acidentes ocorridos entre 28 de setembro e 08 de outubro de 2022, bem como às suas famílias, cujas vidas foram profundamente afetadas por esse evento. O incidente em questão envolveu o colapso de duas pontes de concreto armado, de significativo peso, localizadas na BR-319, situada na densa floresta amazônica. Lamentavelmente, esse acidente resultou na perda de quatro vidas humanas e deixou outras pessoas feridas.

É importante ressaltar que as pontes em questão foram construídas décadas atrás e apresentavam estruturas hiperestáticas. No entanto, essas estruturas não foram capazes de suportar as condições adversas impostas pelas enchentes sazonais da região amazônica. A notável flexibilidade do solo, que sofreu erosões constantes, gerou considerável tensão nas pontes, levando ao seu colapso.

É vital reconhecer que os danos resultantes desse incidente são de proporções ainda não quantificadas pela engenharia, uma vez que têm origem nas variáveis singulares da floresta amazônica e demandam mais estudos. Esses eventos trágicos ressaltam a complexidade e os desafios únicos associados à construção e manutenção de infraestruturas em ambientes tão diversos quanto à região amazônica.

Neste contexto, esta pesquisa busca fornecer parâmetros, pensamentos e reflexões sobre as questões relacionadas à infraestrutura em áreas como a floresta amazônica. Espero profundamente que a comunidade possa considerar as análises e conclusões apresentadas neste estudo, como uma base para direcionar seus esforços de pesquisa e desenvolvimento, sempre com o objetivo de contribuir para o bem-estar daqueles que dependem da mobilidade nesta imensa região.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha família, esposa Daniela Maria Moreira e Filhos Maria Fernanda Moreira Munhoz e Davi Moreira Munhoz, pelo incentivo e compreensão durante minhas ausências.

Expresso agradecimento às agências de fomento CNPq, CAPES e FAPEAM, e especialmente ao projeto INCT Madeiras da Amazônia, liderado pelo pesquisador *Niro Higuchi* (INPA), que tornou viável a expedição para a BR-319 e possibilitou a coleta de dados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Apresento minha gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Adriano José Nogueira Lima, do INPA e o Coorientador Prof. Dr. Marcos Cesar de Moraes Pereira, da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pela paciência e cordialidade profissional que recebi durante a dissertação.

Estendo meus agradecimentos ao professor PhD. Dr. Engenheiro Civil Estevão Vicente Monteiro de Paula, docente da Universidade Estadual do Amazonas – UEA, pelo apoio, orientação e generosidade ao compartilhar seus conhecimentos na condução da coleta de dados para esta pesquisa, fonte do tema.

Aos colegas de turma à Universidade Federal do Amazonas e, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais e seus professores pelo acolhimento e ajuda nas mais diversas tarefas e ensinamentos, sou extremamente grato a recíproca é verdadeira.

Ao amigo Engenheiro Bruno José Adami, indicado pela empresa *DLUBAL REFEM Softwares*, agradeço sua atenção e amizade, especialmente por corroborar a importância da pesquisa para o desenvolvimento da ciência e da sociedade compartilhando seus conhecimentos nas aplicações deste estudo com o *BIM*.

Ao Professor Mestre em engenharia Antônio da Cunha Nunes, da Universidade Salgado de Oliveira de São Gonçalo - RJ, expresso profunda gratidão por sua amizade, confiança e orientação crucial em minha carreira acadêmica, especialmente nas orientações de anteprojeto de mestrado. Sua crença em mim e seus conselhos moldaram meu crescimento. Obrigado por transcender o papel de educador e tornar-se um amigo e mentor inspirador. Sua influência perdurará em cada passo do meu caminho. Com sincera gratidão.

Agradeço!

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

## RESUMO

A construção de pontes de madeira desempenha um papel crucial na conectividade e acessibilidade das comunidades da Amazônia. O objetivo dessa pesquisa é apresentar um estudo tecnológico para a implantação de uma área de empréstimo de manejo florestal como suporte à construção e manutenção de pontes de madeira na região Amazônica. A base de dados para a pesquisa foi a realização de uma expedição técnica-científica de inspeções de pontes de madeira na BR-319 (Rodovia Manaus-Porto Velho), nos km 263 e km 271, sobre os igarapés Bandeirão e Beleza, com 30,00 e 24,00 metros de comprimento, respectivamente. Os estudos foram conduzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e Universidade de São Paulo (USP) com suporte do projeto INCT Madeiras da Amazônia. Para a verificação de áreas de empréstimo de madeira foi utilizado de dados de um plano de manejo florestal sustentável em pequena escala do projeto de desenvolvimento sustentável (PDS) Morena, localizada no município de Presidente Figueiredo, Amazonas. Durante a expedição foram avaliadas o nível de proteção das pontes contra a degradação natural, as espécies de madeira utilizadas na construção de pontes, a presença de insetos xilófagos e fungos, o grau de desgastes dos pilares e tipos de elementos de ligação, além da realização de provas de carga e o efeito da existência da ponte no entorno de comunidades. A pesquisa resultou em informações robustas o que evidencia a possibilidade da implantação de uma área de manejo de pequena escala para empréstimos de espécies para a construção e manutenção de pontes na Amazônia. A escolha de áreas de manejo florestal destinadas à construção e manutenção de pontes demanda uma abordagem técnica e científica. A viabilidade incorpora princípios e fundamentos técnicos, ambientais e socioeconômicos.

Palavra-chave: 1. Manejo Florestal. 2. Tecnologia da Madeira. 3. Sustentabilidade. 4. Metodologia BIM. 5. Amazônia.

## **ABSTRACT**

The construction of wooden bridges plays a crucial role in the connectivity and accessibility of communities in the Amazon. The objective of this research is to present a technological study for the implementation of a forest management lending area to support the construction and maintenance of wooden bridges in the Amazon region. The research database was generated through a technical-scientific expedition inspecting wooden bridges on BR-319 (Manaus-Porto Velho Highway) at km 263 and km 271, spanning the Bandeirão and Beleza streams, with lengths of 30.00 and 24.00 meters, respectively. The studies were conducted by the National Institute of Amazonian Research, State University of Amazonas (UEA), and the University of São Paulo (USP), with support from the INCT Amazonian Woods project. To verify wood lending areas, data from a small-scale sustainable forest management plan in the Morena Sustainable Development Project (PDS), located in the municipality of Presidente Figueiredo, Amazonas, were utilized. During the expedition, the level of protection of the bridges against natural degradation, the wood species used in bridge construction, the presence of xylophagous insects and fungi, the degree of wear on the pillars and types of connecting elements were assessed. Additionally, load tests were conducted, and the impact of the bridge on surrounding communities was examined. The research yielded robust information, highlighting the potential implementation of a small-scale management area for lending wood species for bridge construction and maintenance in the Amazon. The selection of forest management areas for bridge construction and maintenance requires a technical and scientific approach. Feasibility incorporates technical, environmental, and socio-economic principles and foundations.

Keywords: 1. Forest Management. 2. Wood Technology. 3. Sustainability. 4. BIM Methodology. 5. Amazon.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécies na construção civil pesada áreas externas.....	33
Tabela 2 – Principal aplicação das espécies na construção civil leve externa e de uso temporário.....	33
Tabela 3 - Identificação das espécies usadas nas diversas partes da ponte.....	41

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma para a execução do Plano de Manejo Florestal Sustentável.....	24
Figura 2 – Modelagem <i>BIM</i> de pontes.....	28
Figura 3 – Descrição do arranjo global tridimensional da estrutura.....	35
Figura 4 – Arranjo da estrutura visualização em sólido.....	35
Figura 5 – Mapa de localização das pontes estudadas.....	38
Figura 6 – Modelo de aparelho <i>Stress Wave Time</i> .....	42
Figura 7 – Estação total eletrônica, prisma e tripé.....	43
Figura 8 – Medição do deslocamento das longarinas com a estação total e resistência interna.....	44
Figura 9 – Área do PDS Morena em Presidente Figueiredo, AM.....	49
Figura 10 – Mapa de macro zoneamento e localização PDS Morena.....	50
Figura 11 – Número de Macro fungos coletados nas estruturas das pontes.....	54
Figura 12 – Aspecto geral da ponte do Igarapé Beleza.....	54
Figura 13 – Pilares em avaliação.....	55
Figura 14 – Peça de madeira com defeito “ocada”.....	56
Figura 15 – Três madeiras diferentes na estrutura balancim.....	56
Figura 16 – Situação da estrutura Guarda-rodas da ponte Ig. Beleza.....	58
Figura 17 – Balancim da atacada por <i>Pycnoporus sanguineus</i> .....	58
Figura 18 – Situação da Longarina da Ponte Igarapé Beleza.....	59
Figura 19 – Pilar substituído da Ponte Ig. Beleza atacada por <i>Phellinus</i> sp.....	59
Figura 20 – Guarda-rodas da ponte Igarapé Bandeirão.....	59
Figura 21 – Estrutura Guarda-rodas atacada por <i>Pycnoporus sanguineus</i> .....	60
Figura 22 – Aspecto da longarina e balancim da ponte Ig. Bandeirão.....	60
Figura 23 – Balancim da ponte Bandeirão degradada por fungos <i>corticoides linoceulolíticos</i> .....	60
Figura 24 – Estrutura Guarda-rodas da ponte Igarapé Bandeirão atacada por <i>Trametes sp.</i> .....	61
Figura 25 – Pilares da ponte Ig. Bandeirão com degradação severa causada por fungos e cupins.....	61
Figura 26 – Exemplos de rachaduras de topo.....	61
Figura 27 – Análise <i>BIM</i> ( <i>RFEM</i> 5) das envoltórias – Esforço cortante.....	63
Figura 28 – Análise <i>BIM</i> ( <i>RFEM</i> 5) das envoltórias – Esforço fletor.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Seleção final de espécies.....	47
Quadro 2 – Consumo de energia, emissão poluente por material.....	50

Quadro 3 – Relação de consumo de energia por material.....	50
Quadro 4 – Quantidade de energia embutida por material.....	51
Quadro 5 – Sortimento – Memória de Cálculo.....	65
Quadro 6 – Peso próprio da ponte, por peças.....	66
Quadro 7 – Peso próprio da ponte para 30 metros construída.....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- AASHTO - Associação Americana de Autoridades de Transporte Rodoviário.
- APP - Área de Preservação Permanente.
- ARL - Área de Reserva Legal.
- BIM - Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling*, sigla em inglês).
- BR-319 - Rodovia federal no Brasil.
- CAP - Circunferência à Altura do Peito (cm).
- CIFOR - Centro de Pesquisa Florestal Internacional.
- CITES - Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- DAP - Diâmetro à Altura do Peito (cm).
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.
- FSC – Conselho de Manejo Florestal (*Forest Steward ship Council*).
- IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza.
- ITTO - Organização Internacional de Madeiras Tropicais (*International Tropical Timber Organization*).
- MMA - Ministério do Meio Ambiente.
- NBR - Norma Brasileira.
- PMFS – Plano de Manejo Florestal Sustentável.
- PDS – Projeto de Desenvolvimento Sustentável.
- REFEM5 – Software de elementos finitos utilizado na análise estrutural.
- RL – Reserva Legal.
- SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente.
- UEA – Universidade do Estado do Amazonas.
- USP – Universidade de São Paulo.
- WCED – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Contexto e questionamentos.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1. Objetivo Geral.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. JUSTIFICATIVA.....	18
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1. Caracterização do Setor Florestal.....	19
2.2. Manejo Florestal Sustentável.....	21
2.2.1. Manejo Florestal na Amazônia e os dispositivos legais.....	22
2.2.2. PMFS em Pequena Escala.....	23
2.3. Seleção e Avaliação de Espécies de Madeira.....	25
2.4. Inovações Tecnológicas e Avaliação de Resistência para um Manejo Florestal Sustentável na Amazônia.....	26
2.5. Modelagem da Informação da Construção (BIM).....	27
2.6. Seleção e Avaliação de Espécies para Pontes de Madeira na Amazônia: Uma Abordagem Integrada.....	28
2.7. Seleção de espécies.....	30
2.7.1. Critérios de Seleção de Espécies.....	30
2.8. Avaliação das Propriedades Mecânicas da Madeira para Construção de.....	31
2.9. Seleção de espécies na construção civil.....	32
2.10. Descrição geral – BIM.....	33
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1. Expedição Técnico-científica.....	37
3.2. Caracterização da área .....	38
3.2.1. Informações geoclimatológicas.....	40
3.3. Levantamento das variáveis.....	40
3.4. Identificação das espécies utilizadas.....	42
3.5. Equipamentos utilizados na coleta de dados.....	42
3.6. Área de manejo em pequena escala.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1. Área de Empréstimo de Madeira – Manejo Florestal.....	46
4.2. Seleção de espécies.....	47
4.2.1. Seleção de espécies – Plano de Manejo PDS Morena.....	48
4.2.2. Vantagens e Desvantagens de seleção de espécies.....	50
4.3. Propriedades físicas e mecânicas das espécies identificadas.....	52
4.3.1. Desafios na Durabilidade de Pontes Amazônicas: Impacto dos Fungos Lignocelulolíticos.....	53
4.3.2. Capacidade de resistência.....	62
4.3.3. Comportamento estrutural.....	64
4.3.4. Metragem cúbica de madeira a ser extraída e memória de cálculo.....	65

4.3.5. Cálculo de Peso Próprio.....	66
4.3.6. Cálculo de verificação dos atendimentos das solicitações e tensões.....	67
4.3.7. Cálculo do Pilar.....	69
5. CONCLUSÃO.....	70
6. REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICES	
Apêndice A - Proposta de projeto de pontes de madeira	77
Apêndice B – Comportamento Estrutural	81

## 1. INTRODUÇÃO

"No coração do manejo florestal reside à promessa de um legado verde, onde a extração consciente é a ponte entre as gerações presentes e futuras." (MUNHOZ, I. D.)

### 1.1. Contexto e questionamentos

No deslumbrante cenário amazônico, as rodovias federais, estaduais e municipais do Estado do Amazonas formam uma intrincada rede de caminhos que se estendem por meio de vastas florestas, terras exuberantes e rios. Essas estradas, essenciais para a conectividade regional, muitas vezes encontram barreiras naturais, como rios imponentes que cortam seu curso. No entanto, para superar esses obstáculos, centenas de pontes de pequenos vãos foram cuidadosamente projetadas e construídas ao longo das décadas. Essas pontes de madeira se tornaram verdadeiros elos que interligam as rodovias e permitem a continuidade do tráfego, facilitando a vida dos moradores locais e impulsionando o desenvolvimento econômico das comunidades ribeirinhas.

Desde os anos 1970, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) assumiu a tarefa de conceber projetos robustos e adaptados à singularidade da região amazônica, levando em conta os desafios ambientais e climáticos da área. Essas obras de engenharia, testemunhas do engajamento humano em vencer as forças da natureza, tornaram-se parte indissociável da história do Estado do Amazonas. As pontes, além de possibilitarem a travessia segura de rios caudalosos, também servem como símbolos do esforço contínuo para promover a unificação territorial, o intercâmbio cultural e a valorização da riqueza natural e cultural da Amazônia. As pontes do Amazonas, que atuam como elos cruciais na rede rodoviária, são mais do que simples estruturas são emblemas de resiliência, engenhosidade e colaboração em prol do progresso e da harmonia entre o homem e o meio ambiente. O cuidado constante com a conservação e a manutenção dessas estruturas é essencial para garantir que elas continuem a cumprir sua função vital, conectando terras distantes e possibilitando um futuro próspero para o Estado e seus habitantes.

A construção de pontes tem sido um campo de inovação tecnológica e engenharia ao longo da história. A busca por projetos de pontes mais eficientes, duráveis e esteticamente agradáveis impulsionou o desenvolvimento de materiais e técnicas de construção avançadas. Esses avanços não apenas beneficiaram a construção de pontes, mas também influenciaram outras áreas da engenharia e da arquitetura.

A pesquisa propõe apresentar um estudo tecnológico para a implantação de uma área de manejo florestal que servirá como área de empréstimo de espécies florestais para a construção e manutenção de pontes de madeira na Amazônia. Para construção foram avaliadas a capacidade de resistência das principais espécies florestais da Amazônia utilizadas em estruturas de pontes de madeira na BR-319 por meio da metodologia *BIM*<sup>1</sup>. Para a manutenção de pontes, foi realizada a seleção adequada de espécies com base na identificação anatômica durante a expedição científica visando a obtenção de vantagens econômicas e garantindo um ambiente seguro, viável e sustentável.

O manejo florestal sustentável é o instrumento que pode viabilizar a exploração florestal para a construção e manutenção de pontes na Amazônia. Esse instrumento é a administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema, objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de variadas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços (Art. 3º, inciso VII do Código Florestal nº 12.651/2012). Por outro lado, compreender este grande ecossistema e aproveitá-lo de forma sustentável é o grande desafio, neste sentido a identificação e escolha de espécies arbóreas por meio de características físicas e mecânicas próprias e as tecnologias de manejo e as variáveis que a floresta nos traz facilitam o entendimento e orienta a aplicação de cada espécie, para os projetos de pontes.

Com essa pesquisa espera-se viabilizar uma área de manejo florestal capaz de fornecer matéria prima para construção e manutenção de pontes de madeira ao

---

<sup>1</sup>Modelagem da Informação da Construção na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* – Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto n. 9.983 de 22 de agosto de 2019.

longo do seu ciclo de vida; dimensionar um projeto com seleção de espécies de madeira da floresta Amazônica com base na norma de cálculo NBR-7190:2022, demonstrar a capacidade de resistência das espécies arbóreas da Amazônia utilizando a metodologia de Modelagem da Informação da Construção (BIM) para estruturas de pontes, estabelecer critérios e elaborar proposta de seleção de espécies florestais com base nas propriedades físicas e mecânicas e durabilidade natural.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Apresentar a possibilidade de estabelecer uma área de manejo florestal como suporte à construção e manutenção de pontes de madeira na região amazônica.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- (i) Verificar a viabilidade técnica e ambiental de um plano de manejo em pequena escala que forneça recursos florestais para construção e manutenção de pontes na região amazônica.
- (ii) Estabelecer critérios e proposta de seleção das espécies arbóreas com base nas propriedades físicas e mecânicas e durabilidade natural, vantagens e desvantagens.
- (iii) Demonstrar a capacidade de resistência das espécies arbóreas da Amazônia utilizando a metodologia de Modelagem da Informação da Construção (BIM) para estruturas de pontes.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A Amazônia é uma região de extrema importância ambiental, abrigando uma vasta diversidade de espécies e ecossistemas únicos. Ao utilizar espécies arbóreas locais na construção de pontes, é possível minimizar a pressão sobre as florestas e reduzir a necessidade de transporte de materiais de outras regiões, contribuindo para a conservação do meio ambiente. Explorar e utilizar essas espécies de forma sustentável é possível valorizar os recursos locais, promover o desenvolvimento regional e fortalecer a economia local. Estas espécies arbóreas locais estão adaptadas às condições ambientais da Amazônia, incluindo a umidade, temperatura e a ocorrência de insetos e fungos. É possível nesta seleção de espécies garantir maior resistência e durabilidade das estruturas, mesmo em um ambiente tão desafiador. O uso de espécies arbóreas locais pode resultar em custos mais baixos em comparação com a importação de materiais de outras regiões. Além disso, a redução do transporte de materiais diminui a emissão de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais associados ao deslocamento de madeira de longas distâncias. Entretanto a construção de pontes requer conhecimentos técnicos e científicos especialmente quando se trata do uso de espécies de madeira.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A construção de pontes de madeira na Amazônia é estratégica para acessibilidade. O *INCT*<sup>2</sup> Madeiras da Amazônia apoiou uma expedição técnico-científica em setembro de 2021 realizada pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), com apoio de pesquisadores de instituições parceiras para avaliação das pontes de madeira na BR-319. A expedição produziu um relatório técnico-científico com dados e imagens sobre o estado geral das pontes em seus diversos campos de estudo, parte da base de dados, desta pesquisa. O emprego da metodologia de Modelagem da Informação da Construção (BIM) é parte integrante deste estudo, pois para a execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharias é determinado pelo Decreto 10.306 de 02 de abril de 2020 e que deve ser realizada por todos os órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Com a utilização de softwares de elementos finitos para estudo e análise estrutural dos resultados que foram empregados com análise de tensão deformação por espécies e redimensionamento de projeto empregado pelo *DNIT*<sup>3</sup> há décadas.

### 2.1. Caracterização do Setor Florestal

O relatório sobre avaliações dos recursos florestais globais (FRA, sigla em inglês) da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) avalia a situação e a gestão dos recursos florestais. Apresenta um perfil global de 234 países territórios. O documento apresenta informações da área florestal, produção, estoques, manejo e usos múltiplos, funções protetivas e serviços ecossistêmicos seletivos, biodiversidade e conservação, distúrbios, progresso em direção ao manejo florestal sustentável (SFM), propriedade e fatores econômicos. De 1990 para 2015, os dados mostram uma redução na cobertura florestal global. O Brasil é o segundo no mundo em área florestal e primeiro em perda das suas florestas. Dados da Organização Internacional de Madeiras Tropicais (ITTO, sigla em inglês) mostram que Ásia e Pacífico lideram a produção (67%) e a exportação

---

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia.

<sup>3</sup>Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes.

(78%) de madeira tropical em tora quando comparada a América Latina e Caribe e África.

No Brasil, o setor florestal é referência. Na década de 60 o governo incentivou os reflorestamentos e a pesquisa. Condições edafoclimáticas e o desenvolvimento científico e tecnológico da silvicultura e do manejo florestal contribuíram para o sucesso do setor. Qualidades que aliadas ao setor, tornaram mais produtivo e competitivo. Avançou-se em melhoramento florestal com criação de incentivos fiscais aos reflorestamentos. Infelizmente, não chegou na Amazônia. A Amazônia brasileira ocupa quase um terço das florestas tropicais do mundo (Uhl *et al.* 1997). Essa abundância de floresta e terras devolutas atrai madeireiros e pecuaristas. Tudo se inicia com a exploração ilegal de madeira que promove abertura de estradas. Essas florestas são rapidamente pauperizadas e em seguida desmatadas. Tornando-se num grande pasto ou em áreas improdutivas. O resultado é ausência de renda, emprego e sustentabilidade. Como precisam sobreviver, se mudam para outras frentes iniciando novamente o processo.

No Art. 225 da Constituição Federal, as florestas são consideradas patrimônio nacional. O Art. 2º do Código Florestal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, afirma que as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação nativa são bens de interesse comum a todos os habitantes do País. Isso enfatiza a responsabilidade do poder público e dos cidadãos quanto a conservação dos recursos florestais. São direitos e deveres, com responsabilidades diferenciadas. A legislação florestal de alguma forma tenta coibir o avanço do desmatamento, principalmente ao considerar Área de Reserva Legal (ARL) e Área de Preservação Permanente (APP). O manejo florestal sustentável é o instrumento legal para o ordenamento e uso dos recursos florestais favorecendo a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

Na Amazônia, o rendimento é um desafio constante para as serrarias. Passados 19 anos, a afirmativa de *Higuchi* (2004) de que “os recursos naturais da Amazônia são super explorados e subutilizados” ainda é evidente e apropriada. As florestas estão desaparecendo com o desmatamento. Árvores com mais de 1400 anos de idade são destruídas. Isso não gera riqueza. Nesse cenário, sem tecnologia da madeira, não há manejo florestal sustentável. A nossa matéria-prima é diversa, mas poucas espécies são manejadas. Para a produção de madeira sustentável

manejo florestal é o instrumento legal. Instrumento que quando aplicado respeitando as funções ecológicas como a capacidade de regeneração e a proteção a outras formas de vida a floresta torna-se valorizada. Dessa maneira a madeira será produzida e todos os serviços ecossistêmicos serão protegidos.

## **2.2. Manejo Florestal Sustentável**

Manejo florestal sustentável foi popularizado a partir do livro “Nosso Futuro Comum” da *WCED (World Commission on Environment and Development)* e ratificado durante o evento Rio-92. Desenvolvimento que atenda às necessidades atuais, sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender as suas próprias necessidades. Com base no Código Floresta nº 12.651, de 25 de maio de 2012, manejo florestal é a administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços (Art. 3º, inciso VII). Para acessar os recursos florestais por meio da exploração de florestas nativas e formações sucessoras, de domínio público ou privado, ressalvadas os casos previstos nos Art. 21, 23 e 24, a atividade dependerá de licenciamento pelo órgão competente do Sisnama, mediante aprovação prévia de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS que contemple técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo compatíveis com os variados ecossistemas que a cobertura arbórea forme.

Um PMFS deverá atender os seguintes princípios e fundamentos científicos:

I - caracterização dos meios físicos e biológicos;

II - determinação do estoque existente;

III - intensidade de exploração compatível com a capacidade de suporte ambiental da floresta;

IV - ciclo de corte compatível com o tempo de restabelecimento do volume de produto extraído da floresta;

V - promoção da regeneração natural da floresta;

VI - adoção de sistema silvicultural adequado;

- VII - adoção de sistema de exploração adequado;
- VIII - monitoramento do desenvolvimento da floresta remanescente;
- IX - adoção de medidas mitigadoras dos impactos ambientais e sociais.

