

**Universidade de Passo Fundo**  
**Faculdade de Engenharia e Arquitetura**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e**  
**Ambiental**

Diniane Baruffi

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE  
ESTRUTURAS DE GUARDA-CORPOS PARA A  
SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Passo Fundo

2017

Diniane Baruffi

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE  
ESTRUTURAS DE GUARDA-CORPOS PARA A  
SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob orientação do Prof. Dr. Zacarias Martin Chamberlain Pravia.

Passo Fundo

2017

Diniane Baruffi

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE ESTRUTURAS DE  
GUARDA-CORPOS PARA A SEGURANÇA DO TRABALHO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a dissertação de mestrado Análise Numérica e Experimental de Estruturas de Guarda-Corpos para a Segurança do Trabalho na Construção Civil, elaborada por Diniane Baruffi, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Data da aprovação: 03 de março de 2017

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Fabiano Costella

Universidade Comunitária da Região de Chapecó

Prof. Dr. Moacir Kripka

Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Francisco Dalla Rosa

Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Zacarias Martin Chamberlain Pravia

Orientador

Passo Fundo

2017

“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a fez tão importante.”

Antoine de Saint-Exupéry

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos:

À Universidade de Passo Fundo e ao PPGEng, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Cetec Serviços, aos laboratoristas e estagiários, por, sempre, auxiliarem durante a pesquisa.

Ao professor Zacarias, pela atenção e disponibilidade durante o andamento do mestrado.

À Construtora Amazon Sul, ao Engenheiro Civil Henrique Loss e ao Estagiário Christofer Rossetto.

À Construtora Lantar e ao Engenheiro Civil Lucas Faccio Ricci.

À empresa Majufer Comercial de Ferro e Aço LTDA, juntamente com o sócio-proprietário Luciano Abreu, pela doação dos perfis metálicos.

À empresa CS Metal e ao Engenheiro Mecânico Ricardo Ficanha, pela doação das chapas metálicas.

À empresa Itapoã Madeiras e Revestimentos e ao Engenheiro Civil Juliano Gehlen, pela doação das madeiras.

Ao Alisson Paulo Baruffi, ao Cleomar Paulo Baruffi, ao Eduardo Basso, ao Fábio Goedel, ao Gustavo Miguel, ao Leunir Freitas, ao Ricardo Schleder Tozetto, pela ajuda nos ensaios experimentais.

À banca avaliadora que me acompanhou desde o projeto até a defesa final deste trabalho.

Aos professores da Universidade de Passo Fundo e do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense.

Às pessoas que me auxiliaram, das mais diversas formas, inclusive com detalhes de modelagem.

À minha família, Cleomar Paulo Baruffi, Marisa Baruffi e Alisson Paulo Baruffi, pela disponibilidade em auxiliar e pelo apoio constante.

Aos amigos que me apoiaram.

## RESUMO

Sistemas de proteção de periferia são utilizados para a prevenção de acidentes de trabalho em altura na construção civil. A importância da segurança ocupacional e sua influência nos custos e nos danos sociais provocados por acidentes na construção civil justificam medidas para criar sistemas de prevenção eficazes. Esse tema continua a demandar atenção da indústria da construção civil e do Estado, devido à ocorrência de acidentes de trabalho, por quedas de altura, que tornam-se cada vez mais frequentes na Construção Civil. No campo das estruturas de guarda-corpos usadas com esse objetivo, no Brasil, existem especificações de ações nas Normas NR-18, NR-35 e RTP 01, porém, há pouco sobre os métodos de modelagem, análise e dimensionamento. Já as normas internacionais determinam alguns critérios que ultrapassam os apontados em normas nacionais, principalmente sobre dimensionamento. Entretanto, analisou-se que os valores de resistência divergem entre as normas consultadas. Com isso, buscou-se reunir o estado da arte na literatura especializada e analisar estruturas usuais para esses fins, com materiais como madeira e aço, avaliando a resistência dessas. Para atingir os objetivos, foram realizadas modelagens numéricas, por meio de análise estática e dinâmica explícita, por meio do Método de Elementos Finitos (M.E.F.), simulando e analisando o impacto gerado por um sólido similar ao corpo humano e cargas estáticas, conforme preconizam as normatizações em modelos simplificados de guarda-corpos, típicos para a segurança do trabalho. Para a validação dos modelos numéricos, foram realizados ensaios experimentais, aplicando cargas estáticas e de impacto nas estruturas. Os resultados numéricos e experimentais obtidos no trabalho, indicam que as estruturas estudadas foram capazes de atender os carregamentos aplicados e absorver o impacto gerado, porém é necessário que seja desenvolvido um método de ensaio específico para estas estruturas, visto que ao analisar as estruturas com as orientações da NBR 14718 (ABNT, 2018a), para guarda-corpos definitivos, estes foram mais restritos e por estes critérios as estruturas deixam de atender os deslocamentos máximos em alguns casos. Ainda, considera-se que o carregamento de 150 kgf/m, exigido pelo MTE, supera as exigências geradas por um impacto de um sólido com massa de 77 kg e distância de impacto de 20,38 cm. Ainda pode-se afirmar que nem nos modelos numéricos e nem no experimental, nas análises estáticas e de impacto, houve ruptura local ou global do sistema.

Palavras chaves: Guarda-corpo e rodapé. M.E.F., Proteção contra quedas. Segurança na construção civil. Trabalho em altura.

## ABSTRACT

Edge protection systems are used to prevent accidents caused by work at height in building construction. The importance of the occupational safety and its influence on costs and social damage caused by accidents in civil construction, justify measures to create effective prevention systems. This subject continues to demand attention from the civil construction industry and from government, due to the increasingly occurrence of work accidents by fall from heights in buildings and infrastructure construction. In the field of guardrail structures used with this purpose, in Brazil the regulation NR-18, NR-35 and RTP 01 deal with it, however few is defined about the analysis and design of those systems. Some international standards, on the other hand, define some criteria beyond those used by Brazilian standards, especially about structural design. It's observed that loads are different in the all consulted standards. In this research, it is compared the literally results specialized to the analysis with structures used to this purpose, using materials such as wood and steel and evaluating the results. To achieve these goals, numeric modellings were made through static analysis and explicit dynamic analysis using the Finite Element Method (FEM) simulating and analyzing the impact generated by a solid like human body and static loads, according to the standards in simplified guardrail models typically used for work safety. For the numerical models validation, it was made experimental tests, applying static charges and with impact in the structures. The numerical and experimental results obtained in the research shows that the structures are able to support and absorb the charges applied. However, it is necessary to develop a new specific test for these structures since the Brazilian regulation NBR 4718 (ABNT, 2018a), for definitive guardrails, were restricted and for this reason the structures are not able to attend some maximum values for displacement in some cases. Though, it is considered that the charges of 150 kgf/m for an impact test, required by MTE, is more efficient than one with 77kg and distant 20,38cm. Indeed, during numerical and experimental tests and static analysis of impact, it was no local or global rupture of the system.

Key words: Guardrail and toe board, F.E.M., Protection against falling, Safety in civil construction. Work at a height.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de guarda-corpos de madeira, segundo a RTP 01 .....	24
Figura 2: Sistema de Guarda-corpos de madeira, segundo a OSHA 1910.23, em metros .....	27
Figura 