### **2.2.1. Manejo Florestal na Amazônia e os dispositivos legais**

A preocupação com as florestas data do Brasil colonial. D. Felipe II promulgou em 1605 o Regimento do Pau-Brasil proibindo o corte da espécie sem autorização. Em 1934, surge o primeiro Código Florestal (Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934) em meio à forte expansão cafeeira. Nesse Código já havia preocupação com os corpos d'água que mais tarde passou a ser denominado de Área de Preservação Permanente. Em 1965, foi aprovado o Código Florestal nº 4.771, de 1965 apresentando dois conceitos importantes: Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL). Com relação ao manejo florestal na Amazônia foram necessários 29 anos para a regulamentação do Artigo 15 (Decreto nº 1.282/94). Em 2012, foi promulgado o Código Florestal nº 12.651/2012.

O manejo florestal é disciplinado a nível federal pela Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Essa normativa dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS's nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. Uma das novidades é que avaliação técnica do PMFS em florestas privadas somente será iniciada após a emissão da Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável – APAT (Art. 1º, § único).

No ano de 2009 a Resolução CONAMA nº. 406 estabelece alguns parâmetros técnicos a serem seguidos na elaboração, apresentação, avaliação e execução de PMFS com fins madeireiros na Amazônia. Estabeleceu-se o ciclo de corte máximo de 35 anos em escala de manejo empresarial e 10 anos em escala comunitária, intensidade máxima de 30 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> em escala comercial e 10 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> em escala comunitária, além de diâmetro mínimo de corte de 50,0 cm para ambos.

### **2.2.2. Plano de Manejo Florestal Sustentável em Pequena Escala: uma modalidade exclusiva do estado do Amazonas**

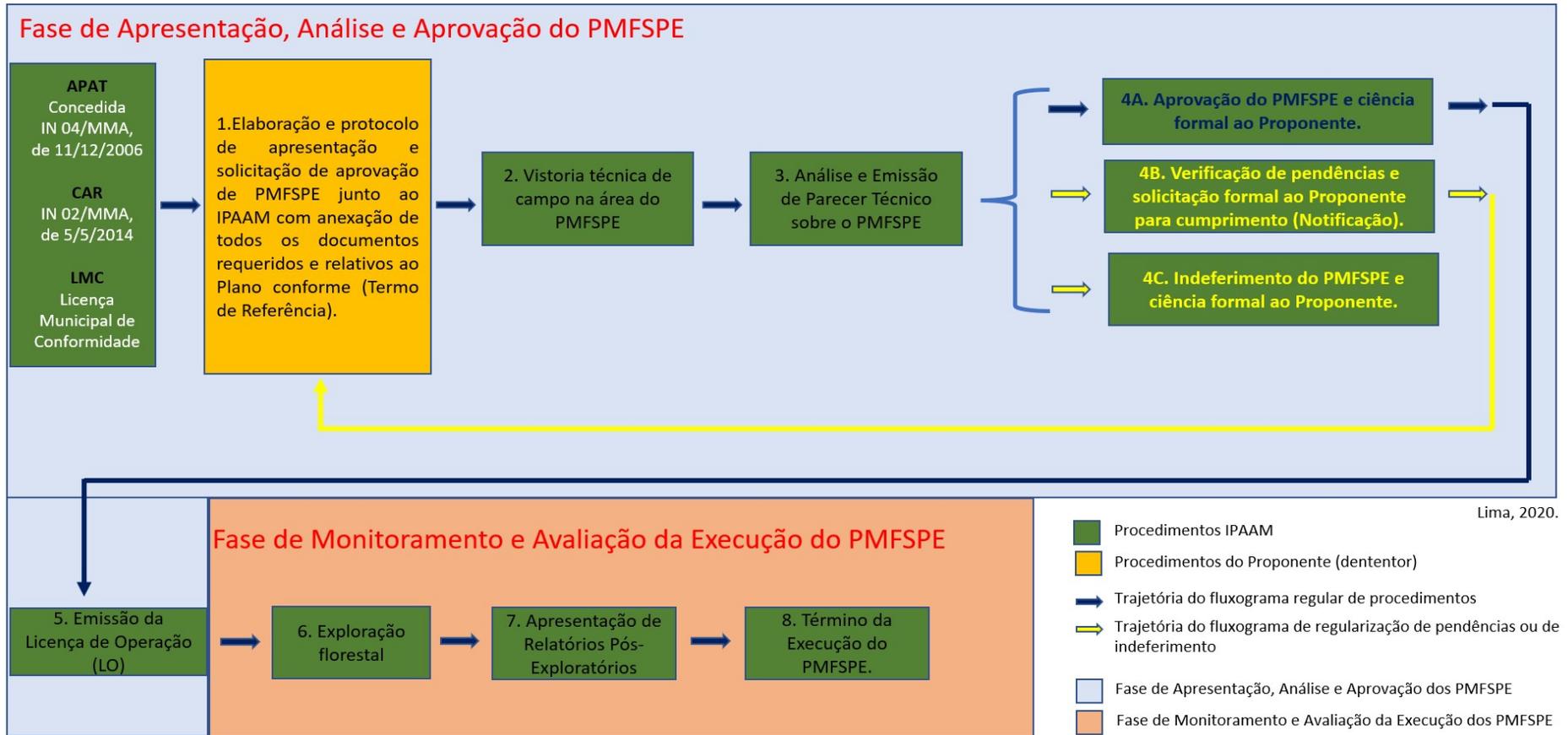
Para a elaboração e aprovação de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) em Pequena Escala foram adotados os seguintes dispositivos legais: Resolução CEMAAM N° 007, de 21 de junho de 2011 que estabelece normas e procedimentos que disciplinam a apresentação, tramitação, acompanhamento e condução das atividades PMFS em pequena escala para licenciamento de exploração madeireira; Resolução CEMAAM N° 016, de 16 de julho de 2013 alterou os artigos 2°, 3°, 4° e 5°. Entre as alterações, destacam-se os incisos I e II, do Artigo 9° que passam a vigorar com as seguintes redações (Art. 4°).

I – Para cada árvore selecionada para corte deverá ser apresentada no inventário, para corte futuro, pelo menos 2 (duas) árvores com CAP entre 60 e 157 cm da mesma espécie.

II – Selecionadas para corte árvores de uma determinada espécie, observada a exigência contida no inciso I, podem ser exploradas adicionalmente somente 50% das árvores remanescentes desta espécie, que atendem ao critério de Circunferência Mínima para Corte (CMC) e que não atendem ao exigido ao inciso I.

A Figura 01 abaixo descreve os procedimentos de elaboração, apresentação, análise e aprovação de PMFS em pequena escala junto ao órgão ambiental estadual. A figura foi inspirada na experiência realizada pelo Laboratório de Manejo Florestal do INPA durante a execução do projeto Pró-Rural financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). Essa modalidade pode ser uma alternativa de viabilizar o manejo florestal em pequena escala no estado do Amazonas visando obter recursos florestais para a construção e manutenção de pontes na Amazônia.

Figura 1 - Fluxograma para a execução do Plano de Manejo Florestal Sustentável - PFMS em pequena escala no Amazonas



Fonte: (LIMA, 2020).

### 2.3. Seleção e Avaliação de Espécies de Madeira

A construção de pontes de manda materiais de alta qualidade, como as madeiras provenientes das áreas de manejo florestal. A correlação entre manejo sustentável e suprimento de recursos é discutida por Johnson e Martinez (2018), que enfatizam como o planejamento cuidadoso das áreas de manejo pode fornecer materiais de construção de longa duração enquanto mantém os ecossistemas saudáveis. Portanto, a meticulosa implantação de áreas de manejo florestal na região amazônica, considerando a necessidade de fornecimento de madeiras de qualidade para a construção de pontes, é um aspecto crucial na busca pela sustentabilidade ambiental e socioeconômica. As diretrizes e exemplos de sucesso nesse processo contribuem para a compreensão aprofundada e a implantação eficaz de estratégias de manejo florestal.

A avaliação das características das espécies de madeira é crucial para determinar sua adequação em usos específicos, como na construção de pontes. Uma variedade de abordagens foi empregada para caracterizar as propriedades físicas e mecânicas das madeiras da região amazônica (*Dinwoodie, 2000*). Testes laboratoriais avaliam densidade, porosidade, resistência à compressão, flexão e tração, fundamentais para determinar a capacidade da madeira em suportar cargas em estruturas de pontes. Índices consolidando múltiplas propriedades da madeira também têm sido usados para avaliar qualidade e adequação em diversos usos (*FAO, 1989*). A resistência da madeira a agentes biológicos e degradação ambiental também é considerada, pesquisas como a de *Schwarzkopf e Burnard (2015)* investigam a durabilidade de espécies menos utilizadas perante insetos, fungos e condições adversas. Modelos estatísticos, como os de *García e Protásio (2019)*, consideram fatores como resistência, durabilidade e custo na seleção de espécies, enquanto a vulnerabilidade ambiental é destacada por *Davis, Slobodkin e Starfield (1986)*. Ensaio específicos, como os de *Loferski e Falk (2017)*, são vitais para determinar a adequação da madeira na engenharia civil. A modelagem computacional, exemplificada por *Oliveira e Christoforo (2016)*, também é usada para prever propriedades físicas e mecânicas da madeira.

## **2.4. Inovações Tecnológicas e Avaliação de Resistência para um Manejo Florestal Sustentável na Amazônia**

O manejo florestal sustentável na região amazônica é impulsionado por avanços tecnológicos e inovações destinadas a promover a conservação dos ecossistemas e a gestão responsável dos recursos naturais. Estas práticas visam aprimorar a exploração de recursos florestais, ao mesmo tempo em que mitigam os impactos ambientais adversos (Walters *et al.*, 1990).

A integração de tecnologias avançadas desempenha um papel crucial nesse contexto, permitindo um equilíbrio entre a exploração dos recursos florestais e a conservação dos ecossistemas. Dentre essas tecnologias, destaca-se o uso de ferramentas que possibilitam análises espaciais precisas. Essas análises, fundamentais para a tomada de decisões informadas sobre a seleção de áreas de exploração e conservação, facilitam a sobreposição de dados ambientais e sociais (Longley *et al.*, 2015).

No âmbito do manejo florestal, a modelagem Building Information Modeling (BIM) se destaca, proporcionando uma representação digital detalhada da área de manejo. Essa abordagem contribui significativamente para a gestão eficiente dos recursos florestais, como evidenciado por Oliveira *et al.* (2016). A avaliação da capacidade de resistência das espécies arbóreas emerge como um componente necessário para assegurar a segurança e durabilidade das pontes de madeira na região amazônica. Os ensaios mecânicos desempenham um papel essencial nesse processo, avaliando propriedades físicas e mecânicas da madeira, como resistência à compressão, flexão e cisalhamento. O estudo conduzido por Silva *et al.* (2017) destaca-se por apresentar resultados desses ensaios em espécies arbóreas amazônicas, oferecendo informações fundamentais sobre suas características de resistência. Assim, a conjugação de inovações tecnológicas, com ênfase na modelagem BIM, e a avaliação de resistência das espécies arbóreas desempenham um papel essencial para um manejo florestal sustentável na Amazônia, contribuindo para a preservação ambiental e a segurança das estruturas de madeira, como as pontes na região.

## 2.5. Modelagem da Informação da Construção (BIM)

A *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma abordagem inovadora que integra informações essenciais sobre geometria, materiais, sistemas construtivos e dados relativos às estruturas de pontes em modelos digitais tridimensionais. O emprego do BIM na engenharia de pontes apresenta avanços e benefícios significativos.

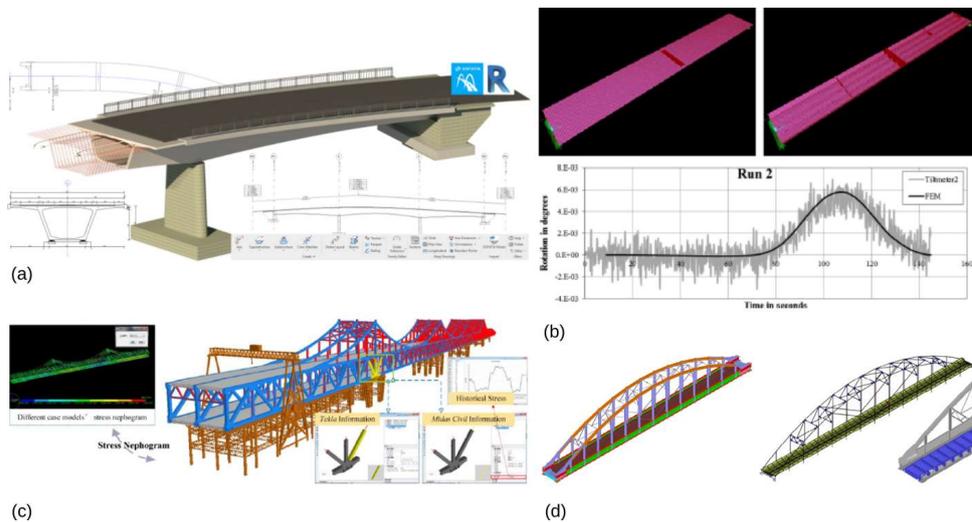
Lima *et al.* (2018) ressaltam sua relevância na representação precisa das estruturas e na aprimorada coordenação entre equipes de projeto e construção. Além disso, Almeida *et al.* (2019) detalham a ampla gama de aplicações do BIM, destacando sua capacidade de reduzir erros, otimizar processos construtivos e aprimorar a comunicação entre *stakeholders*. Essas inovações alinham-se com a busca por maior precisão, detecção de conflitos, otimização construtiva e facilitação da gestão e manutenção ao longo do ciclo de vida das pontes (Almeida, 2019). Apesar das vantagens, desafios persistem na adoção do BIM. A integração de diferentes disciplinas e sistemas, a padronização dos modelos e a capacitação profissional são obstáculos identificados (Lima *et al.*, 2018). É crucial superar essas barreiras para pleno aproveitamento da metodologia.

O Governo Federal, através do Decreto nº 9.983 (2018), estabeleceu diretrizes para a adoção do *BIM* em empreendimentos e serviços de engenharia, enfatizando sua relevância no setor. Além disso, estados e municípios têm implementado legislações específicas, variando em escopo e requisitos. Para se manter atualizado sobre a adoção e regulamentação do *BIM*, é fundamental consultar as leis, normas e regulamentos específicos em cada localidade e setor.

De acordo com Kensek (2018), *BIM* é uma metodologia que abrange criação e gerenciamento de informações digitais de projetos de construção. A utilização de modelos tridimensionais virtuais incorpora informações detalhadas sobre elementos construtivos e propriedades, indo além dos desenhos tradicionais em 2D. O *BIM*, amplamente adotado na construção civil, incluindo o setor de pontes, proporciona colaboração aprimorada, visualização precisa, detecção de conflitos antecipada, gestão eficiente de informações e modelagem tridimensional completa da estrutura. A aplicação do BIM em projetos de pontes resulta em benefícios abrangentes, abrangendo desde planejamento até construção e operação. Otimizações em

eficiência, qualidade, sustentabilidade e redução de custos são alcançadas, destacando seu impacto positivo no cenário de infraestruturas. A Figura 2 mostra um exemplo de modelagem de pontes com metodologia de elementos finitos BIM em suas diversas análises:

Figura 2 – Modelagem BIM de pontes



Fonte: (Kensek, 2018)

## 2.6. Seleção e Avaliação de Espécies para Pontes de Madeira na Amazônia: Uma Abordagem Integrada

A garantia da resistência e durabilidade das pontes de madeira na região amazônica é um desafio complexo, mas essencial para a sustentabilidade. Conforme destacado por Barbosa *et al.* (2017), a seleção adequada de espécies de madeira desempenha um papel crucial nesse contexto. Uma abordagem abrangente é proposta, visando avaliar as propriedades físicas, mecânicas, durabilidade e viabilidade das espécies, com o intuito de elevar a qualidade, durabilidade e desempenho das pontes na região (Barbosa *et al.*, 2017; Filho *et al.*, 2018).

A região amazônica, com sua rica diversidade de espécies florestais, apresenta um cenário desafiador e, ao mesmo tempo, promissor para a construção de pontes de madeira. A pesquisa propõe uma abordagem integrada que abrange desde o levantamento inicial das espécies até a aplicação de tecnologias avançadas, como a Modelagem da Informação da Construção (BIM), para garantir a

excelência no planejamento e na construção dessas estruturas. Com as seguintes etapas:

- Levantamento das Espécies Florestais;
- Análise de Propriedades Mecânicas;
- Avaliação de Durabilidade; e
- Uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM).

A primeira etapa do processo envolve um levantamento abrangente das espécies florestais na região amazônica. Esta fase é importante e abrange na consideração de características físicas, propriedades mecânicas e disponibilidade das espécies. A utilização de fontes como pesquisas bibliográficas, consulta a especialistas e levantamentos de campo é essencial para identificar espécies nativas com propriedades adequadas para a construção de pontes.

A segunda etapa consiste na realização de testes laboratoriais para avaliar a resistência à compressão, flexão e dureza das espécies selecionadas. Tais testes, realizados conforme as normas da ABNT – NBR 7190:2022 (Projeto de estruturas de madeira) que proporcionam informações cruciais sobre a capacidade de carga das espécies e sua adequação para uso em estruturas de pontes. Referências como os estudos de Lopes *et al.* (2020) e Sandoval *et al.* (2019) embasam essa fase do processo. Além das propriedades mecânicas, a terceira etapa aborda a avaliação de durabilidade por meio de testes de resistência a insetos, fungos, agentes biológicos, umidade e intempéries. Barbosa *et al.* (2017) e Rocha (2019) fundamentam a análise.

A última etapa destaca a aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) como uma ferramenta tecnologicamente avançada para o planejamento de pontes de madeira na Amazônia. Becerik-Gerber *et al.* (2011) e Arayici *et al.* (2011).

Estas etapas formam um conjunto integrado de procedimentos, abordando desde a seleção inicial de espécies até a aplicação de tecnologias avançadas, como o BIM, para assegurar a excelência no planejamento e na construção de pontes de madeira na Amazônia. Ao integrar práticas sustentáveis, conhecimento técnico e avanços tecnológicos, busca-se não apenas atender às demandas estruturais, mas também preservar a biodiversidade e o ecossistema amazônico.

## 2.7. Seleção de espécies

### 2.7.1. Critérios de Seleção de Espécies

A seleção apropriada de espécies para pontes de madeira na Amazônia é fundamental para assegurar resistência e durabilidade. Testes laboratoriais, como ensaios de flexão, compressão e tração, são conduzidos para avaliar a resistência mecânica das espécies escolhidas (Gonçalves *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018).

Para maximizar a vida útil das pontes, a escolha recai sobre espécies resistentes à deterioração, insetos e fungos. Avaliações, como a classificação ABNT NBR 7190:2022 (Projeto de estruturas de madeira Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas – Anexo A), auxiliam na seleção das espécies mais adequadas. Além disso, considera-se a disponibilidade local para minimizar custos de transporte, priorizando espécies nativas da Amazônia devido à sua abundância (Barbosa *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2019; Dias *et al.*, 2018; Filho *et al.*, 2018).

A rigidez é essencial para a estabilidade, durabilidade e segurança das pontes de madeira. A configuração geométrica, as cargas previstas e os requisitos de segurança são considerados no projeto, com análises estruturais e simulações computacionais (Calegari *et al.*, 2019; Sandoval *et al.*, 2019). A escolha de espécies provenientes de manejo florestal sustentável, atende a considerações ambientais (Barbosa *et al.*, 2017; Lopes *et al.*, 2020). Ao escolher espécies para pontes na Amazônia, é necessário ponderar vantagens e desvantagens em relação aos requisitos do projeto. Vantagens incluem resistência mecânica, durabilidade natural, abundância regional, facilidade de processamento e baixa suscetibilidade a rachaduras. Desvantagens envolvem variação na qualidade, tendência ao encurvamento, necessidade de tratamentos preservativos, restrições de dimensionamento e risco de ataques de insetos/fungos (Barbosa *et al.*, 2017; Filho *et al.*, 2018; Sandoval *et al.*, 2019). Garantir qualidade e durabilidade em pontes na Amazônia requer recomendações específicas:

- Estudo detalhado do ambiente, considerando solo, hidrologia, condições climáticas e vegetação circundante (Gonçalves *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019).

- Utilização de espécies nativas, levando em conta resistência mecânica, durabilidade, disponibilidade local e sustentabilidade (Barbosa *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2019).
- Projeto estrutural cuidadoso, seguindo normas técnicas e considerando cargas, tipos de vão e esforços atuantes (Andrade *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2018).
- Manutenção e conservação regulares para prolongar a vida útil da estrutura (Silva *et al.*, 2019; Calegari *et al.*, 2020).
- Envolvimento com a comunidade local para promover o cuidado e a sustentabilidade das pontes (Macedo *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2021).

## **2.8. Avaliação das Propriedades Mecânicas da Madeira para Construção de Pontes conforme a – 7190:2022 (Projeto de estruturas de madeira).**

A construção de pontes demanda uma seleção criteriosa das espécies de madeira a serem empregadas, levando em consideração diversas propriedades físicas e mecânicas. A norma NBR-7190:2022 (Projeto de estruturas de madeira), fornece diretrizes essenciais para essa escolha, destacando características mecânicas que conferem classificação à madeira.

De acordo com a norma, a resistência à compressão paralela é um fator crucial, representando a capacidade da madeira de suportar cargas aplicadas em direção paralela às fibras. A resistência à tração, por sua vez, avalia a capacidade da madeira de resistir a forças aplicadas em direção oposta à fibra. Ambas as propriedades variam entre as espécies, dependendo de fatores como umidade e densidade. A resistência à flexão é uma característica importante em aplicações estruturais, como vigas e pilares, destacando a capacidade da madeira de suportar forças aplicadas perpendicularmente às fibras que geram esforços internos de tração, compressão e cisalhamento. Além disso, a resistência ao cisalhamento, influenciada pela orientação das fibras e densidade, é vital para prevenir deslizamentos entre camadas de fibras.

Outras propriedades, como dureza, tenacidade e módulo de elasticidade, também são fundamentais. A dureza varia entre espécies, sendo uma medida da resistência da madeira a indentações ou riscos. A tenacidade avalia a capacidade da madeira de absorver energia antes de fraturar, sendo crucial para resistir a choques

e impactos. O módulo de elasticidade, por sua vez, indica a rigidez da madeira, descrevendo a relação entre tensão aplicada e deformação resultante. Além dessas propriedades, a norma destaca a rigidez da madeira, sua capacidade de resistir à deformação sob carga. Fatores como fadiga, resistência ao impacto e anisotropia também são considerados. A madeira, sendo um material anisotrópico, apresenta propriedades mecânicas que variam com a direção das fibras, o que é essencial em projetos de engenharia e design.

O estudo de *Calil Junior (2006)* enfatiza que as características mecânicas da madeira podem variar consideravelmente com a espécie, idade da árvore, teor de umidade e outros fatores. Portanto, a seleção adequada da madeira para uma aplicação específica deve levar em consideração essas propriedades para garantir que a madeira seja capaz de suportar as demandas da aplicação.

Na construção civil pesada, a madeira é utilizada em diversas aplicações, desde cruzetas, estacas e escoras até portas e vigas. Nas construções leves, a madeira é empregada em detalhes decorativos, como rodapés, painéis, molduras, pisos e assoalhos (USP, 2013). Contudo, é crucial compreender que, na construção de pontes de madeira, a escolha das espécies deve ser alinhada com as características das espécies amazônicas, visando à correta adequação em todos os aspectos *Calil Junior (2006)*. Dessa forma, a avaliação da capacidade de resistência das espécies arbóreas da Amazônia para estruturas de pontes, especialmente utilizando a metodologia BIM, deve considerar uma abordagem detalhada e cuidadosa, conforme os parâmetros estabelecidos pela norma NBR-7190:2022.

## **2.9. Seleção de espécies na construção civil**

De acordo com a USP (2013) a aplicação de madeiras selecionadas foram aplicadas e divididas quanto ao seu uso, Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Espécies na construção civil pesada áreas externas

Nome Popular	Nome Científico	Áreas externas uso temporário
Angelim – Amargoso	<i>Vatairea sp</i>	Reúne as peças de madeira serrada na forma de tábuas e pontaletes empregados em usos temporários (andaimes, escoramento e fôrmas) e as ripas e caibros utilizadas em partes secundárias de estruturas.
Angelim-Pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	
Angelim-Vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i>	
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	
Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i>	
Pau-Roxo	<i>Peltogyne spp</i>	
Piquiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	
Uxi	<i>Endopleura uchi</i>	

Fonte: USP, 2013.

Tabela 2 – Principal aplicação das espécies na construção civil leve externa e de uso temporário

Nome Popular	Nome Científico	Áreas externas uso temporário
Angelim-Amargoso	<i>Vatairea sp</i>	Reúne as peças de madeira serrada na forma de tábuas e pontaletes empregados em usos temporários (andaimes, escoramento e fôrmas) e as ripas e caibros utilizadas em partes secundárias de estruturas.
Angelim-Pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	
Cedrorana	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	
Curupixá	<i>Micropholis venulosa</i>	
Mandioqueira	<i>Ruizterania albiflora</i>	
Quaruba	<i>Vochysia spp</i>	
Tachi	<i>Tachigali myrmecophilla</i>	
Tauari	<i>Couratari spp</i>	
Tauari-Vermelho	<i>Cariniana micrantha</i>	

Fonte: USP, 2013.

## 2.10. Descrição geral – BIM

No âmbito deste estudo, o Building Information Modeling (BIM), conforme conceituado por Kensek em 2018, foi implementado e aplicado de maneira específica. O BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, representa um processo digital que possibilita a criação, gestão e compartilhamento preciso e detalhado de informações ao longo do ciclo de vida de um projeto de construção. Essa abordagem envolve a criação de modelos 3D inteligentes, integrando dados essenciais sobre geometria, materiais, cronogramas, custos e desempenho do projeto.

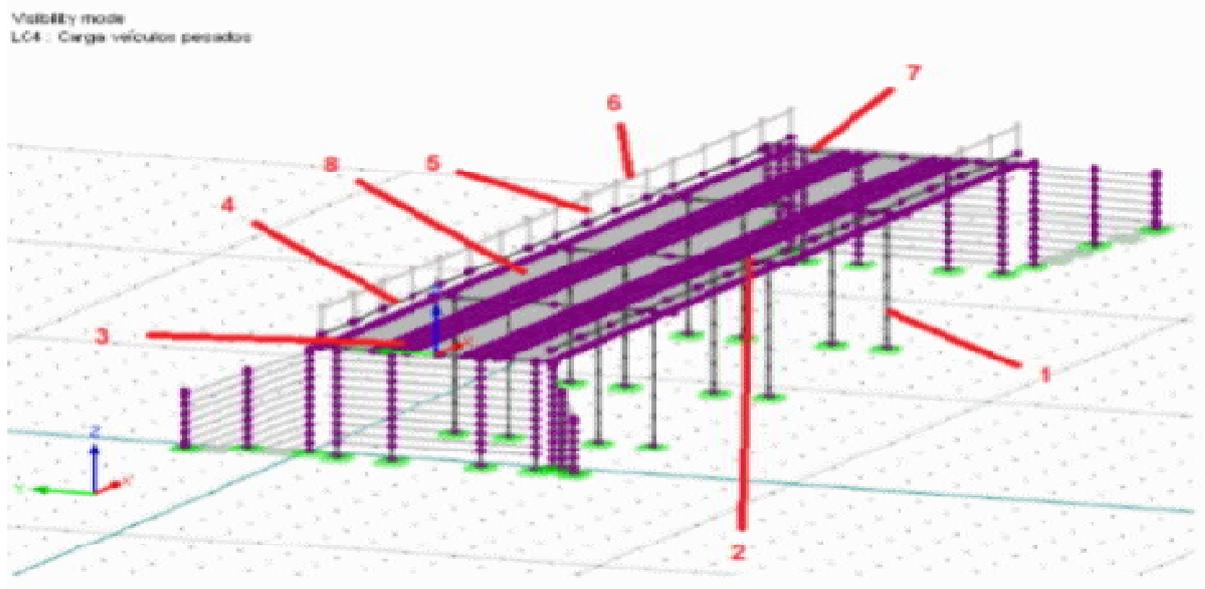
A relevância crescente do BIM na indústria da construção advém de sua capacidade de promover uma colaboração eficiente entre diversas disciplinas, como arquitetos, engenheiros, empreiteiros e proprietários. Todos os envolvidos têm acesso ao modelo central, facilitando a coordenação e comunicação entre as partes interessadas.

De acordo com Kensek (2018), o BIM possibilita a detecção antecipada de conflitos e erros, evitando retrabalho e atrasos durante a construção. Os modelos 3D permitem identificar interferências entre elementos, proporcionando uma compreensão clara e intuitiva do projeto. Essa metodologia também viabiliza análises de desempenho, como simulações de fluxo de ar e análises estruturais avançadas, contribuindo para otimizar o projeto, melhorar a eficiência energética e reduzir custos operacionais.

O BIM centraliza e organiza todas as informações relevantes do projeto em um ambiente digital único, simplificando o gerenciamento de dados, melhorando a documentação e facilitando a localização de informações importantes, como especificações, manuais e certificações. Com a integração de dados ao modelo, o BIM possibilita uma estimativa mais precisa de custos e prazos, evitando surpresas durante a execução do projeto. Isso, por sua vez, contribui para uma gestão eficiente e um controle financeiro mais preciso (Kensek, 2018). Abaixo o Arranjo da estrutura com as denominações das partes de uma ponte:

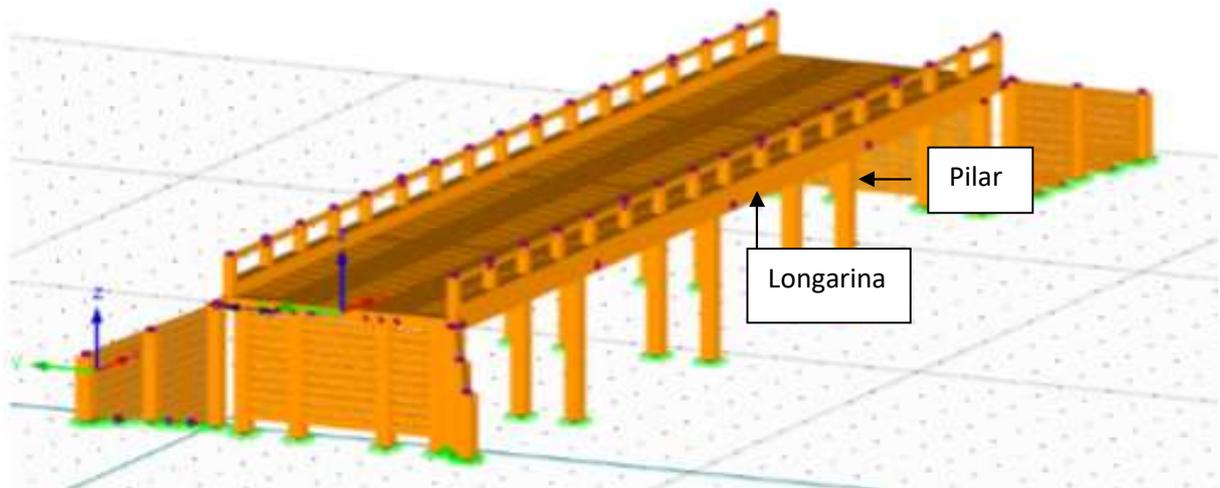
- (1) Coluna – secção 300x300mm;
- (2) Transversina – secção 300x300mm;
- (3) Longarinas – secção 300x300mm;
- (4) Guarda roda – secção 300x300mm;
- (5) Balaustre – secção 200x200mm;
- (6) Corrimão – secção 150x50mm;
- (7) Pranchetas: secção 200x80mm; e
- (8) Rodeiro: secção 200x80mm.

Figura 3 – Descrição do arranjo global tridimensional da estrutura



Fonte: O autor.

Figura 4 – Arranjo da estrutura visualização em sólido



Fonte: O autor.

A aplicabilidade da metodologia BIM em pontes de madeira na região amazônica, conforme observado por Kensek (2018), encontra desafios técnicos e econômicos específicos devido à complexidade da madeira como material estrutural e às características únicas do ambiente. As propriedades estruturais da madeira podem restringir a precisão das análises e simulações conduzidas com a metodologia BIM, enquanto a variabilidade natural da madeira e as condições

ambientais amazônicas podem dificultar a modelagem precisa e a previsão do comportamento das pontes de madeira. Elementos como alta umidade, variações sazonais, ameaças de pragas e deterioração na região é destacada como fatores que podem influenciar a aplicabilidade do BIM na preservação de pontes de madeira, requerendo considerações adicionais.

*Kensek (2018)* enfatiza que as conclusões do estudo sobre a aplicação do BIM em pontes de madeira podem ser específicas para uma área geográfica particular da Amazônia. As condições e desafios distintos dessa região podem não ser extrapoláveis para outras áreas amazônicas, limitando a generalização dos resultados. A importância de reconhecer essas limitações é ressaltada, promovendo uma discussão apropriada com justificativas claras sobre como essas restrições podem impactar os resultados e as conclusões do estudo. Adicionalmente, sugere-se a proposição de possíveis direções para pesquisas futuras, visando superar essas limitações e aprofundar a compreensão sobre a aplicabilidade do BIM em pontes de madeira na região amazônica.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Expedição Técnico-científica

A expedição forneceu os dados e a partir desta seção será abordado informações relevantes como: descrição geral; desenho da área de estudo; a coleta de dados; principais variáveis e medidas; análise dos dados; considerações éticas; limitações do estudo; e análises estatísticas da pesquisa, as partes integrantes consideradas sensíveis da coleta de dados da pesquisa.

A pesquisa em andamento sobre o tema: “*Desenvolvimento e avaliação tecnológica na construção e manutenção de pontes de madeira na Amazônia,*” foi proposta após uma expedição técnico-científica, na qual foram oportunizados os dados da expedição como sugestão para apresentar um estudo de otimização nas manutenções construções de pontes de madeira na Amazônia. Esta expedição foi conduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual do Amazonas (UEA) e Universidade de São Paulo (USP) no período de 11 a 14 de agosto de 2021.

O financiamento foi realizado pelo projeto *INCT<sup>4</sup> Madeiras da Amazônia* que tem como premissas:

- (i) sem tecnologia da madeira, não tem manejo florestal;
- (ii) sem manejo florestal não teremos floresta desempenhando suas funções ecossistêmicas e
- (iii) sem floresta adeus, biodiversidade.

A expedição contou com a participação de 21 estudantes e 9 professores doutores com especialização na promoção de atividades de campo para contribuir com o desenvolvimento de suas aptidões de análise crítica sobre os desafios relacionados a projetos, construção e manutenção de pontes de madeira. Teve o objetivo em identificar os problemas nas pontes existentes, sugerir um programa de manutenção, capacitar profissionais com aptidões para dimensionar, construir e reparar pontes de Madeira. Desta forma, foi possível ter uma ideia mais completa sobre as manifestações patológicas que ocorrem nestas pontes e propor maneiras adequadas para atenuar os problemas de estabilidade estrutural e degradação natural para garantir conforto e segurança para os usuários destas pontes, além das

identificações de espécies empregadas. A expedição, contou com a fase de coleta de dados e seus principais objetivos são:

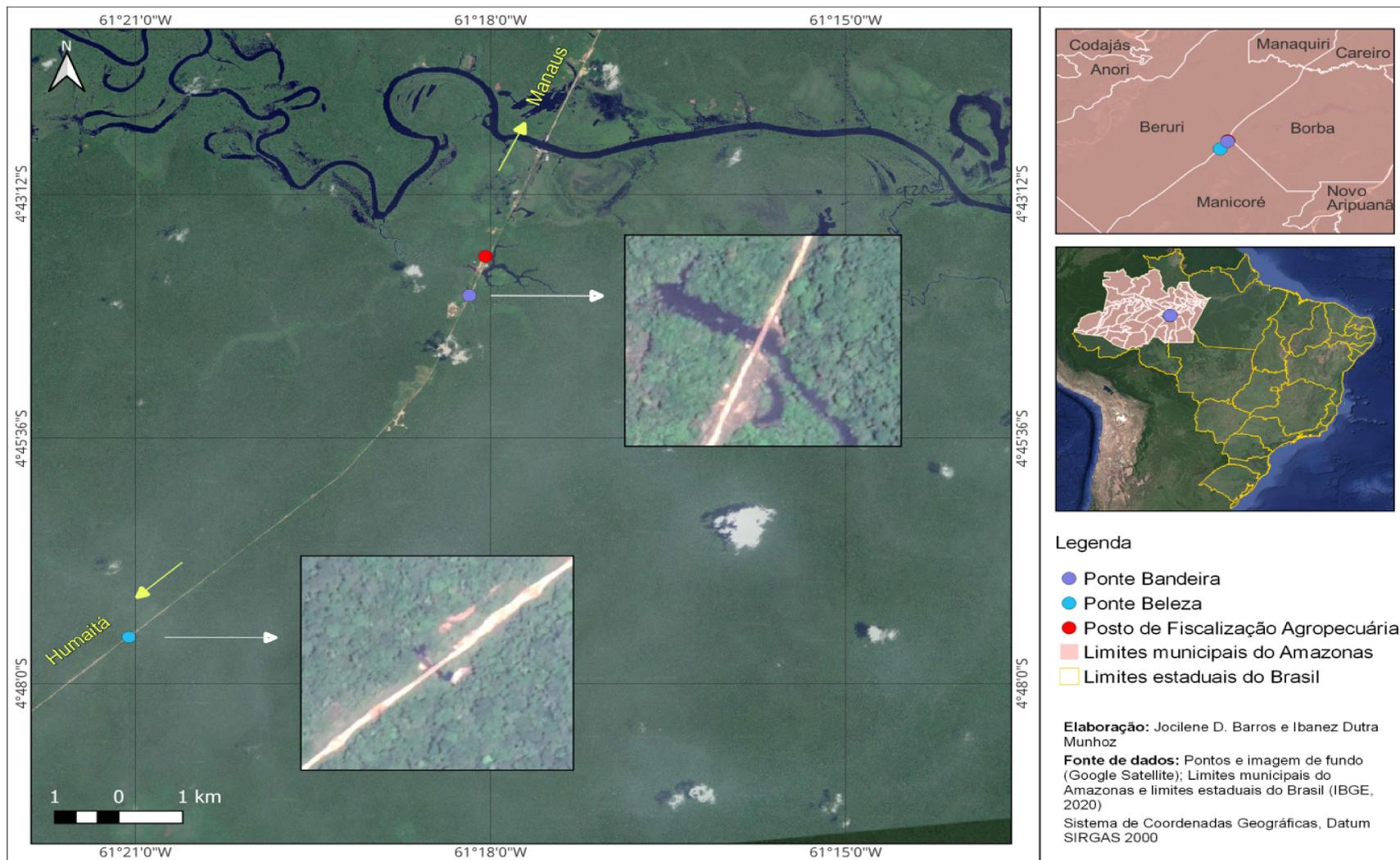
- Métodos e processos utilizados para conservação e manutenção das pontes;
- As espécies florestais mais utilizadas nas construções de pontes; critérios de classificação e definição e uso;
- A existência de fungos e insetos nos elementos estruturais da ponte;
- Nível de degradação dos pilares existentes nas pontes e respectivos teores de umidade;
- Estabilidade estrutural das longarinas sob os rodeiros das pontes; e
- O efeito da ponte nas comunidades que vivem em torno das mesmas.

### **3.2. Caracterização da área**

A expedição técnico-científica de inspeções das pontes de madeira foi realizada na BR-319, nos km 263 e km 271 nas pontes sobre o Igarapé Bandeirão, com 30,00 metros e na ponte sobre Igarapé Beleza, com 24,00 metros de comprimento. A rodovia BR-319, oficialmente é denominada, Rodovia Álvaro Maia ou denominada Rodovia Manaus - Porto Velho e liga as cidades de Manaus no estado do Amazonas e Porto velho no estado de Rondônia, possui 885 km e diversas. As pontes estão localizadas em uma localidade de difícil acesso com poucas comunidades estabelecidas entre as cidades de Manaus e Humaitá.

O relatório também afirma que as pontes localizadas na rodovia Álvaro Maia (BR-319) são imprescindíveis para o deslocamento e bem-estar social das comunidades localizadas entre as cidades de Manaus, AM e Porto Velho, RO. Além disso, permitem o transporte de carga sendo, portanto, necessárias para desenvolvimento econômico da região Amazônica (Paula *et al.*, 2021). Abaixo informações características da área.

Figura 5 – Mapa de localização das pontes estudadas



Fonte: O autor.

### 3.2.1. Informações geoclimatológicas

Situado em uma área de baixa latitude e inserida no bioma amazônico o clima da região no entorno da BR-319 é do tipo Equatorial quente e úmido e caracterizado pelos elevados índices de umidade relativa do ar e temperaturas altas durante o ano, inclusive no inverno. (IBGE)

A região onde se encontram as pontes em estudo estão localizadas sobre uma área de vegetação presente no entorno da BR - 319 denominada de Floresta Ombrófila densa de terras baixas, ou seja, uma floresta nativa e bem desenvolvida com elementos dominantes formando um dossel denso e homogêneo em torno de 20 a 25 metros de altura que estão presentes até a região sul do Amazonas, chegando a alcançar regiões próximas dos municípios de Humaitá e Porto Velho. (IBGE)

A geomorfologia da região é caracterizada pela ocorrência de grandes interflúvios tabulares com topografia muito plana e altitudes variando entre 30 e 50 m. Por ser um solo altamente instável por ocorrências severas das chuvas amazônicas apresentam composição siltosa, entretanto, dado ser um solo plano a região é comumente usada para a agricultura e silvicultura. (IBGE)

As temperaturas locais no entorno dos objetos de estudo ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 22 °C a 32 °C e raramente é inferior a 19 °C ou superior a 36 °C, entretanto, a sensação térmica em algumas épocas do ano diante da pressão exercida pela floresta chega acima de 40°. Com clima da região é tropical chuvoso, atinge uma precipitação média anual de 2193,6 mm (INMET, 2009).

### 3.3. Levantamento das variáveis

A avaliação dos objetos em questão foi realizada “in loco” com cada especialista, conforme a expedição técnico-científica que será apresentada mais adiante e cada especialista envolveu sua própria metodologia, por ser um estudo complexo com coleta própria, numerando todas as peças da ponte de maneira que fosse possível cruzar mais de uma informação sobre o mesmo elemento estrutural. Neste sentido, a metodologia das análises e avaliações foi realizada para identificar:

- Nível de proteção das pontes contra a degradação natural;
- Espécies de madeira utilizadas e local de projeto que foi aplicada;
- Presenças de insetos xilófagos e fungos nas pontes;
- Grau de desgastes dos pilares;
- Tipos de elementos de ligação e os estados de degradação;
- Provas de cargas utilizando-se estação total e demais aparelhos; e
- Evidências de efeitos da existência da ponte na comunidade do seu entorno.

A expedição técnica científica de 2021 concentrou-se no levantamento de fungos macroscópicos nas pontes sobre Igarapé Beleza (271,52) e Igarapé Bandeirão (Km 263,24) na rodovia Álvaro Maia (BR 319, Estado do Amazonas), durante o período de 11 a 15 de agosto de 2021. O objetivo principal era identificar as variáveis nocivas e mais prevalentes nas estruturas de madeira das pontes, especialmente aqueles capazes de causar danos significativos ou comprometer a integridade estrutural. Abaixo as etapas da expedição:

- Coleta de Dados Preliminares;
- Prova de Carga e Limitações Identificadas;
- Medições de Deformação e Avaliações Visuais; e
- Inspeção Visual e Coleta de Amostras de Madeira. A expedição destacou que, apesar das limitações identificadas, a coleta de dados e geração de resultados preliminares teve sucesso.

### **3.4. Identificação das espécies utilizadas**

A expedição técnico-científica realizou a identificação da madeira com lupa manual nas amostras retiradas das diversas partes da ponte. A identificação das madeiras se deu através da análise da morfologia dos elementos celulares nas faces estruturais da madeira. Na face transversal: observou-se a disposição dos poros, tipo de parênquima, largura dos raios, presença de camadas de crescimento; na face tangencial a disposição estratificada ou não dos raios. Observações visuais foram realizadas para identificação da presença de alborno, casca, medula, madeira de tensão nas peças utilizadas.

A análise macroscópica foi utilizada inicialmente para identificação das espécies de madeiras utilizadas. No total foram identificadas 12 (doze) espécies distribuídas nas diversas partes estruturais da ponte. A Tabela 3 mostra as espécies encontradas nas estruturas da ponte estudada e identificadas no estudo.

Tabela 3 - Identificação das espécies usadas nas diversas partes da ponte

Possíveis Nomes	Nome científico	Família
1. Amescla	<i>Trattinickia sp.</i>	Burseraceae
2. Catanha-sapucaia	<i>Lecythis sp.</i>	Lecythidaceae
3. Cumarú	<i>Dipteryxsp</i>	Leguminosa
4. Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Goupiaceae
5. Faveira amargosa	<i>Vatairea guianensis</i>	Febaceae
6. Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Caesalpinaceae
7. Maçaranduba	<i>Manilkara sp.</i>	Sapotaceae
8. Mulateiro	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Rubiaceae
9. Guariuba	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae
10. Sucupira	<i>Andira parviflora</i> Ducke	Leguminosa
11. Tauari	<i>Eschweilera sp. / Couratari sp</i>	Lecythidaceae
12. Uxirana	<i>Saccoglottis sp.</i>	Sapotaceae

Fonte: Paula *et al.*, (2021).

### 3.5. Equipamentos utilizados na coleta de dados

O equipamento empregado foi o *Stress Wave Time* modelo 239 A fabricado pela *Metriguard*. Esse aparelho mede o tempo de propagação de ondas de tensão em microssegundos, sendo portátil e alimentado por uma bateria de 9 volts. Consiste em uma unidade leve contida em uma caixa apropriada, equipada com um martelo para induzir impactos na madeira e gerar ondas de tensão. O dispositivo possui um acelerômetro de partida para iniciar a contagem do tempo até a chegada à outra extremidade da peça, onde há um acelerômetro de parada. A partir da velocidade da onda de tensão, é possível obter informações sobre a qualidade e a integridade do material:

Figura 6 – Modelo de aparelho *Stress Wave Time*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 7 – Estação total eletrônica, prisma e tripé:



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Para a medição da resistência interna da madeira foi utilizado um equipamento elétrico mecânico chamado resistógrafo. O Resistógrafo (Figura 5) é um equipamento que mede a resistência à perfuração da madeira à penetração de uma broca de 3 milímetros de diâmetro aplicada a uma velocidade constante.

A resistência à perfuração é captada por um dispositivo mecânico sensível que a transfere para uma unidade computadorizada ou a um gráfico impresso em papel especial no próprio aparelho. As diferenças no torque requerido para perfurar a madeira são registradas, sendo que um torque menor é requerido para perfurar através da madeira deteriorada, sendo caracterizada por uma queda abrupta na resistência à perfuração. Foi desenvolvido na Alemanha, para a avaliação de postes e outras estruturas de madeira, para a prospecção interna de um caule possibilitando a identificação de ocos, podridões, fendas, furos de insetos e outros eventos comuns em árvores (FREITAS, 2009).

A prova de carga foi realizada com uso de um caminhão Mercedes *Benz Atron 2729k 6x4*, com carroceria tipo caçamba, carregado na cota máxima com areia. Para a mensuração dos deslocamentos foi utilizado uma estação total eletrônica de topografia Marca *Topcon* modelo *GTS 239W*, semelhante a apresentada na figura 3. Para apoio do equipamento foi utilizado um tripé específico para estação total e para a medição do deslocamento foi utilizado um suporte com prisma, um acessório da estação total.

O deslocamento gerado pelo carregamento do veículo foi mensurado através do uso de uma estação total onde a visada foi apontada para o prisma que foi

posicionado abaixo das longarinas da ponte, preso a um parafuso tipo gancho, no centro do vão da longarina. Antes do posicionamento do caminhão sobre a ponte, foi realizada a mensuração da cota topográfica da longarina sem nenhum carregamento, e após o posicionamento do caminhão, foi realizada a medição novamente, e através da diferença entre as cotas topográficas mensuradas foi possível obter o deslocamento de cada longarina. Foram realizados dois carregamentos e, portanto, duas medições para cada longarina, sendo que o caminhão foi posicionado sobre a ponte duas vezes.

Figura 8 – Medição do deslocamento das longarinas com a estação total e resistência interna



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

O método utilizado para a realização da prova de carga foi através da medição dos deslocamentos relativos das longarinas localizadas abaixo dos rodeiros da ponte. Para isso foi posicionado na região mais solicitada, ou seja, no centro do vão das longarinas, um veículo tipo de 30 toneladas.

O método de medição da resistência interna da madeira com o uso do resistógrafo consiste em posicionar o equipamento no ponto a ser medido e acionar o mecanismo de tal forma que a broca do equipamento adentre na madeira enquanto é feito o registro através de um gráfico que é impresso internamente no aparelho. Este gráfico apresenta pontos mais elevados quando a perfuração é mais resistente e pontos menos elevados quando há vazios ou resistência muito baixa para a perfuração com a broca.

### **3.6. Área de Manejo em Pequena Escala**

O PMFSPE está localizado no PDS Morena gerido pelo INCRA. Possui área de 48.186,8406 ha e está situado no Ramal da Morena, margem esquerda do Rio Uatumã, município de Presidente Figueiredo, Amazonas. Os limites do PDS Morena: ao Norte fronteira com o Estado de Roraima; à Leste com os municípios de Urucará e São Sebastião do Uatumã; ao Sul com os municípios de Itapiranga, Rio Preto da Eva e Manaus e a Oeste com o município de Novo.

Para a verificação da viabilidade de uma área de empréstimo de madeira foi utilizado dados de um plano de manejo florestal em pequena escala. Foram 10 ha inventariados com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 20 cm. Todos os indivíduos foram identificados, plaqueteados com placas de alumínio e linha de nylon 0,90 mm. Todas as árvores inventariadas tiveram a sua coordenada geográfica registrada por meio de um GPS Garmin 62S (Sistema de Posicionamento Global).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Área de Empréstimo de Madeira – Manejo Florestal

A pesquisa resultou em informações robustas o que evidencia a possibilidade da implantação de uma área de manejo de pequena escala para empréstimos de espécies para a construção e manutenção de pontes na Amazônia. A escolha de áreas de manejo florestal destinadas à construção e manutenção de pontes demanda uma abordagem técnica e científica. A viabilidade incorpora princípios e fundamentos técnicos, ambientais e socioeconômicos.

A localização geográfica da área de manejo em relação às atividades de construção e manutenção das pontes é crucial para a minimização dos custos logísticos. A presença de infraestrutura, como estradas e rios navegáveis, desempenha um papel fundamental na facilitação do transporte de materiais (Barbosa *et al.*, 2017).

O estudo encontrou recomendações e diretrizes favoráveis para a criação de uma área de manejo florestal de pequena escala. Essa área de manejo irá contribuir para a conservação da estrutura da floresta com base na intensidade de exploração compatível com a capacidade de suporte ambiental da floresta. Para a construção da ponte de madeira de 30 metros, situada no Igarapé Beleza da BR-319 foram necessários 138,264 m<sup>3</sup> de madeira serrada de diferentes espécies, o que equivale a aproximadamente 400 m<sup>3</sup> de madeira em tora. Para fins de cálculo estrutural é necessário considerar a densidade da madeira por m<sup>3</sup> de 750 Kg/m<sup>3</sup> conforme NBR - 7190 (2022).

Para a verificação da viabilidade foram analisados o inventário florestal da PDS Morena. Por se tratar de uma categoria exclusiva do estado do Amazonas, a intensidade máxima de exploração de madeira em tora permitida é de 25 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> em relação à área de efetiva exploração não podendo exceder a 0,86 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Resolução SDS nº 007, de 21 de junho de 2011). O plano analisado tem uma volumetria autorizada de 250 m<sup>3</sup> de madeira em tora o equivale a 87,5 m<sup>3</sup> de madeira serrada. Diante disso, para a construção de uma ponte de madeira de 30 metros são necessários uma área efetiva de exploração de aproximadamente 16 ha.

## 4.2. Seleção de espécies

A análise das características das espécies envolve propriedades como densidade, resistência mecânica, durabilidade natural e trabalhabilidade. O estudo baseou-se nas espécies florestais que atendem a tais critérios, conforme especificado pela norma NBR – 7190:2022 (Projeto de estruturas de madeira). No Quadro 1 é apresentado uma proposta de seleção de possíveis espécies arbóreas que estejam presentes na região visando a manutenção e construção de pontes.

N.º	Classe	Nome popular	Nome científico	Critérios de seleção
1.	D20	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Resistência mecânica e durabilidade.
2.	D20	Marupá	<i>Simarouba sp.</i>	Resistência mecânica, disponibilidade regional.
3.	D20	Sucupira	<i>Andira parviflora</i> <i>Ducke</i>	Resistência mecânica, durabilidade.
4.	D20	Guarapeira	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Resistência mecânica e durabilidade.
5.	D20	Ucuúba	<i>Virola spp.</i>	Resistência mecânica, durabilidade natural.
6.	D20	Guariuba	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Resistência mecânica e resistente a insetos e fungos.
7.	D20	Uxirana	<i>Saccoglottis sp.</i>	Resistência mecânica, disponibilidade regional.
8.	D30	Cedro Amazonense	<i>Cedrela sp.</i>	Resistência mecânica, disponibilidade regional.
9.	D40	Louro Verde	<i>Ocotea sp..</i>	Resistência mecânica e trabalhabilidade.
10.	D40	Cumarú	<i>Dipteryx sp.</i>	Resistência mecânica, durabilidade.
11.	D50	Louro Preto	<i>Ocotea sp.</i>	Resistência mecânica e

				durabilidade natural.
12.	D60	Angelim Ferro	<i>Hymenolobium sp.</i>	Alta Resistência mecânica, durabilidade natural, manejo sustentável.
13.	D60	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>	Alta Resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade.
14.	D60	Itaúba	<i>Mezilaurus itaúba</i>	Alta Resistência mecânica, durável e pode ser obtida de manejo sustentável.
15.	D60	Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	Alta Resistência mecânica, durabilidade natural.
16.	D60	Maçaranduba	<i>Manilkra sp.</i>	Alta Resistência mecânica, durabilidade natural.
17.	D60	Mandioqueira	<i>Qualea paraensis</i>	Alta Resistência mecânica e durabilidade natural.
18.	D60	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	Alta Resistência mecânica, durabilidade natural, abundância regional.

Quadro 1 - Seleção final de espécies

#### 4.2.1. Seleção de espécies – Plano de Manejo PDS Morena

A Área de Desenvolvimento Sustentável (PDS) Morena, previamente inventariada, emerge como um território propício para empreendimentos voltados à manutenção e construção de pontes na Amazônia. Este espaço, criteriosamente avaliado sob os parâmetros técnicos de engenharia civil e florestal, atende meticulosamente às demandas fundamentais para a seleção de espécies arbóreas que se destacam na execução dessas estruturas vitais.

Os critérios estratégicos adotados na escolha das espécies para empréstimos na PDS Morena estão ancorados em requisitos essenciais, como capacidade física e mecânica, resistência a fungos, insetos e umidade, sustentabilidade, trabalhabilidade, durabilidade, além de considerações relacionadas à viabilidade

técnica e ambiental. Este rigoroso processo de seleção alinha-se às normativas da – 7190:2022 (Projeto de estruturas de madeira), conferindo respaldo técnico e consistência ao projeto.

Figura 9 – Área do PDS Morena em Presidente Figueiredo, AM.



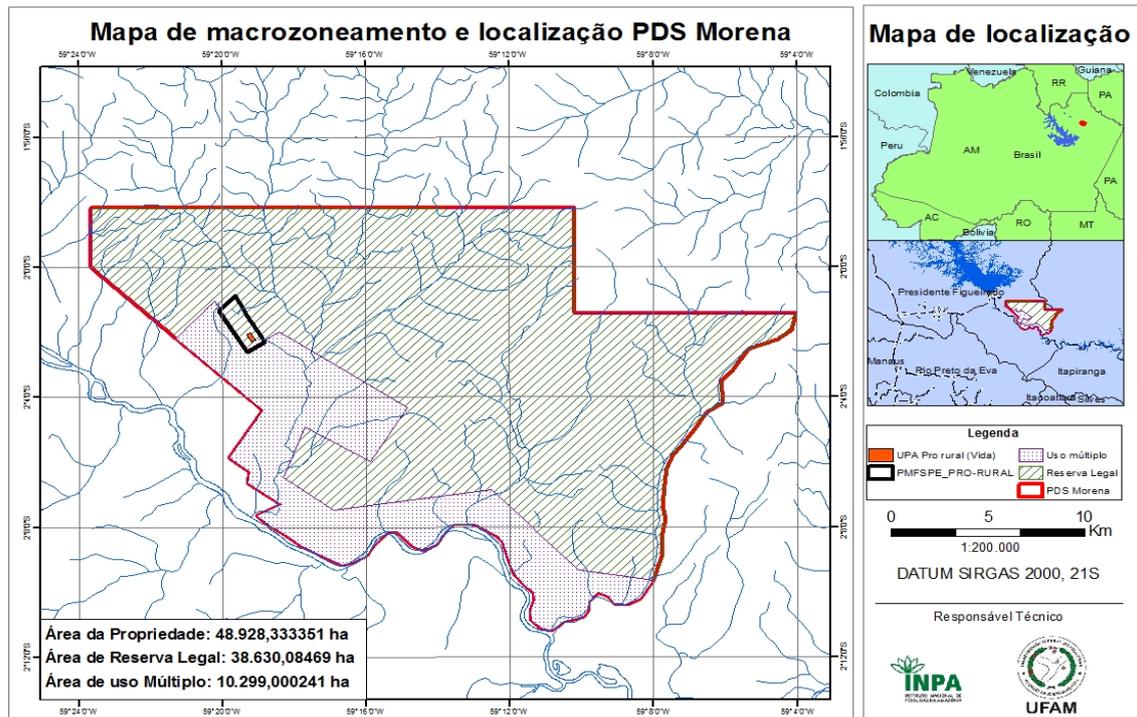
Fonte: Programa Pró Rural / FAPEAM / INPA.

No âmbito da engenharia civil, a PDS Morena destaca-se pela adequação de suas características topográficas e geotécnicas para a implantação de pontes, proporcionando condições propícias para fundações sólidas e estruturas resiliente. A utilização de termos técnicos como carga de serviço, resistência à compressão, e coeficientes de segurança são aplicados com precisão, garantindo a integridade e estabilidade das pontes a serem edificadas.

No campo florestal, a análise das espécies arbóreas existentes na PDS Morena baseia-se em propriedades cruciais, tais como densidade, resistência mecânica, durabilidade natural e trabalhabilidade. A seleção criteriosa dessas espécies não apenas assegura a qualidade estrutural das pontes, mas também respeita os princípios de sustentabilidade ambiental, promovendo práticas que conciliam o desenvolvimento humano com a preservação dos recursos naturais

Este planejamento minucioso visa não apenas a eficiência construtiva, mas também a preservação do ecossistema circundante, contribuindo assim para a construção de pontes que se integram harmoniosamente ao contexto ambiental e atendem aos mais elevados padrões de engenharia civil e florestal.

Figura 10 – Mapa de macro zoneamento e localização PDS Morena.



Fonte: Programa Pró Rural / FAPEAM / INPA.

#### 4.2.2. Vantagens e Desvantagens de seleção de espécies

A seleção das espécies de madeira para a construção de pontes envolve uma avaliação criteriosa, considerando diversos fatores com implicações significativas. Os impactos ambientais resultantes da exploração florestal para obtenção de material de construção são cruciais, demandando a adoção de práticas de manejo florestal sustentável para minimizar a perda de biodiversidade e a degradação ambiental (Barbosa *et al.*, 2017). Além disso, a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos, que varia entre as espécies, deve ser cuidadosamente ponderada, pois pode influenciar diretamente a durabilidade da ponte diante de condições adversas (Filho *et al.*, 2018).

Os custos associados às espécies escolhidas também desempenham um papel crucial no orçamento da construção da ponte. Espécies valorizadas por suas características estruturais específicas podem ser mais dispendiosas, refletindo sua disponibilidade limitada no mercado (Lopes *et al.*, 2020). Além disso, as restrições regulatórias relacionadas ao uso de determinadas espécies podem impor limitações

à seleção, exigindo alternativas que estejam em conformidade com os requisitos legais vigentes (Barbosa *et al.*, 2017).

A degradação por fungos e pragas representa uma preocupação constante, mesmo com uma seleção criteriosa de madeira. Medidas de controle e manutenção são necessárias para preservar a integridade estrutural ao longo do tempo (Rocha, 2019). Ao considerar a utilização de madeira em comparação com outros materiais de construção, como concreto e aço, a decisão torna-se multifacetada. Embora a madeira apresente vantagens ambientais, como sua origem renovável, também apresenta desvantagens, como variação nas propriedades e a necessidade de tratamentos preservativos (Sandoval *et al.*, 2019). A avaliação comparativa, portanto, deve ser abrangente, incorporando considerações ambientais e custos para promover práticas sustentáveis e eficazes na construção de pontes na região amazônica.

A fabricação de materiais de madeira requer menos energia em comparação com a produção de concreto e aço, o que pode resultar em menor emissão de carbono. Abaixo a comparação entre materiais:

<b>Material</b>	<b>Consumo de energia</b>	<b>Emissão de CPO2</b>	<b>Poluição do Ar</b>	<b>Poluição da Água</b>	<b>Resíduos Sólidos</b>	<b>Impacto Ambiental</b>
Madeira	X	X	X	X	X	X
Aço	2,4x	1,45x	1,42x	1,20x	1,36x	1,16x
Concreto	1,7x	1,81x	1,67x	1,9x	1,96x	1,97x

Quadro 2 - Consumo de energia, emissão poluente por material, Barbosa, (2014)

<b>Material</b>	<b>Energia Embutida</b>
Madeira mole seca em estufa	3,4 MJ/kg
Madeira dura seca em estufa	2,0 MJ/kg
Madeira dura seca ao ar livre	0,5 MJ/kg
Compensado	10,4 MJ/kg
PVC	80,0 MJ/kg

Quadro 3 - -- Relação de consumo de energia por material, Barbosa, (2014)

Material	Energia Embutida
Cimento	5,6 MJ/kg
Bloco de Concreto	1,4 MJ/kg
Vidro	12,7 MJ/kg
Aço galvanizado	38,0 MJ/kg
Alumínio	170,0 MJ/kg

Quadro 4 - Quantidade de energia embutida por material, Barbosa (2014)

As pontes de madeira requerem manutenção regular, como tratamentos de preservação e inspeções, para garantir sua integridade e durabilidade (Maggi, 2020, pg. 52). A madeira pode ter limitações em termos de resistência e capacidade de carga em comparação com o concreto e o aço. Pontes de madeira podem exigir um design mais cuidadoso e restrito em relação às cargas que podem suportar.

A madeira é mais suscetível a danos causados por intempéries, como umidade, fungos e insetos, contudo um projeto que contemple medidas ativas de proteção da estrutura pode prolongar a vida útil da estrutura.

### 4.3. Propriedades físicas e mecânicas das espécies identificadas

As espécies de madeira encontradas e identificadas nas estruturas das pontes estudadas em sua maioria foram empregadas de maneira inadequada contribuindo para os problemas de ataque microbiológico. Muitas peças encontradas na estrutura da ponte são da região do alburno da madeira que é parte mais externa, ativa, funcional, mais nova e com baixa resistência ao ataque de microrganismos xilófagos. A utilização dessa parte faz com que a sua vida útil diminua significativamente. Outras peças empregadas na ponte são da região do cerne da madeira que apresenta boa durabilidade e alta resistência ao ataque de microrganismo. Durante a vistoria foram encontradas peças em deterioração, presença de fungos e diferentes espécies nas diferentes partes da ponte (Paula *et al.*, 2021).

As espécies dos gêneros *Dipteryx* sp.; *Eschweilera* e *Manilkara* numa estrutura denominada “transversina”, foram às únicas que não apresentaram nenhuma deterioração visível nem evidência que demonstrasse ataque as

propriedades mecânicas da madeira. O gênero *Eschweilera* está entre os mais abundantes na floresta amazônica (Amaral *et al.* 2014) o que pode significar a viabilidade do manejo florestal e na manutenção e construção de pontes de madeira. O gênero *Hymenaea* e a espécie *Andira parviflora* na estrutura “balancim” não apresentaram ataque por organismos xilófagos, mas apresentaram rachaduras que evidenciam menos resistência mecânica ao longo do tempo de uso.

Para a construção pesada o cerne da madeira do gênero *Saccoglottis sp.* é resistente e recomendada. Na inspeção foi identificado peças de madeira dessa espécie na estrutura “contraventamento” com parte de alburno já deteriorada e com exposição do parafuso nessa região. Na estrutura “longarina” foi encontrada peças de madeira do gênero *Lecythis* que apresentava a região de alburno com ataque fúngico e o restante do cerne ainda intacto.

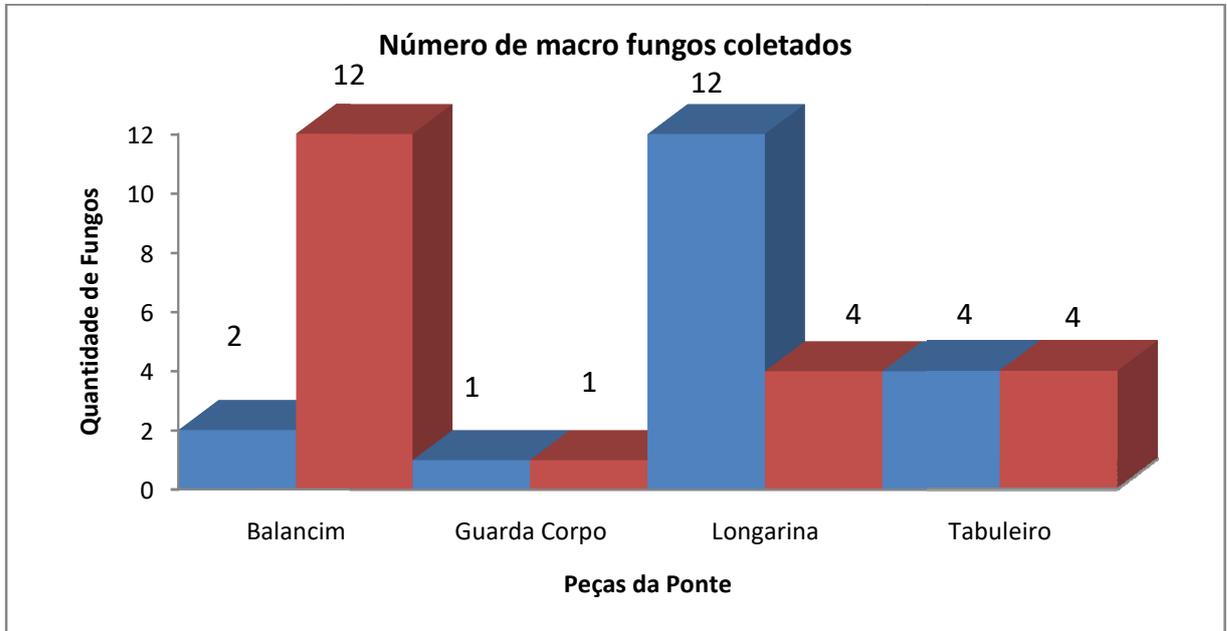
As estruturas da ponte utilizaram madeiras de diferentes espécies quando deveriam usar as mesmas espécies para estrutura similar. Por exemplo, na estrutura “balancim” foram encontrada e identificada cinco madeiras diferentes. De modo geral, todas as madeiras que utilizaram a região do alburno apresentaram deterioração. A identificação, classificação e o controle de qualidade das espécies a serem recomendadas são importantes para evitar a presença de medula, presença de casca e alburno; grã cruzada (se for usada para suportar grande resistência); rachamento no topo que diminui a resistência mecânica e serve como entrada para organismos xilófagos.

#### **4.3.1. Desafios na Durabilidade de Pontes Amazônicas: Impacto dos Fungos Lignocelulolíticos**

A durabilidade e resistência das madeiras em pontes na Amazônia, onde o clima quente e a alta pluviosidade propiciam o ataque de fungos lignocelulolíticos. A vida útil das estruturas de madeira requer a utilização de madeiras altamente resistentes, preservação, inspeção e manutenção periódica. Durante a expedição, 95 fungos lignocelulolíticos foram identificados nas pontes, principalmente da família *Polyporaceae*, com destaque para os gêneros *Lenzites*, *Hexagonia*, *Perenniporia*, *Pycnoporus*, *Trametes* e *Tyromyces*. Diversos fungos, incluindo *Earliella corrugata*, *Panus sp.*, *Pycnoporus sanguineus* e *Schizophyllum commune*, estão associados a

danos específicos nas estruturas de madeira. A degradação foi mais severa nos balancins, guarda-corpos e longarinas, com a umidade dos igarapés contribuindo para o crescimento fúngico.

Figura 11 - Número de Macro fungos coletados nas estruturas das pontes



Fonte: Paula (2021)

Na Figura 12 abaixo podemos observar algumas das degradações nas imagens A e B:

Figura 12 – Aspecto geral da ponte do Igarapé Beleza



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

A Figura 13 abaixo caracteriza uma peça confeccionada com parte da casca e alburno. A Figura 13 mostra a situação onde a peça de madeira foi feita com parte de casca e alburno (1a). Esta peça substituiu outra que já sofrerá deterioração (1b) e era composta quase que exclusivamente de alburno.

Figura 13 – Pilares em avaliação



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Segundo Paula, *et al.*, 2021 a peça substituta (1a) foi identificada como sendo do gênero *Trattinickia*. Novamente comete-se o erro de se utilizar madeira com parte do alburno e o mais grave com parte da casca. Percebe-se nitidamente que a parte mais externa da peça já apresenta sinal de deterioração (seta1), enquanto que a parte mais interna (cerne) se mostra mais sã (seta2). Esta parte central apresenta uma alta resistência biológica em função dos extrativos existente nesse tecido xilêmico, que lhe confere uma boa resistência ao ataque de organismos xilófagos principalmente ao ataque de cupins.

A Figura 14 abaixo mostra uma peça de madeira identificada como sendo *Goupia glabra*. É uma madeira de alta densidade (pesada) e que é indicada para estrutura de pontes em função da sua alta resistência mecânica. Entretanto, a madeira utilizada foi cortada inadequadamente quando se incluiu a medula na peça o que ocasionou o aparecimento desse defeito comumente denominado de “ocada”.

A medula é vestígio deixado no centro do tronco pela estrutura apical a partir da qual se desenvolve o tronco da planta.

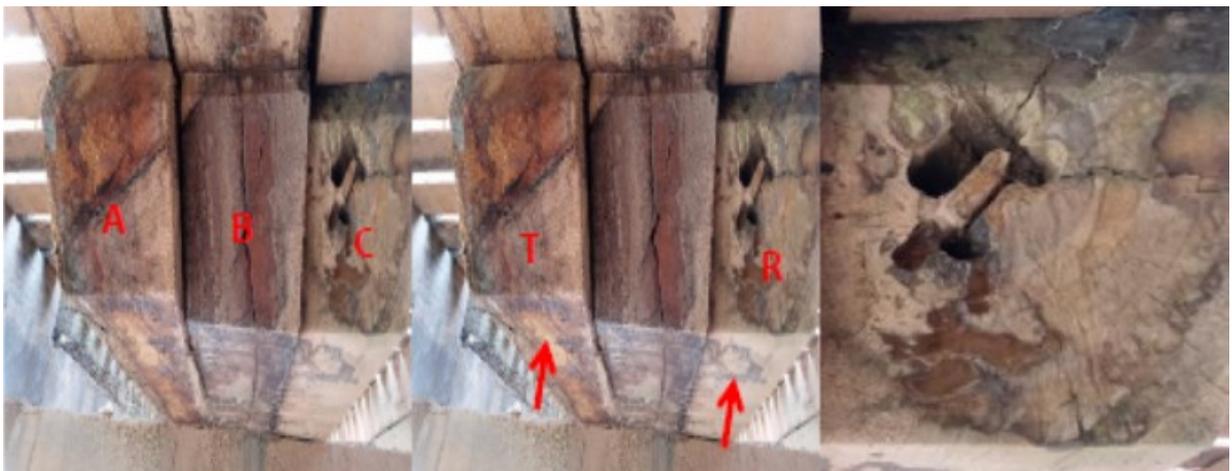
Figura 14 – Peça de madeira com defeito “ocada”



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

A Figura 15 abaixo apresenta três peças da estrutura “balancim”. Três espécies diferentes foram identificadas nesta estrutura com irregularidades estruturais.

Figura 15 – Três madeiras diferentes na estrutura balancim



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

a) *Andira parviflora*; b) *Hymenaea sp*; e c) Ainda não identificada. Nas espécies a) e b) não se encontram deterioração severa sendo visivelmente notado que são feitas inteiramente de cerne.

A madeira desempenha um papel fundamental na construção de pontes, especialmente na região amazônica. No entanto, vulnerabilidades estruturais, como fissuras e fraturas, podem comprometer a integridade dos componentes de madeira das pontes. Segundo Paula *et al.* (2021), focando especificamente nas rachaduras

observadas na madeira do tipo B e analisando as implicações de padrões de grãos irregulares e variações na resistência da madeira é possível deduzir:.

#### I - Análise da Madeira Tipo B:

A madeira tipo B apresentou uma rachadura significativa, chamando a atenção devido ao corte específico (chanfrado na parte superior). A análise revela que a força total estava concentrada na face radial, perpendicular às fibras. Dois aspectos críticos foram identificados:

#### II - Grão Irregular (Reverso):

A presença de grão irregular, especialmente o grão reverso, é identificada como uma característica típica de árvores com fibras orientadas em várias direções em relação ao eixo longitudinal. Esse "defeito" leva a variações nos ângulos microfibrilares e ao desenvolvimento de tensões internas, afetando adversamente as propriedades de resistência da madeira.

#### III - Fraqueza na Face Radial:

A resistência da madeira é menor na face radial em comparação com a face tangencial. Essa fraqueza radial resulta no deslizamento das fibras na direção tangencial, causando deformação a um ângulo de aproximadamente 60° em relação à direção das fibras e contribuindo para rachaduras longitudinais. O tipo de grã e suas propriedades de resistência desempenham um papel crucial na garantia da integridade estrutural da madeira sob estresse.

#### IV - Análise de Diferentes Espécies de Madeira na Estrutura "Balancim":

Duas espécies diferentes de madeira, *Eschweilera sp.* e *Manilkara sp.*, foram identificadas na estrutura "balancim". O gênero *Manilkara* é conhecido por sua alta durabilidade natural contra organismos xilófagos e resistência moderada a cupins de madeira seca. A madeira de *Eschweilera* também é considerada resistente a organismos xilófagos e exibe propriedades de resistência elevadas. Nenhum defeito foi observado nessas peças de madeira, destacando sua adequação para a construção de pontes.

#### V - Defeitos na Madeira e Considerações de Processamento:

Paula *et al.* (2021) destacaram vários defeitos na madeira, incluindo nós, rachaduras, fendas, gretas, presença de alburno, ataques fúngicos e de insetos, e problemas relacionados ao processamento. Defeitos como bordas quebradas, variações nas dimensões transversais, empenamento, encanoamento, encurvamento, arqueamento, torção foram observados. O surgimento de retratibilidade do material durante a secagem foi identificado como uma preocupação significativa. É possível compreender as características da madeira e as considerações estruturais na construção de pontes de madeira. As percepções de Paula *et al.* (2021) oferecem orientações valiosas para abordar defeitos na madeira e selecionar espécies apropriadas para garantir a longevidade e a resiliência dos componentes de pontes de madeira nas desafiadoras condições ambientais da região amazônica.

Figura 16 – Situação da estrutura Guarda-rodas da ponte Igarapé Beleza



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 17 – Balancim da Ponte Igarapé Beleza atacada por *Pycnoporussanguineus*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 18 – Situação da Longarina da Ponte Igarapé Beleza atacada por *Earliellacorrugata*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 19 – Pilar substituído da Ponte Igarapé Beleza atacada por *Phellinus* sp.



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 20 – Guarda-rodas da ponte Igarapé Bandeirão atacada por *Hexagonahydroides*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 21 – Estrutura Guarda-rodas atacada por *Pycnoporus sanguineos*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 22 – Aspecto da longarina e balancim da ponte Igarapé Bandeirão atacada por fungos



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 23 – Balancim da ponte Bandeirão degradada por fungos *corticoides linocelulolíticos*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 24 – Estrutura Guarda-rodas da ponte Igarapé Bandeirão atacada por *Trametes sp.*



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 25 – Pilares da ponte Ig. Bandeirão com degradação severa causada por fungos e cupins



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

Figura 26 – Exemplos de rachaduras de topo



Fonte: (Paula *et al.*, 2021)

### 4.3.2. Capacidade de resistência

A Amazônia possui uma vasta diversidade de espécies arbóreas, e nem todas apresentam as características desejadas para a construção de pontes, como resistência mecânica adequada. Ao avaliar a capacidade de resistência dessas espécies (compressão, tração, flexão e cisalhamento), com a metodologia *BIM*, é possível identificar espécies mais adequadas para o uso na construção de pontes, levando em consideração os critérios técnicos. A Identificação das espécies arbóreas disponíveis na região amazônica e suas propriedades de resistência; aplicação da metodologia *BIM* para modelagem das espécies e avaliação de sua adequação estrutural para pontes; análises das espécies que melhor se adaptam aos requisitos de construção de pontes, levando em consideração as classes de resistência e riscos patológicos, são essenciais para o projeto.

O estudo sobre a avaliação da capacidade de resistência das espécies arbóreas da Amazônia com a metodologia *BIM* (*Building Information Modeling*) para estruturas de pontes, considerando os ensaios de compressão, tração, flexão e cisalhamento, é de grande relevância para a área de engenharia civil e para o desenvolvimento sustentável da região.

A avaliação da capacidade de resistência das espécies arbóreas com a metodologia *BIM* permitiu estimar de forma mais precisa e eficiente a resistência desses materiais, considerando diferentes tipos de esforços. Isso contribui para o dimensionamento mais adequado das estruturas de pontes, garantindo sua segurança e durabilidade.

A aplicação da metodologia *BIM* na avaliação da resistência das espécies arbóreas da Amazônia para estruturas de pontes representa uma inovação na área de engenharia civil. Essa abordagem permite a integração de informações em um modelo digital tridimensional, facilitando o planejamento, projeto e monitoramento das estruturas, além de possibilitar a simulação de diferentes cenários e a tomada de decisões mais embasadas. O estudo contribuiu para o avanço do conhecimento científico na área de engenharia civil, especificamente no que diz respeito ao uso de espécies arbóreas da Amazônia em estruturas de pontes. Ao realizar ensaios de resistência e utilizar a metodologia *BIM*, o estudo fornece informações relevantes

sobre as propriedades mecânicas das espécies arbóreas e sua aplicabilidade em projetos de engenharia.

A caracterização das propriedades físicas e mecânicas das espécies arbóreas selecionadas, incluindo a resistência à compressão, tração, flexão e cisalhamento, é uma etapa essencial para compreender o comportamento desses materiais em aplicações estruturais, como na construção de pontes. Algumas das principais informações que podem ser obtidas por meio dessa caracterização são:

(i) Resistência à compressão, tração, flexão e ao cisalhamento:

A resistência à compressão indica a capacidade da madeira suportar cargas aplicadas na direção paralela às fibras. Esse valor é importante para dimensionar os elementos estruturais da ponte que estão sujeitos a esforços de compressão, como pilares e apoios.

A resistência à tração refere-se à capacidade da madeira resistir à força aplicada na direção paralela às fibras. É relevante para elementos estruturais que estão sujeitos a esforços de tração, como cabos de sustentação ou barras tracionadas.

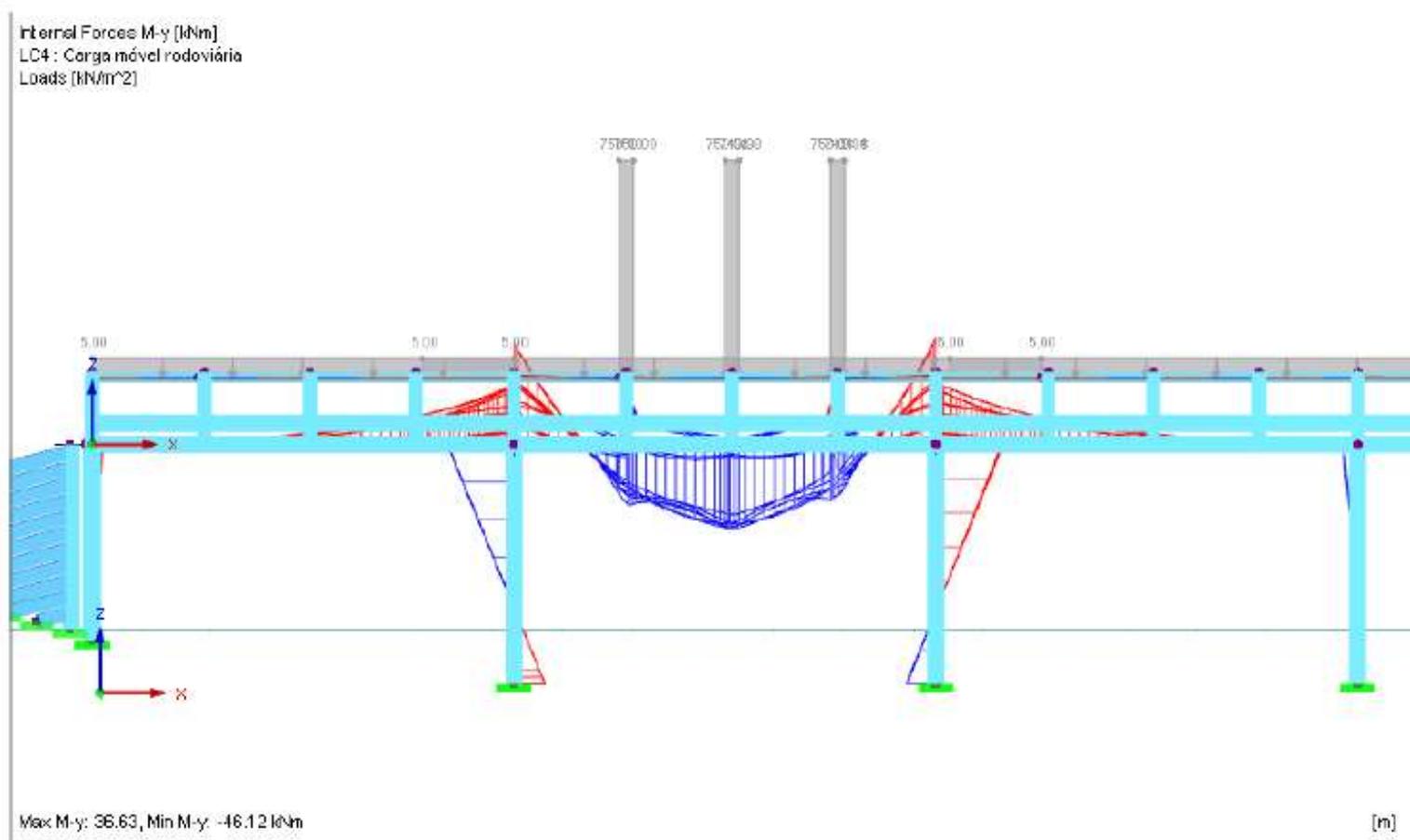
A resistência à flexão é a capacidade da madeira resistir aos esforços de flexão, ou seja, a capacidade de suportar cargas que causam deformação por flexão. É importante para elementos estruturais, como vigas e travessas, que estão sujeitos a esforços de flexão em pontes, longarinas e transversinas.

A resistência ao cisalhamento é a capacidade da madeira resistir à força que tende a cortá-la perpendicularmente às fibras. É relevante para elementos estruturais que estão sujeitos a esforços de cisalhamento, como ligações e conexões entre elementos. Além disso, a caracterização das propriedades físicas e mecânicas também pode incluir informações como a densidade da madeira, a umidade, a estabilidade dimensional, a resistência ao impacto, entre outras.

### 4.3.3. Comportamento estrutural

O BIM é uma metodologia que integra informações geométricas, físicas e funcionais em um modelo digital 3D, facilitando a colaboração entre profissionais envolvidos na construção e manutenção de pontes. O processo de desenvolvimento de modelos BIM para avaliação do comportamento estrutural das espécies arbóreas em pontes envolve diversas etapas, como modelagem geométrica, definição de propriedades mecânicas, consideração de condições de carga, ambiente e normas específicas para pontes de madeira. O uso do BIM permite simular diferentes cenários, identificar pontos de falha, otimizar o projeto e garantir a segurança das estruturas. Essa avaliação é realizada por meio de métodos analíticos, simulações computacionais avançadas e ensaios em laboratório. Aspectos como a capacidade de carga, resistência à fadiga, propriedades mecânicas e estabilidade estrutural são considerados durante o processo de avaliação. Os Apêndices A, B e C apresentam detalhes sobre a confecção e análise da ponte em um software de elementos finitos, pranchas detalhadas do projeto feitas pelo software REVIT, e comportamentos estruturais na metodologia BIM pelo software RFEM5, respectivamente.. Abaixo o comportamento dos esforços:

Figura 27 - Análise BIM (RFEM 5) das envoltórias – Esforço cortante



Fonte: O autor.



#### 4.3.4. Metragem cúbica de madeira a ser extraída e memória de cálculo

PONTE	PEÇA DA ESTRUTURA	SEÇÕES 1 (M)	SEÇÕES 2 (M)	COMPRIMENTO (M)	QTDE TOTAL DE PEÇAS	CÁLCULO 30M <sup>3</sup> CONSTRUÍDO	CLASSES – CATEGORIA	Ec0,medMMPa
	Guarda-Corpo	0,15	0,05	6,00	5	0,225	>= D20 - 1	<10 000 x < 14 500
	Balaustre	0,20	0,20	10,00	25	10,00	>= D20 - 4	<10 000 x < 14 500
	Guarda-rodas	0,30	0,30	6,00	24	12,96	>= D40 - 4	< 14 500 x < 19 500
	Transversina	0,30	0,30	6,00	7	3,78	>= D20 - 4	<10 000 x < 14 500
	Pranchetas	0,20	0,08	6,00	12	1,152	>= D40 - 4	< 14 500 x < 19 500
	Balancim	0,30	0,30	3,00	40	10,80	>= D40 - 4	< 14 500 x < 19 500
	Pilares (Altura > 7m + Alicerce = 7m)	0,30	0,30	14,00	28	35,28	>= D50 - 6	< 16 500 x < 19 500
	Rodeiros	0,20	0,08	6,00	12	1,152	>= D50 - 4	< 16 500 x < 19 500
	Longarinas	0,30	0,30	6,00	24	12,96	>= D50 - 4	< 16 500 x < 19 500
	<b>Total</b>	<b>2,25 M</b>	<b>1,91 M</b>	<b>63,00 M</b>	<b>177 peças</b>	<b>88,248 M<sup>3</sup></b>		
<b>ATERRO E GEOTECNIA</b>	<b>Cortinas</b>	<b>0,20</b>	<b>0,08</b>	<b>10,00</b>	<b>30</b>	<b>4,80</b>	>= D20 - 5	<10 000 x < 14 500
	Linha D'água	0,20	0,08	6,00	2	0,192	>= D20 - 6	<10 000 x < 14 500
	Deslizantes	0,30	0,30	6,00	24	12,96	>= D40 - 5	< 16 500 x < 19 500
	Contraventamento	0,20	0,08	6,00	4	0,384	>= D40 - 5	< 16 500 x < 19 500
	Mão francesa	0,20	0,20	10,00	16	6,4	>= D40 - 4	< 16 500 x < 19 500
	Tirantes transversais	0,20	0,01	10,00	24	0,48	>= D40 - 6	< 14 500 x < 19 500
	Estacas	0,30	0,30	10,00	28	25,20	>= D50 - 5	< 16 500 x < 19 500
	<b>Total</b>	<b>1,40 M</b>	<b>1,05 M</b>	<b>58,00 M</b>	<b>128 peças</b>	<b>50,016 M<sup>3</sup></b>		
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>3,85 M</b>	<b>2,96 M</b>	<b>121,00 M</b>	<b>305 peças</b>	<b>138,264 M<sup>3</sup></b>			

Quadro 5 - Sortimento – Memória de Cálculo. Fonte: O autor (2023)

#### 4.3.5. Cálculo de Peso Próprio

Com base nos dados obtidos *in loco* e conforme quadro 2, Sortimento, memória de cálculo, abaixo o cálculo do peso próprio da ponte tendo como base o peso específico da espécie Cumaru - classe D40 - Madeira seca. Para os 30 metros de ponte temos = 138,264 m<sup>3</sup>;

Atribuindo o peso específico do Cumaru (seca) em 750 kg/m<sup>3</sup>.

Peso Próprio (em kN) = Volume (em m<sup>3</sup>) x Peso Específico (em kN/m<sup>3</sup>)

Peso Próprio (em quilogramas) = Volume (em metros cúbicos) x Densidade (em quilogramas por metro cúbico)

$$\text{Peso próprio} = 138,264\text{m}^3 \times \frac{750\text{kg}}{\text{m}^3} = 103,698\text{kg}.$$

Portanto o peso próprio da ponte é de aproximadamente 104kg,

$$\text{Quando a densidade é de } \frac{750\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

$$\text{Pesp próprio em toneladas força } tf = \frac{104}{9.80665} = 10,57tf.$$

PEÇA DA ESTRUTURA	SEÇÕES 1 (M)	SEÇÕES 2 (M)	COMPRIMENTO (M)	PESO PRÓPRIO Kg
Guarda-Corpo	0,15	0,05	6,00	33,75
Balaustre	0,20	0,20	10,00	300
Guarda-rodas	0,30	0,30	6,00	405
Transversina	0,30	0,30	6,00	405
Pranchetas	0,20	0,08	6,00	72
Balancim	0,30	0,30	3,00	202,5
Pilares	0,30	0,30	14,00	945
Rodeiros	0,20	0,08	6,00	72
Longarinas	0,30	0,30	6,00	405
Cortinas	0,20	0,08	10,00	120
Linha D'água	0,20	0,08	6,00	72
Deslizantes	0,30	0,30	6,00	405
Contraventamento	0,20	0,08	6,00	72
Mão francesa	0,20	0,20	10,00	300
Tirantes transversais	0,20	0,01	10,00	15
Estacas	0,30	0,30	10,00	675
*Considerando 750 Kg/m <sup>3</sup> densidade da classe D40, vide NBR-7190:2022.				

Quadro 6 – Peso próprio da ponte, por peças. Fonte: O autor (2023)

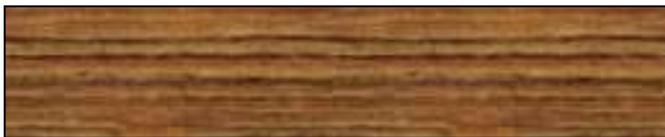
CLASSE	$f_{c0,k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,med}$ MPa	Densidade a 12% Kg/m <sup>3</sup>	kN	tf
D20	20	4	10 000	500	69,132	7,04
D30	30	5	12 000	625	86,652	8,83
D40	40	6	14 000	750	103,698	10.57
D50	50	7	16 500	850	117,499	11.94
D60	60	8	19 500	1000	138,264	14.09

Quadro 7 - Peso próprio da ponte para 30 metros construída. Fonte O autor (2023)

#### 4.3.6. Cálculo de verificação dos atendimentos das solicitações e tensões

Dados geométricos da peça (longarina):

Longarina



$h = 0,30m \times 0,30m$

$b = 6,00m$

##### Área da Seção Transversal da Longarina (A):

A área da seção transversal da longarina é dada pela multiplicação da largura (b) pela altura (h) da longarina:  $A = b \times h$ .

$$A = 6,00m \times 0,30m \times 0,30m = 0,54m^2.$$

##### Cálculo do Momento de Inércia (Iz):

O momento de inércia (Iz) é calculado usando a fórmula para um retângulo:

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12I_z} = \frac{6m \times 0,30m^3}{12}; I_z = 0,0135m^4$$

##### Ações de Esforços Solicitantes e Resistência de Cálculo:

Peso Próprio da longarina empregando  $g = 10m/s^2$ :

$gk =$  Peso Específico x Aceleração da Gravidade

$$gk = \left(\frac{40kN}{m^3}\right) \times \left(\frac{10m}{s^2}\right) = 400kN/ms^2.$$

*Carga permanente (gk) com carga accidental:*

$$gk = gk + \frac{1,25kN}{m} \text{ (valor característico)}$$

$$gk = \frac{400kN}{m} + 1,25 \frac{kN}{m} = 401,25 \text{ kN/m}$$

### **Momento Fletor Máximo:**

O momento fletor máximo (Mfmax) é calculado usando a fórmula:

$$Mfmax = 1,4 \times (\text{carga permanente}) \times \text{vão livre.}$$

*Assumindo um vão livre de 6 metros.*

$$Mfmax = 1,4 \times \left( 401,25 \frac{kN}{m} + \frac{1,25kN}{m} \right) (6m)^2 =$$

$$1,4 \times 402,5 \frac{kn}{m} \times 36 \text{ m}^2 = 20.142kn.m$$

### **A tensão normal ( $\sigma$ ) é calculada como:**

$$\text{Tensão} = Mfmax/Iz.$$

$$\text{Tensão} = \frac{20.142kNm}{0,0135m^4} = 1.5147Mpa$$

### **Verificação da Segurança em Relação ao Estado Limite Último:**

Vamos verificar se Sd (solicitação de projeto) é menor ou igual a Rd (resistência de cálculo):

$$Sd = \text{Tensão Máxima} = 1.5147Mpa$$

$$Rd = \text{Coef. de Compressão e Resistência} \times Fc0d$$

$$Fc0d = 0,7 \times 40 \text{ Mpa} = 39,2 \text{ Mpa} = \frac{39200Kn}{m^2}$$

Como  $Sd = (1.5147 \text{ Mpa}) < \text{que } Rd (39.200 \text{ kNm}^2)$

Então, atende aos critérios de segurança.

### **Estado Limite Último com Flecha Limite:**

A flecha limite é calculada como:

$$Vm = \frac{L}{200} = 6m/200 = 0,03m = 30mm.$$

A flecha efetiva é dada como 02 x a flecha  $\frac{\text{limite}}{\text{flecha}}$

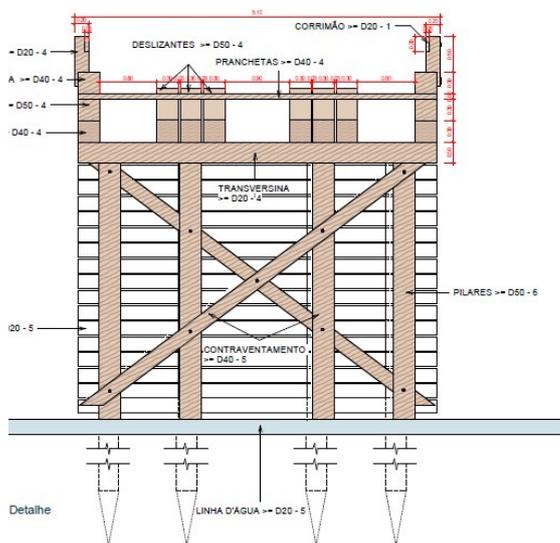
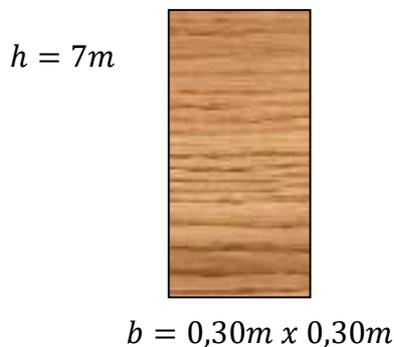
efetiva = 02 x 30mm = 6mm.

Coef. de modificação  $\frac{K_{mod2}}{k_{mod2}} = 1,0$  (madeira serrada)

**Módulo de elasticidade efetivo ( $E_{ef}$ )**

$E_{ef} = E_{com} \times K_{mod2} = 14.500 \text{ Mpa} \times 1,0 = 14500 \text{ Mpa}$

### 4.3.7. Cálculo do Pilar



O trem tipo atribuído foi o de veículos de classe (3) = 450kN, compostos de três eixos de 75kN em cada roda. Carregamento de cálculo:

$N_d = N_k \times 1,4 = 7,5 \text{ ton} \times 1,4 = 10,5$  ton de tensão compressão.

$\sigma_{c,d} = N_{c,d} / A = 10500 / 300 \times 300 \text{ mm}^2 = 1,16 \text{ MPa}$ .

O cálculo de Flexo-compressão é dado por:

$$\left( \frac{\sigma_{c,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{M_x,d}}{f_{c0,d}} + k_m \frac{\sigma_{M_y,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{M_x,d}}{f_{c0,d}} + k_m \frac{\sigma_{M_y,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$f_{c0,d} = 0,7 \times 40 / 1,4 = 20 \text{ MPa}$ . Portanto:

$$\left( \frac{\sigma_{c,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 \leq 1 \quad \left( \frac{1,16}{20} \right)^2 \leq 1 \rightarrow 0,003 \leq 1 \text{ OK.}$$

$$\frac{\sigma_{M_x,d}}{f_{c0,d}} + k_m \frac{\sigma_{M_y,d}}{f_{c0,d}}$$

Componentes gerados pela excentricidade da força sobre o pilar e desconsiderados, por não saber se há.

## **5. CONCLUSÃO**

A pesquisa concluiu que é viável a manutenção e construção de pontes de madeira na Amazônia por meio de áreas de empréstimo de manejo florestal sustentável em pequena escala. A sustentabilidade é garantida por meio da seleção e conservação dos recursos florestais. Recomenda-se a realização de estudos de acompanhamento de longo prazo para avaliar o comportamento das estruturas e a resistência da madeira em condições reais de uso e exposição às intempéries da natureza.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 7188 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. 1 ed. Rio de Janeiro, Rj: ABNT, 2013. 18 p.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 7190:2022-1 **Projeto de estruturas de madeira. Parte 1; 2; 3; 4; 5**, 1 ed. Rio de Janeiro, Rj: ABNT, 2022.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 8186, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. 1 ed. Rio de Janeiro, Rj: ABNT, 2003.

Andrade, D. A., *et al.* (2016). **Design of bridges in timber by compliance with safety criteria**. *Materials Research*, 19(2), 417-425. doi: 10.1590/1980-5373-MR-2016-0140

Almeida, T. *et al.* (2019). **Sustainable forest management: A strategy for the use of timber in wooden bridges**. *Construction and Building Materials*, 225, 378-386.

Arayici, Y., *et al.* (2011). **Building information modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects**. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(8), 2015-2032. doi: 10.1016/j.simpat.2011.04.004

Barbosa, J. C., *et al.* (2017). **Selection criteria for timber species in Brazilian civil construction**. *Floresta e Ambiente*, 24, e20160075. Doi: 10.1590/2179-8087.007516

Brasileiro, Serviço Florestal. **Laboratório de Produtos Florestais**. 2022. Banco de Dados – Indivíduos arbóreos brasileiros. Disponível em: [https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com\\_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=138](https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=138). Acesso em: 13 fev. 2022.

Becerik-Gerber, B., *et al.* (2011). **Conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(6), 394-409. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000093

Calil Junior, Carlito. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**: universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Engenharia de estruturas laboratório de madeira e de estruturas de madeira. São Carlos: Fapesp, 2006. 237 p. (1). Colaboradores: Prof. Titular Francisco Antonio Rocco Lahr, Prof. Dr. Pedro Afonso de Oliveira Almeida, Prof. Dr. Everaldo Pletz, Thalita Fontes, José Luiz Miotto, Prof. Dr. Alexandre José Soares Miná, Prof. Dr. Juliano Fiorelli, Prof. Assistente Giovano Palma, Julio César Molina, Malton Lindquist, Prof. Assistente Marcelo Carreira, Pedro Alcântara Segundinho, Edna Moura Pinto,

Calegari, L., *et al.* (2019). **Physical and mechanical properties of garapeira wood.** *Floresta*, 49(4), 605-613. doi: 10.5380/rf.v49i4.58277

Calegari, L., *et al.* (2020). **Preservation of wooden bridges: A review.** *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 22(4), 505-518. doi: 10.4067/S0718-221X2020005000404

**Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).** (2021). Chamada Universal - MCTI/CNPq nº 01/2021. Retrieved from <http://www.cnpq.br/web/guest/chamadas-publicas>.

Dias, A. B., *et al.* (2018). **Physical and mechanical characterization of Maçaranduba wood (Manilkara spp.).** *Floresta*, 48(4), 559-566. doi: 10.5380/rf.v48i4.53412

FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação). (2018). **Princípios voluntários para a implementação do manejo sustentável de florestas.**

Filho, H. A. M., *et al.* (2018). **Caracterização de espécies lenhosas para recomendação de uso na construção civil em Manaus, AM.** *Revista Ciência Agronômica*, 49(4), 692-701. doi: 10.5935/1806-6690.20180082

Gonçalves, F. G., *et al.* (2017). **Physical and mechanical characterization of Angelim Pedra wood (Hymenolobium spp.).** *Floresta*, 47(3), 391-400. doi: 10.5380/rf.v47i3.50467

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Amazônia Legal.** 2019. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/2013-agencia-de-noticias/releases/28089-ibge-atualiza-mapa-da-amazonia-legal.html>. Acesso em: 10 fev. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). **Região Norte.** Retrieved from <https://www.ibge.gov.br/regioes.html?view=aniversarios>

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). (2011). **Manual Técnico: Projeto de Pontes de Madeira na Amazônia.** Manaus: INPA.

ITTO (Organização Internacional de Madeiras Tropicais). (2002). **Guidelines for the Sustainable Management of Tropical Forests.**

Johnson, M., & Martinez, D. (2018). **Sustainable forest management and timber supply: A review.** *Forest Policy and Economics*, 92, 113-121.

Kensek, Karen. **Building information modeling - BIM: fundamentos e aplicações.** São Paulo (Sp): Elsevier, 2018. 304 p. ISBN 9788535267044.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). **Geographic Information Systems and Science.**

Lima, R. F., & Costa, P. N. (2019). **Novas tecnologias e métodos construtivos para pontes de madeira na Amazônia: uma revisão sistemática.** *Revista de Engenharia Civil*, 7(2), 112-128.

Lopes, C. H. L., *et al.* (2020). **Structural properties of timber from native species of the Amazon Forest.** *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 22(3), 365-378. doi: 10.4067/S0718-221X2020005000302

LPF, Serviço Florestal Brasileiro. **Laboratório de Produtos Florestais.** 2023. LPF. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br> Acesso em: 14 jun. 2022.

Macedo, J. M., *et al.* (2020). **Participatory design and implementation of a timber bridge in a rural community in the Amazon.** *Ciência Rural*, 50(6), e20190169. doi: 10.1590/0103-8478cr20190169

Maggi, Rui. **Preservação em obras de madeiras.** Curitiba, Pr: UFPR, 2020. 52 p. UFPR.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2006). **Plano Nacional de Florestas Plantadas.**

Organização Internacional do Trabalho. (1989). **Convenção nº 169 sobre Povos Indígenas e Tribais em Países Independentes.**

Oliveira, R. *et al.* (2016). **Species of wood used in the construction of wooden bridges in the Amazon.** *Construction and Building Materials*, 127, 890-898.

Oliveira, D. *et al.* (2019). **Application of BIM in the structural design of wooden bridges in the Amazon.** *Automation in Construction*, 99, 305-316.

Paula, Estevão Vicente C. M. de. – **Expedição técnico-científica para avaliações de pontes de madeiras construídas na BR-319.** Manaus/AM: Universidade do estado do Amazonas, 2022. 61 p. RAFAEL MATEUS ALVES MARINHO – EDITOR. Grupos temáticos 1. Estrutural: Dr. Marcos Cesar de Moraes Pereira 2. Anatomia: Dr. Ademir Castro e Silva 3. Ligações: Msc. Rodrigo de Souza Nogueira 4. Entomologia: Dra. Raimunda Liege Souza de Abreu 5. Micologia: Dra. Maria Aparecida de Jesus 6. Avaliações gerais: PhD. Estevão Vicente C. M. De Paula 7. Análise geográfica: Msc. Susane Patrícia Melo de Lima, Dr. Isaque dos Santos Sousa e Dr. Flávio Wachholz.

Pereira, M. *et al.* (2018). **Life-cycle assessment of timber bridges in the Amazon region.** *Construction and Building Materials*, 185, 37-48.

Ribeiro, C. H. F., *et al.* (2018). **Timber bridges in Brazil: structural analysis based on legal recommendations and maintenance needs.** *Maderas. Ciencia*

Rocha, J. H. T., & Silva, J. R. M. (2019). **Avaliação da durabilidade de espécies de madeira amazônicas para utilização em estruturas de pontes.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(4), 291-297.

Sandoval, R., *et al.* (2019). **Physical and mechanical properties of seven Amazonian timber species for structural use.** *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(3), 393-406. doi: 10.4067/S0718-221X2019005000319

Silva, R. *et al.* (2017). **Mechanical properties of Amazonian wood species for structural use.** *Construction and Building Materials*, 153, 464-473.

Silva, J. A., & Santos, L. M. (2019). **Impactos econômicos das pontes de madeira na Amazônia: estudo de caso na região X.** *Revista de Economia e Desenvolvimento Regional*, 3(1), 45-60.

Silva, A. M., *et al.* (2022). **Interdisciplinaridade na construção e preservação de pontes de madeira na Amazônia: uma abordagem colaborativa.** *Revista de Engenharia Multidisciplinar*, 8(1), 45-62.

Souza, F. M., & Silva, R. V. (2017). **Caracterização física, mecânica e durabilidade de espécies arbóreas da Amazônia para uso em estruturas de madeira.** *Revista Brasileira de Engenharia e Ciência Aplicada*, 3(2), 56-67.

Souza, C. A., & Oliveira, R. S. (2020). **Impactos sociais das pontes de madeira na Amazônia: uma análise das percepções das comunidades locais.** *Revista de Estudos Sociais e Ambientais*, 4(2), 78-92.

Uhl, C.; Barreto, P.; Veríssimo, A.; Barros, A. C.; Amaral, P.; Vidal, E.; Jr. Souza, C.. 1997. **Uma abordagem integrada de pesquisa sobre o manejo dos recursos naturais na Amazônia** / Christopher Uhl, Paulo Barreto, Adalberto Veríssimo, Ana Cristina Barros, Paulo Amaral, Edson Vidal & Carlos Souza Jr.. Série Amazônia N° 07 - Belém: Imazon, 1997.

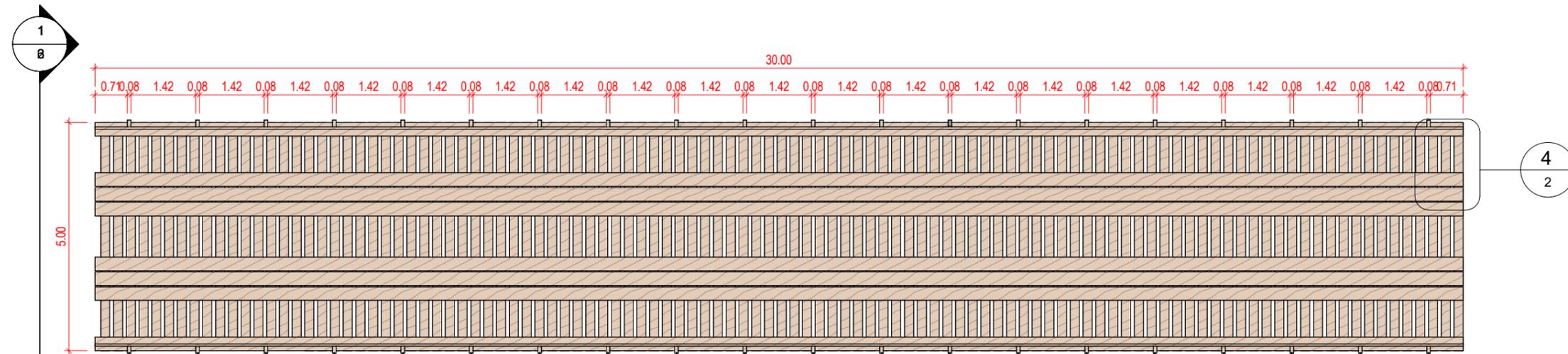
USP, Universidade de São Paulo. **Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM)**. 2022. Escola de Engenharia de São Carlos. Disponível em: [http://web.set.eesc.usp.br/lamem/main\\_mad\\_elem.htm](http://web.set.eesc.usp.br/lamem/main_mad_elem.htm). Acesso em: 13 fev. 2022.

Vieira, A. P., *et al.* (2021). **Participatory design and construction of small wooden bridges in traditional Amazonian communities.** *Revista Árvore*, 45(2), e450203. Doi: 10.1590/1806-90882021000200003.

Walters, C. J., & Holling, C. S. (1990). **Adaptive Management of Renewable Resources.**

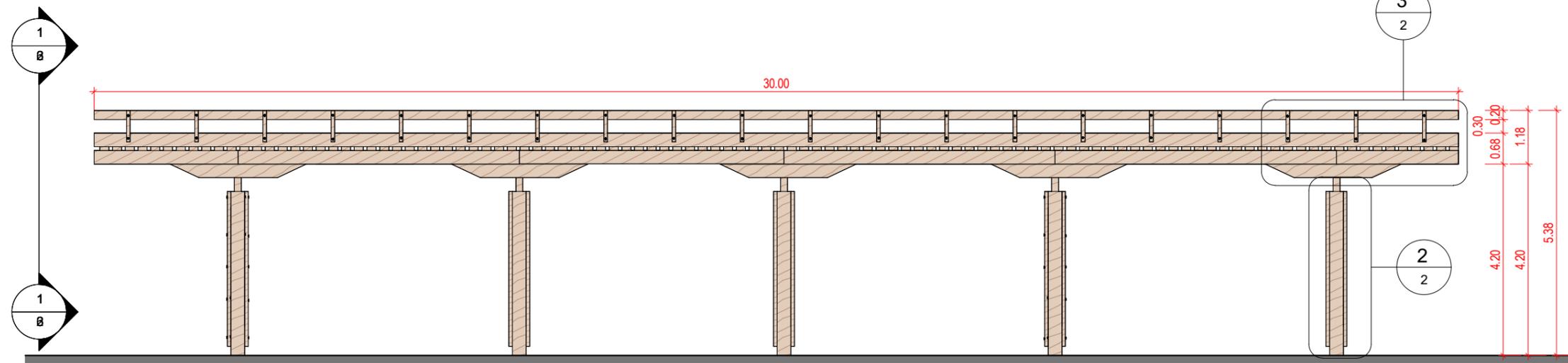
# APÊNDICE A

Proposta de projeto de  
pontes de madeira.



Planta da Ponte

1 : 100



Corte 1

1 : 100

\*Sempre conferir medidas no local



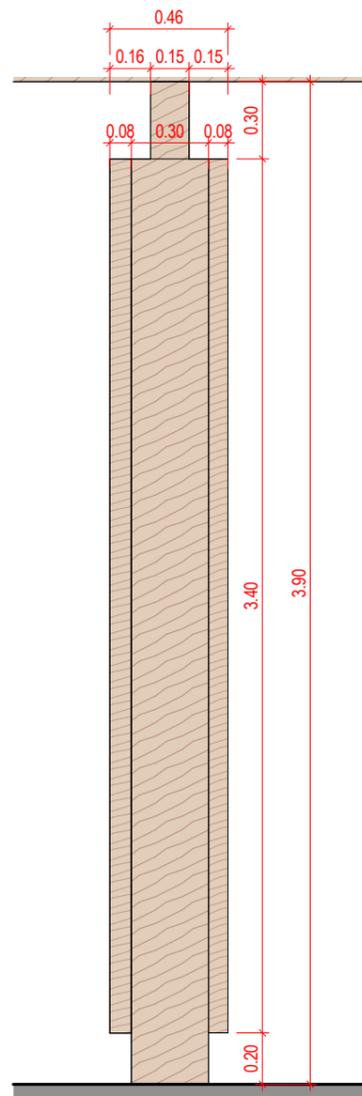
Projeto Ponte . Ibanez Dutra Munhoz  
Matrícula 2210728

Etapa Pesquisa  
Conteúdo Planta/Corte

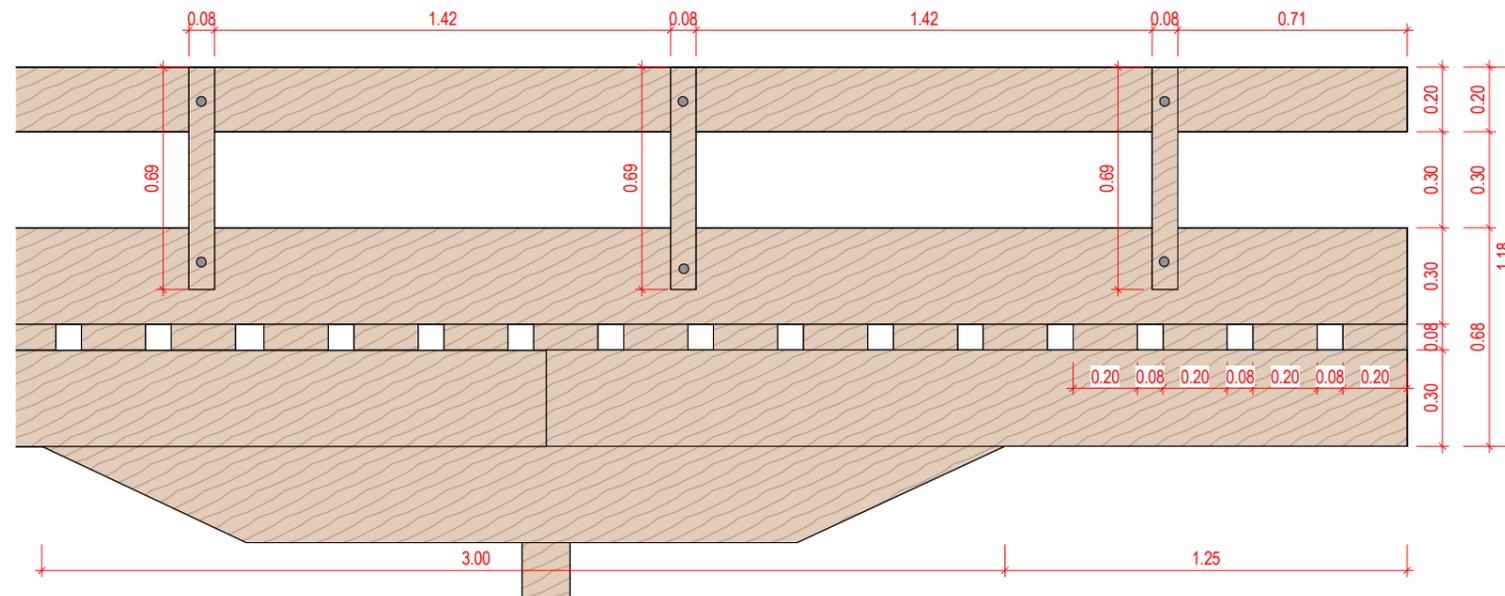
Escala 1 : 100  
Data 31/08/2023

Prancha

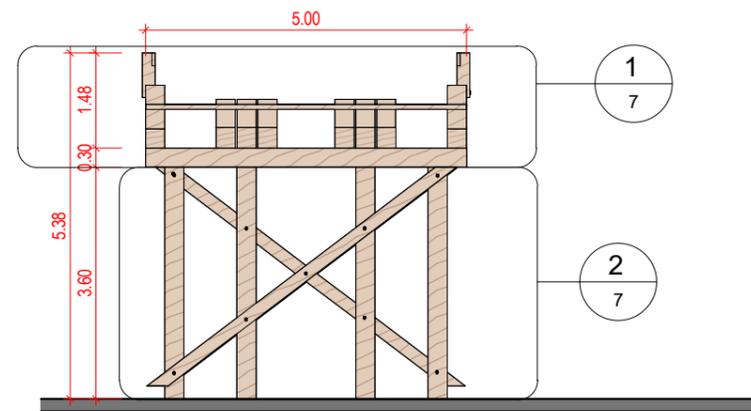
**1**



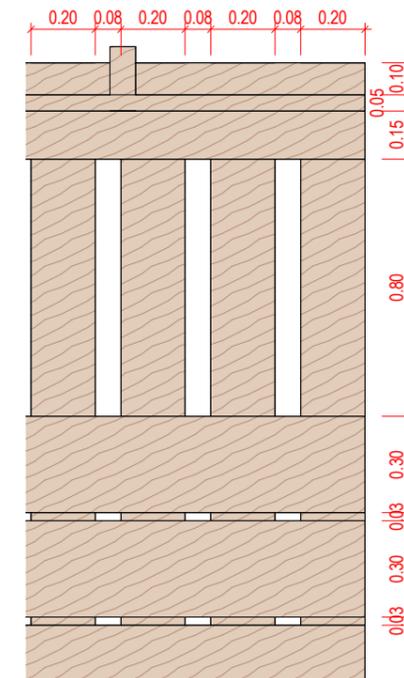
**Detalhe - Pilar**  
1 : 25



**Detalhe - Estrutura**  
1 : 20



**Corte 2**  
1 : 100



**Detalhe - Ponte**  
1 : 20

\*Sempre conferir medidas no local



Projeto Ponte . Ibanez Dutra Munhoz  
Matrícula 2210728

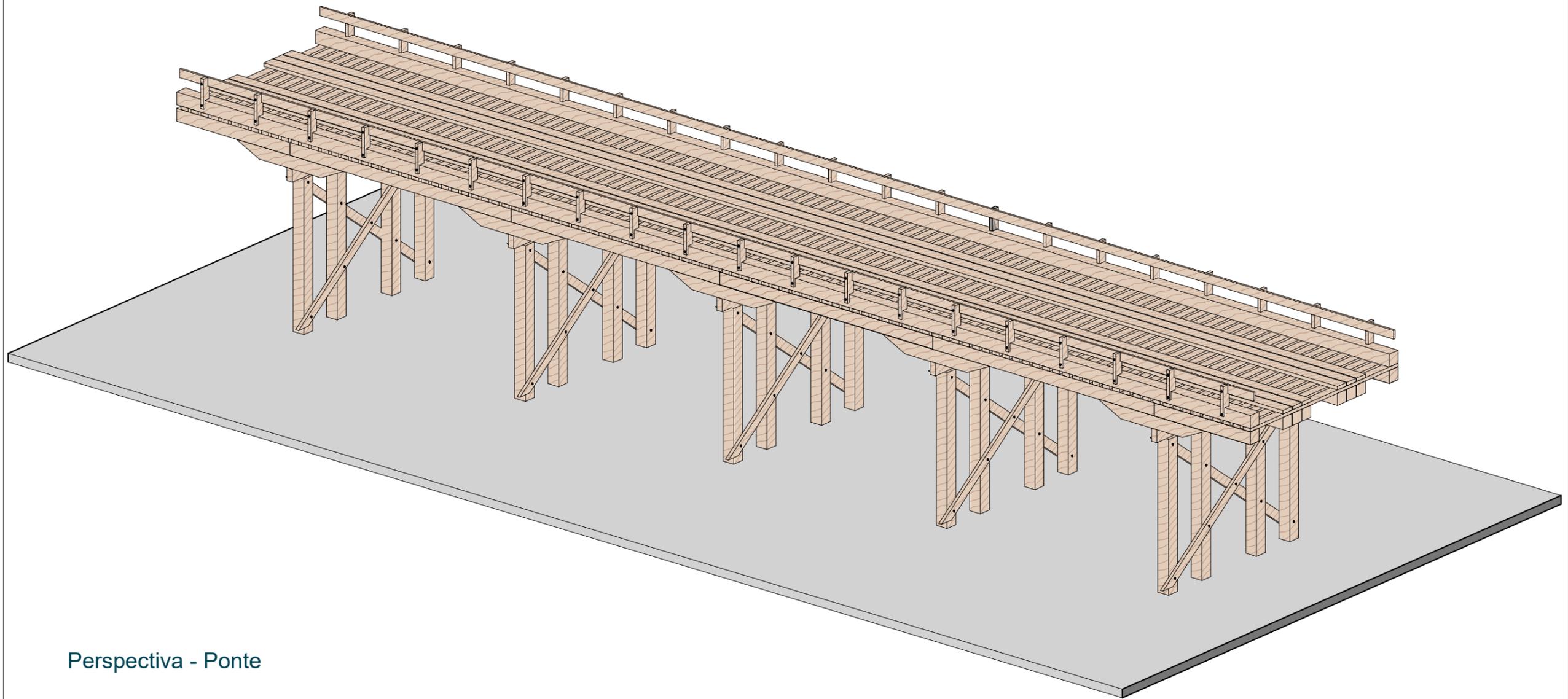
Etapa Pesquisa  
Conteúdo Cortes e Detalhamento

Escala Como indicado  
Data 31/08/2023

Prancha

**2**





Perspectiva - Ponte

\*Sempre conferir medidas no local



Projeto Ponte . Ibanez Dutra Munhoz  
Matrícula 2210728

Etapa Pesquisa  
Conteúdo Perspectiva

Escala \_\_\_\_\_  
Data 31/08/2023

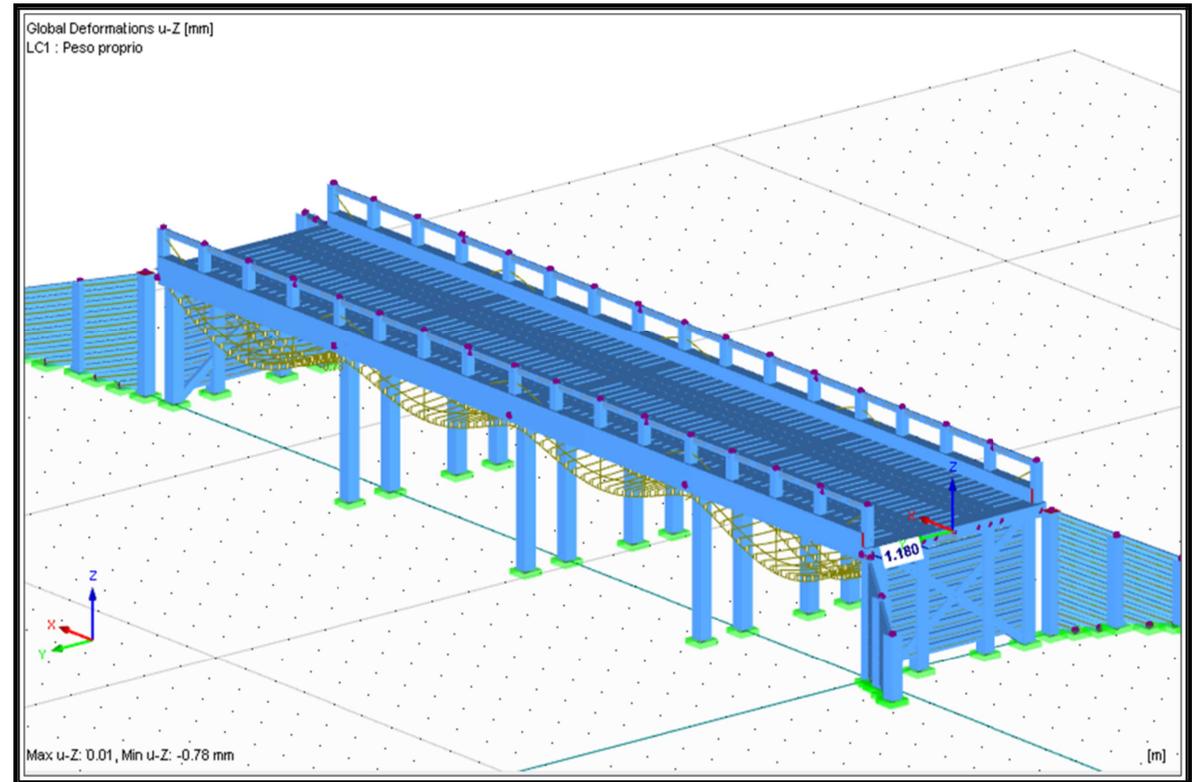
Prancha

4

**APÊNDICE B**  
**Comportamento**  
**estrutural.**

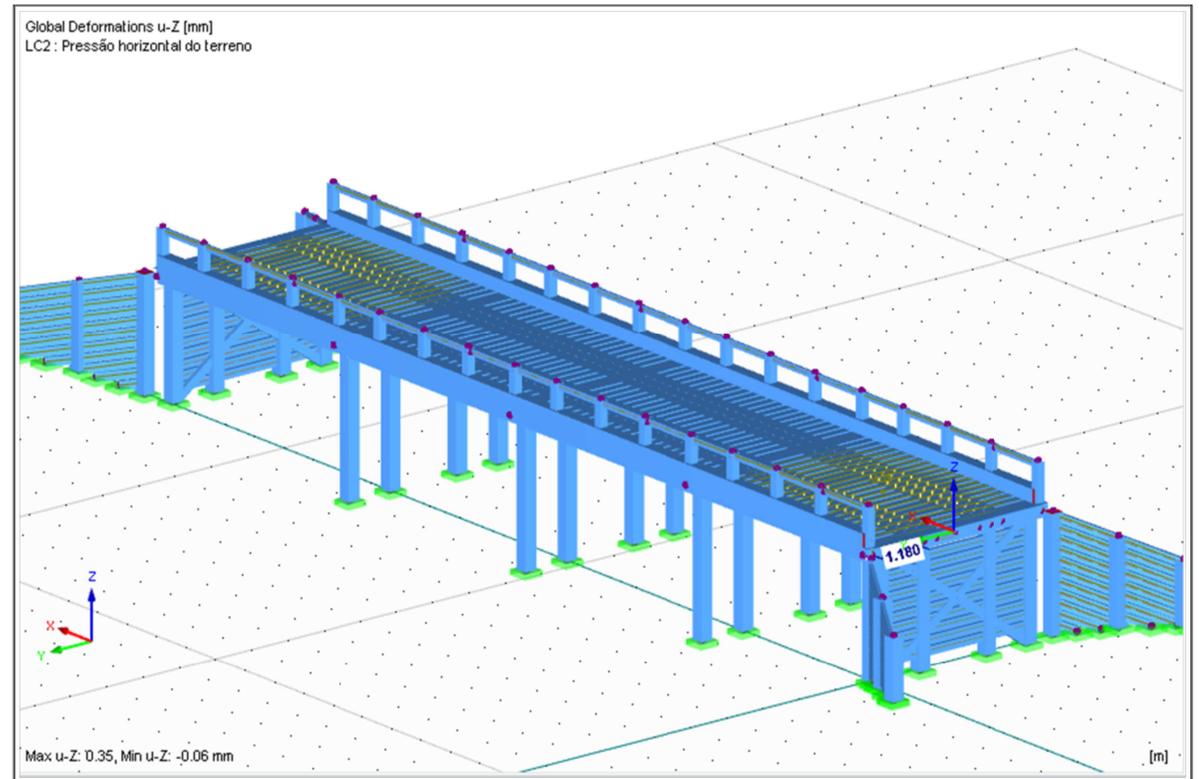
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC1 PESO PRÓPRIO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
<b>LC1</b>	<b>Peso próprio</b>	<b>-0,78</b>
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



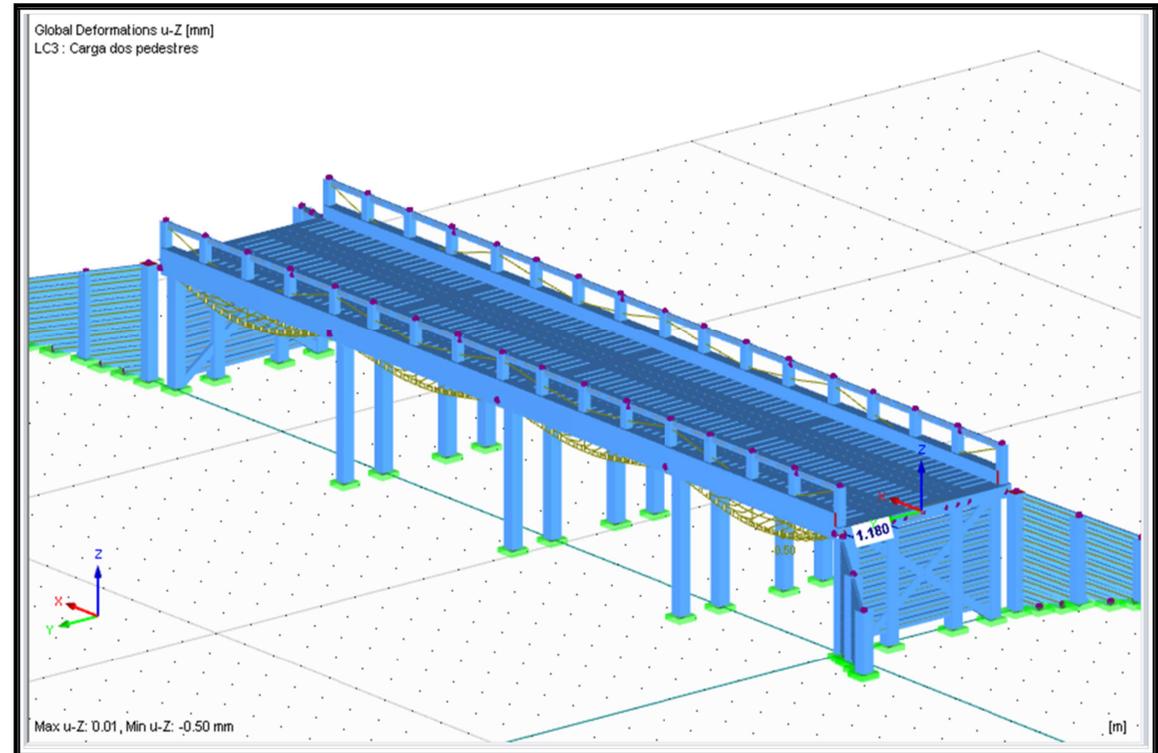
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC2 PRESSÃO HORIZONTAL TERRENO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
<b>LC2</b>	<b>Pressão horizontal terreno</b>	<b>-0,06</b>
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



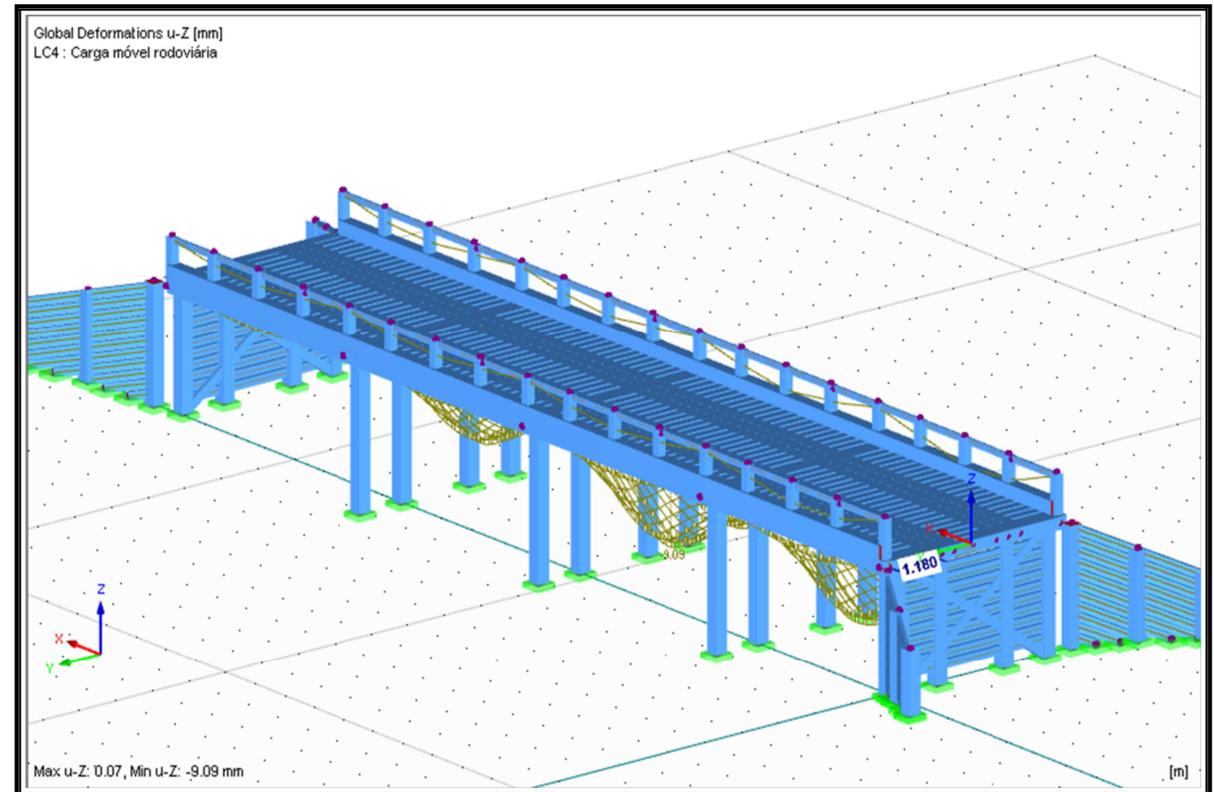
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC3 CARGA PEDESTRES**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	<b>Carga Pedestres</b>	<b>-0,5</b>
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



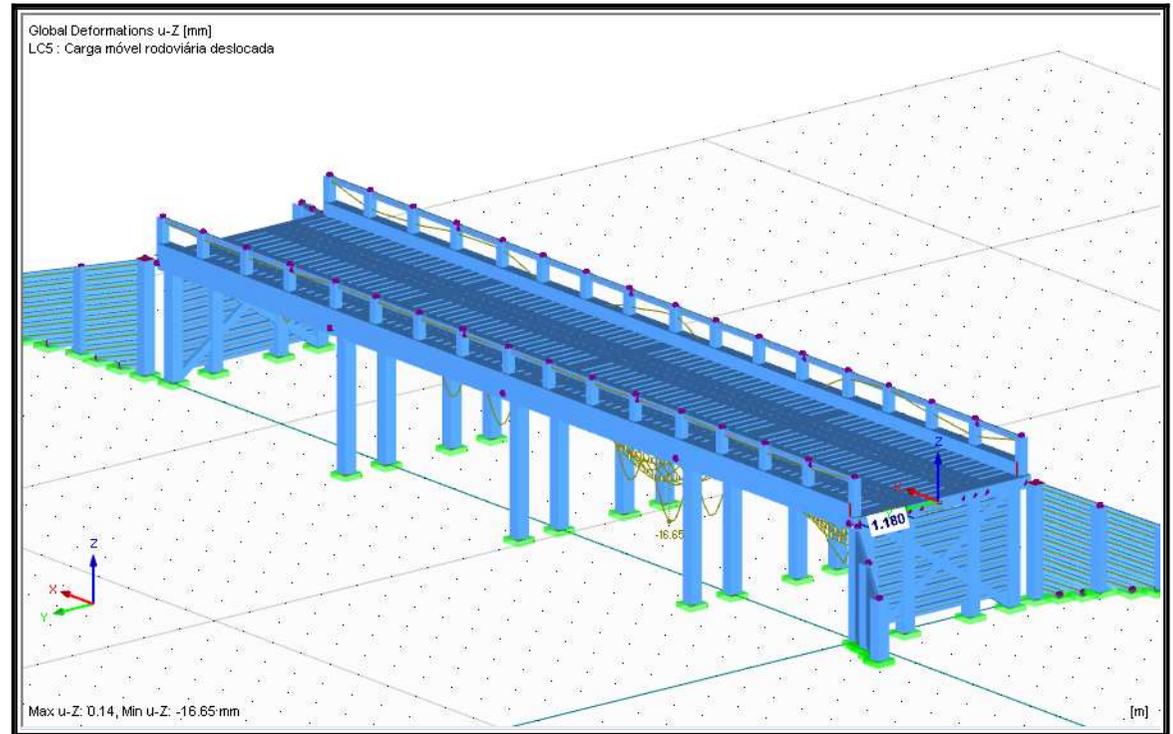
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC4 CARGA MÓVEL**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
<b>LC4</b>	<b>Carga móvel rodoviária</b>	<b>-9,09</b>
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



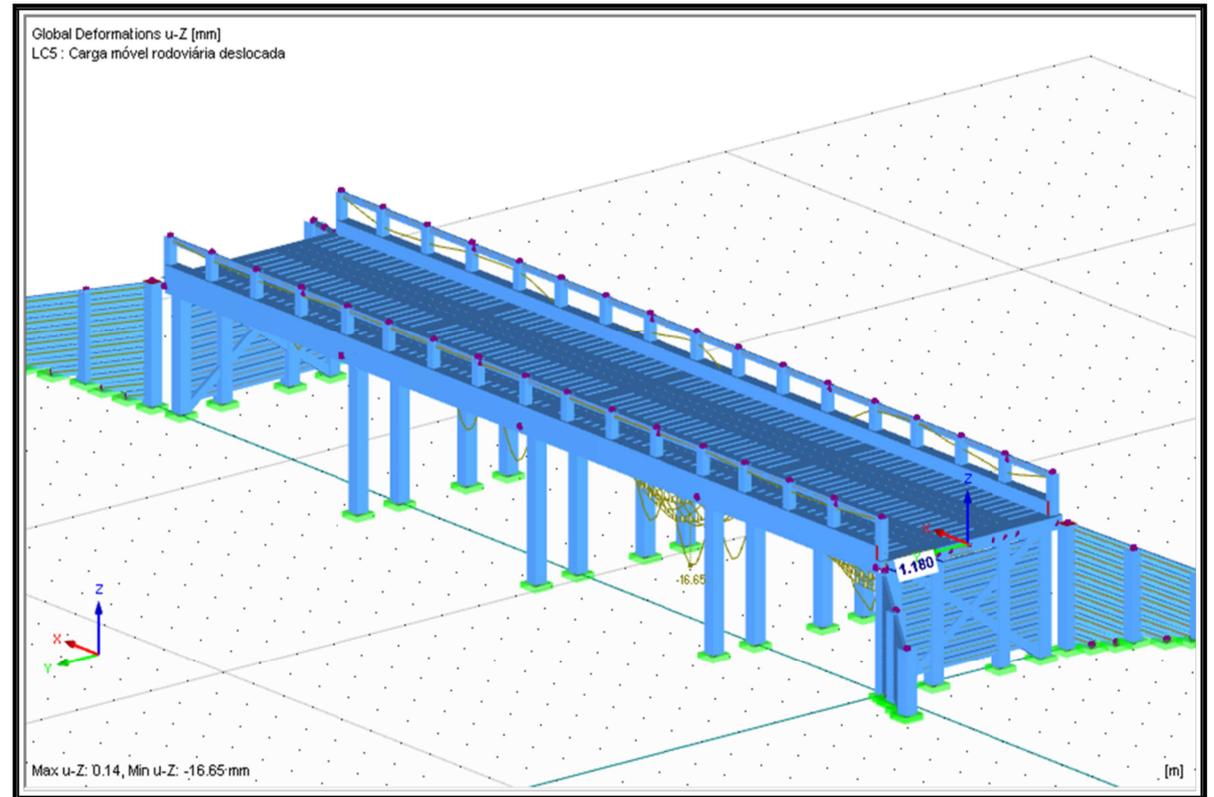
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC5 CARGA MÓVEL RODOVIÁRIA DESL.**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
<b>LC5</b>	<b>Carga móvel rodoviária desl.</b>	<b>-16,65</b>
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



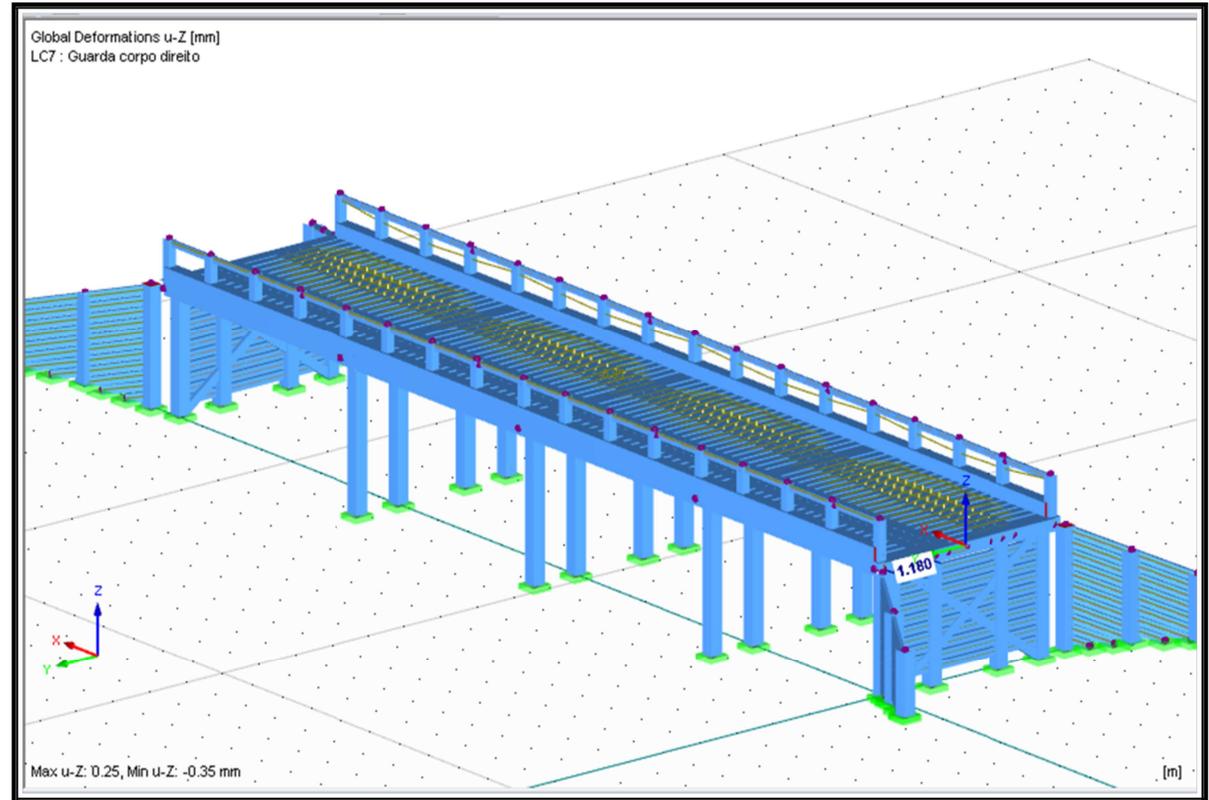
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC6 FRENAGEM**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
<b>LC6</b>	<b>Frenagem</b>	<b>-0,01</b>
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



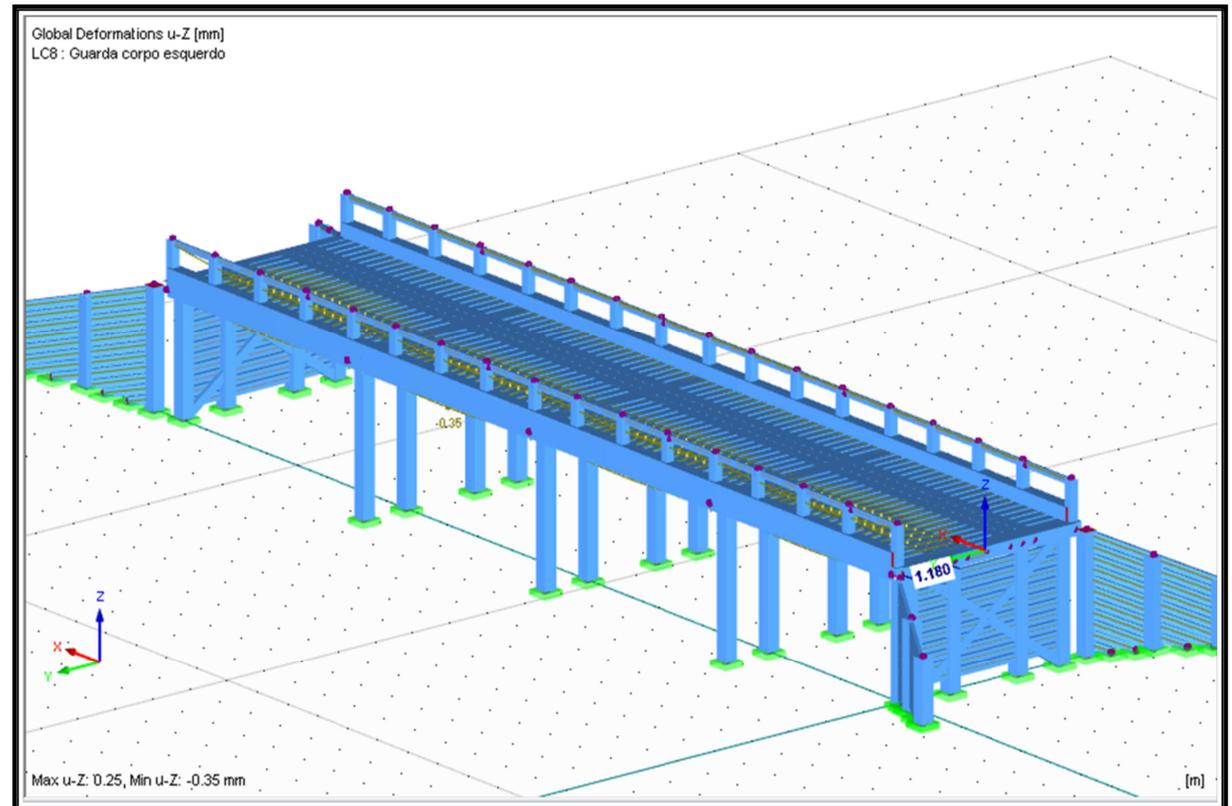
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC7 GUARDA CORPO DIREITO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
<b>LC7</b>	<b>Guarda corpo direito</b>	<b>-0,35</b>
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



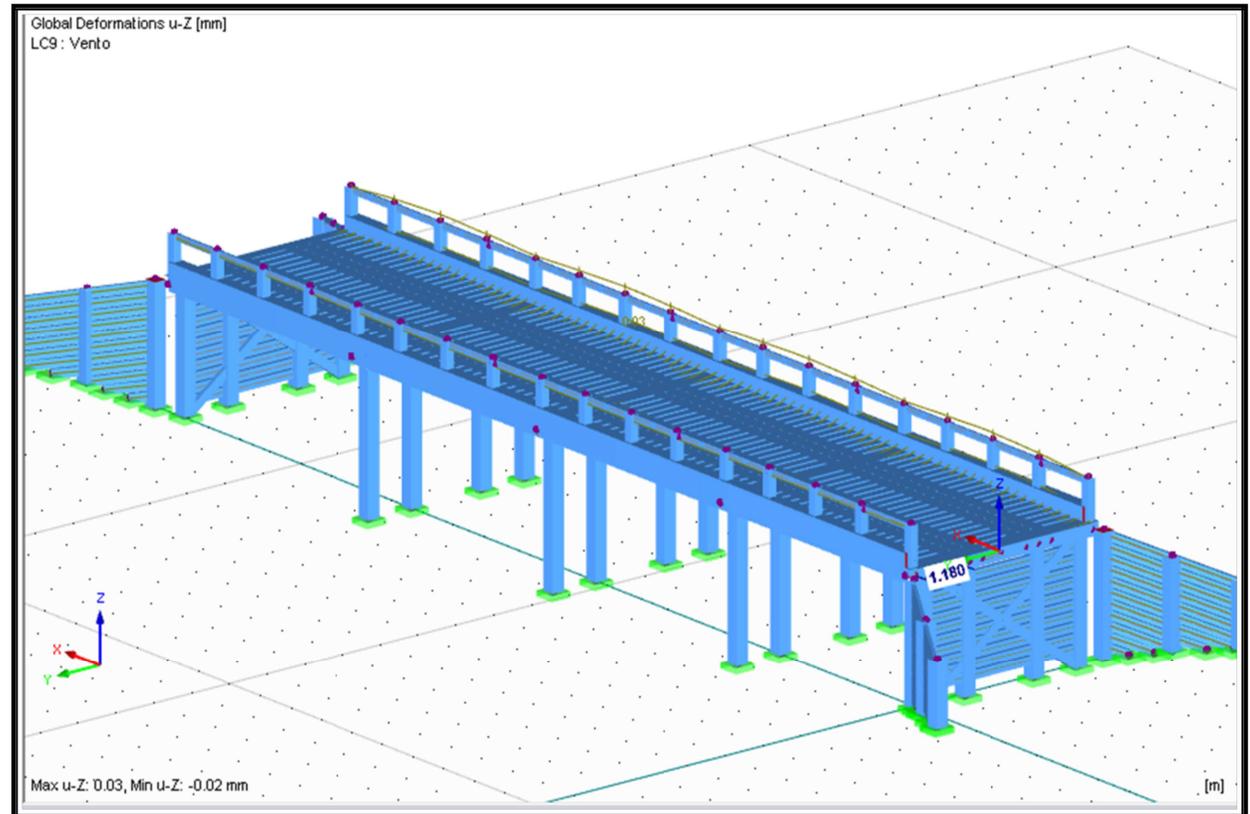
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC8 GUARDA CORPO ESQUERDO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
<b>LC8</b>	<b>Guarda corpo esquerdo</b>	<b>-0,35</b>
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



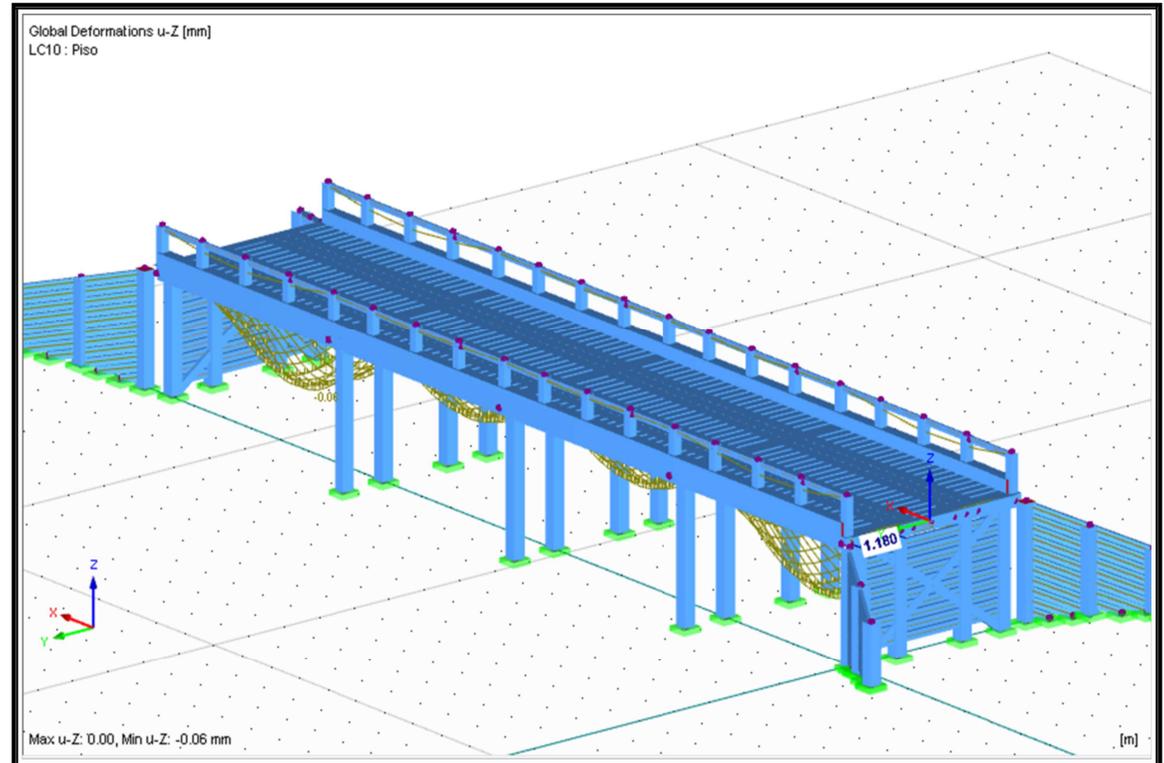
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC9 VENTO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
<b>LC9</b>	<b>Vento</b>	<b>-0,02</b>
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



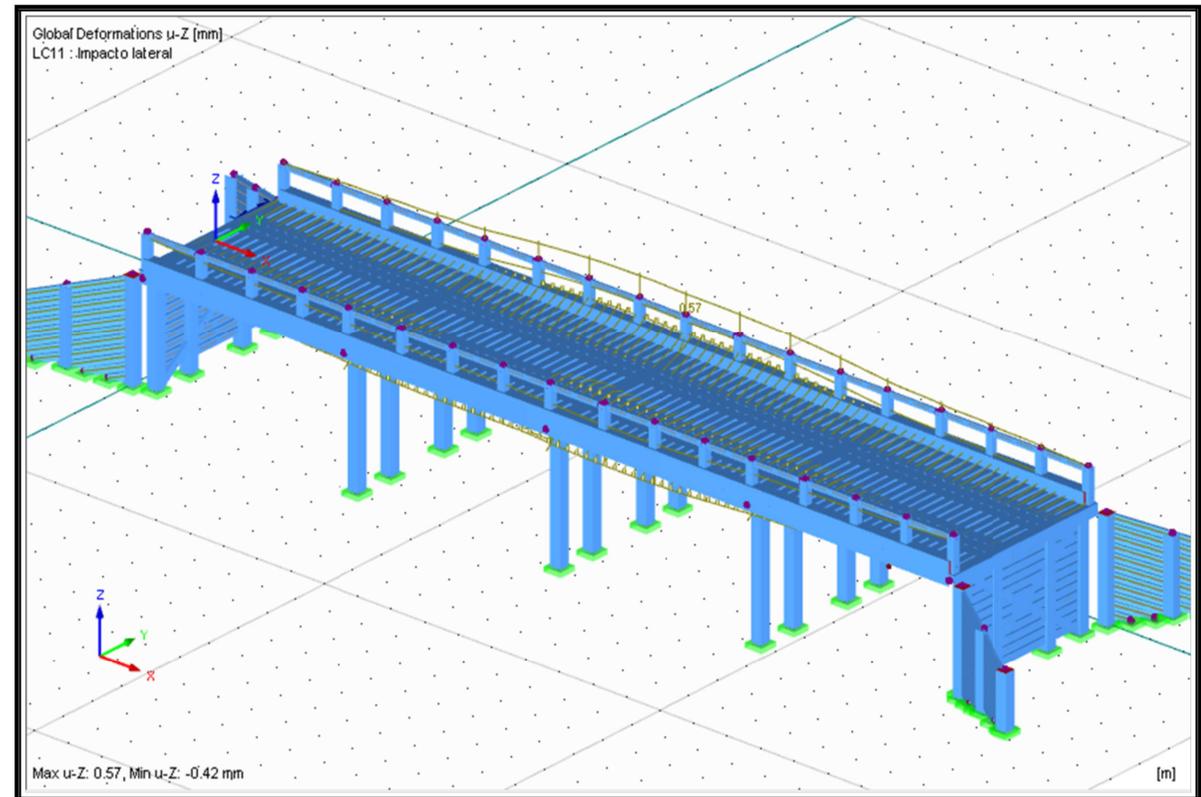
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC10 PISO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
<b>LC10</b>	<b>Piso</b>	<b>-0,06</b>
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



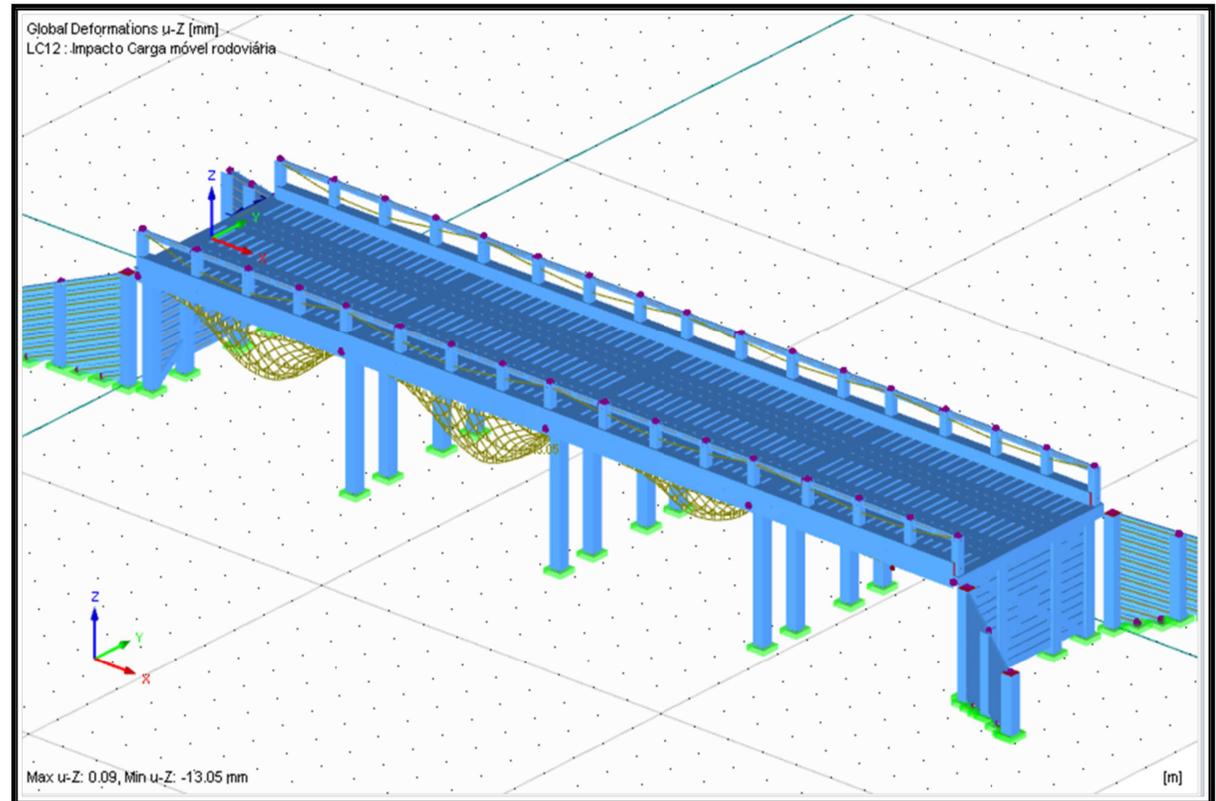
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC11 IMPACTO LATERAL**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
<b>LC11</b>	<b>Impacto lateral</b>	<b>-0,42</b>
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinação ultimas normais	-14,37
C04	Combinação ultimas de curta duração	-13,56



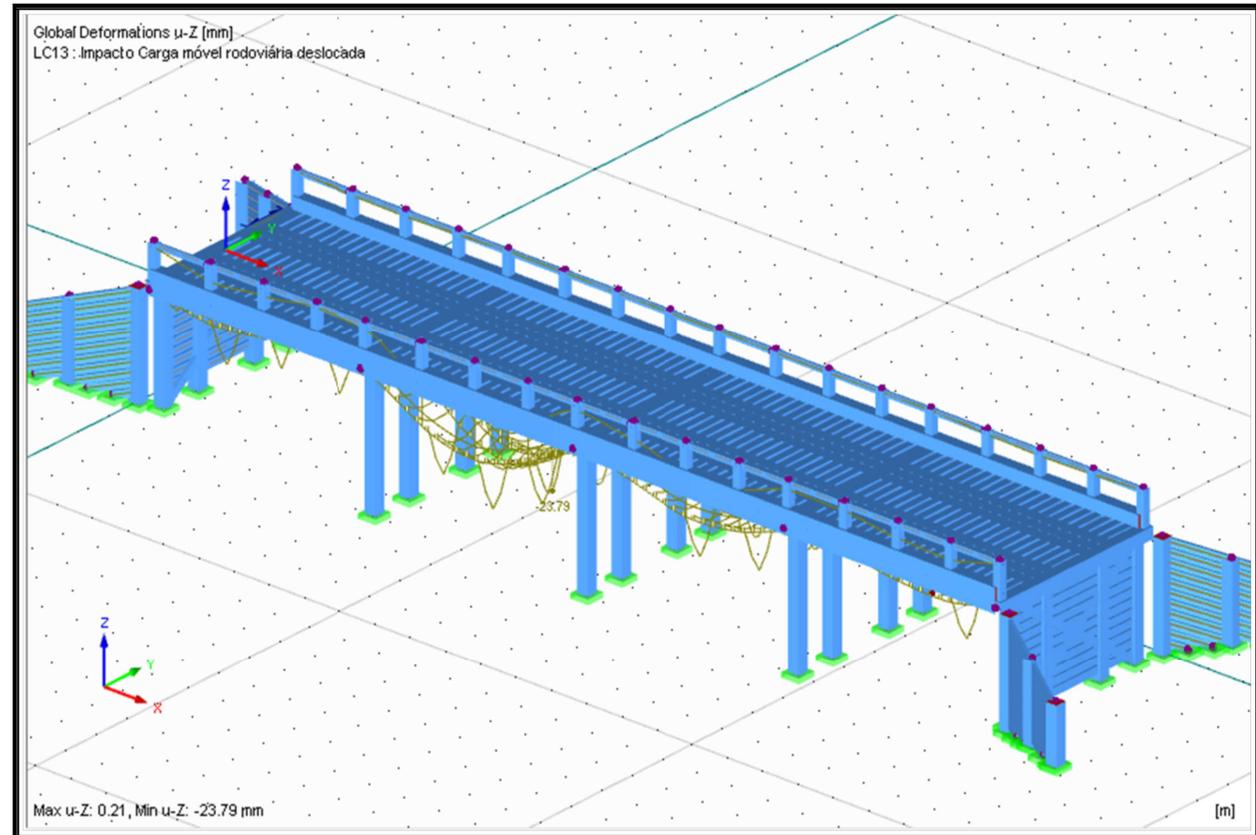
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC12 IMPACTO CARGA MÓVEL RODoviÁRIA**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
<b>LC12</b>	<b>Impacto carga móvel rodoviária</b>	<b>-13,05</b>
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinações últimas normais	-14,37
C04	Combinações últimas de curta duração	-13,56



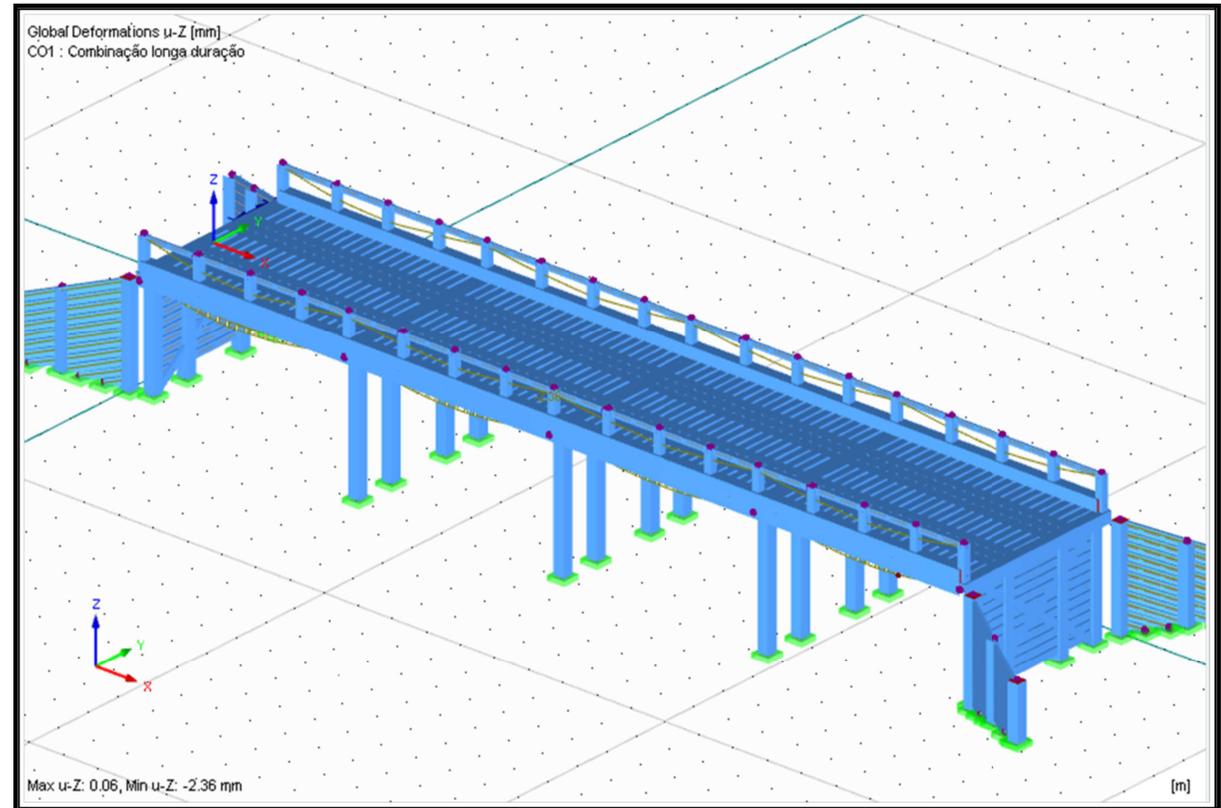
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – LC13 IMPACTO CARGA MÓVEL RODOVIÁRIA DESLOCADA**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
<b>LC13</b>	<b>Impacto carga móvel rodoviária deslocada</b>	<b>-23,79</b>
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinações últimas normais	-14,37
C04	Combinações últimas de curta duração	-13,56



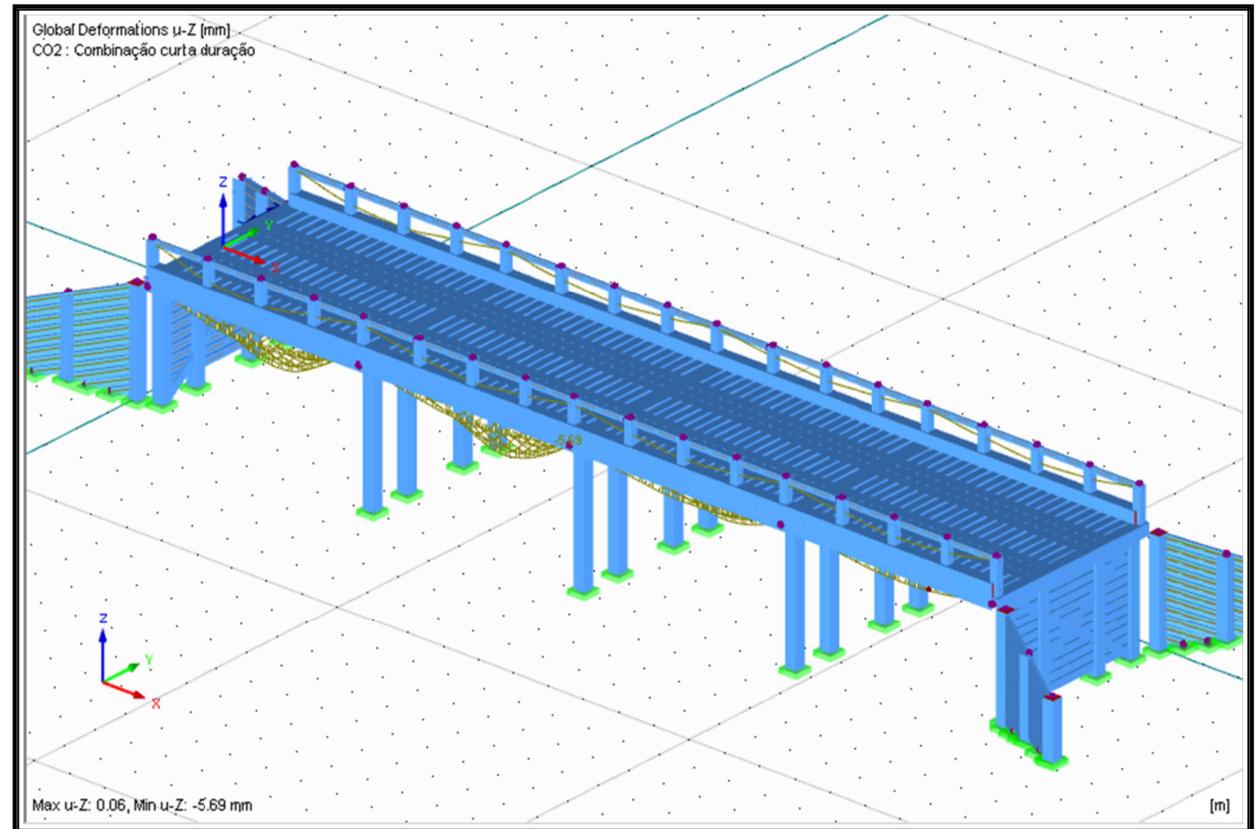
### COMPORTAMENTO ESTRUTURAL C02 COMBINAÇÃO CURTA DURAÇÃO

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
<b>C01</b>	<b>Combinação longa duração</b>	<b>-2,36</b>
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinações últimas normais	-14,37
C04	Combinações últimas de curta duração	-13,56



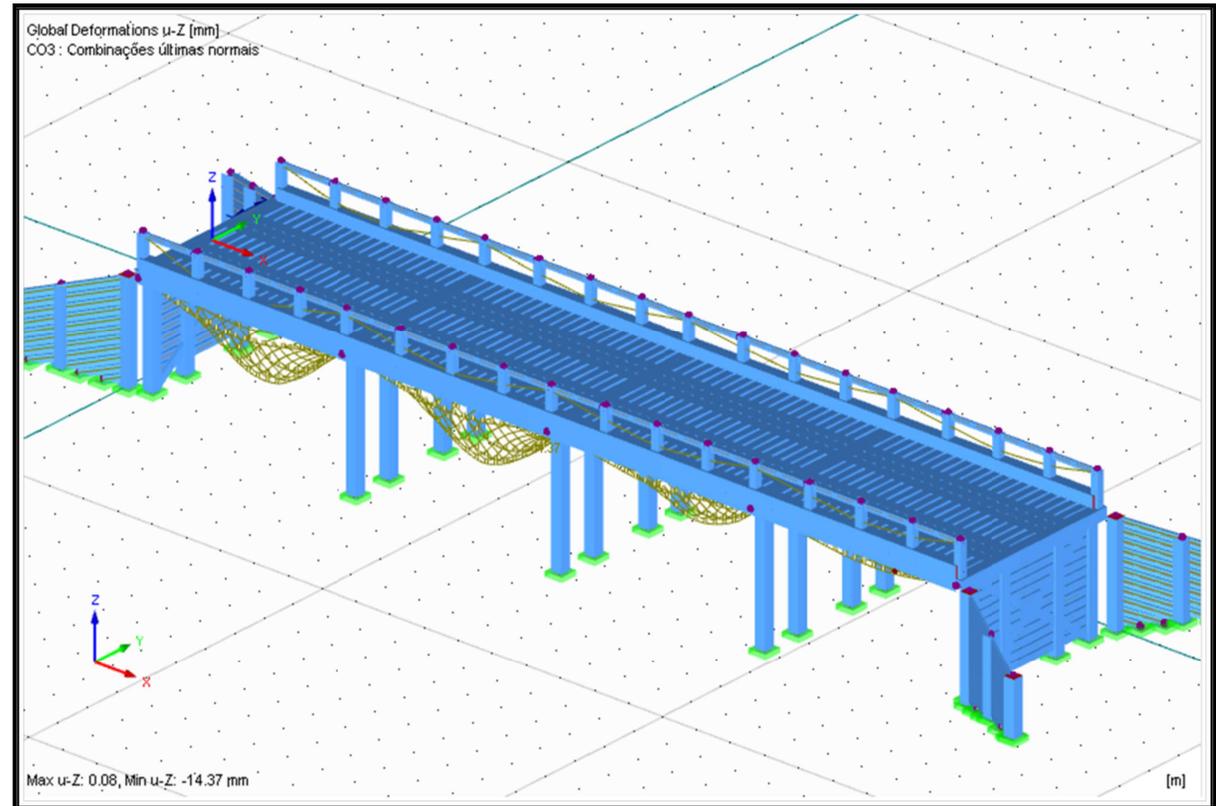
**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – C02 COMBINAÇÃO CURTA DURAÇÃO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
<b>C02</b>	<b>Combinação curta duração</b>	<b>-5,69</b>
C03	Combinações últimas normais	-14,37
C04	Combinações últimas de curta duração	-13,56



**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – C03 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
<b>C03</b>	<b>Combinações últimas normais</b>	<b>-14,37</b>
C04	Combinações últimas de curta duração	-13,56



**COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – C04 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS DE CURTA DURAÇÃO**

Caso de carga		Flecha min. (mm) -z
LC1	Peso próprio	-0,78
LC2	Pressão horizontal terreno	-0,06
LC3	Carga Pedestres	-0,5
LC4	Carga móvel rodoviária	-9,09
LC5	Carga móvel rodoviária desl.	-16,65
LC6	Frenagem	-0,01
LC7	Guarda corpo direito	-0,35
LC8	Guarda corpo esquerdo	-0,35
LC9	Vento	-0,02
LC10	Piso	-0,06
LC11	Impacto lateral	-0,42
LC12	Impacto carga móvel rodoviária	-13,05
LC13	Impacto carga móvel rodoviária deslocada	-23,79
C01	Combinação longa duração	-2,36
C02	Combinação curta duração	-5,69
C03	Combinações últimas normais	-14,37
<b>C04</b>	<b>Combinações últimas de curta duração</b>	<b>-13,56</b>

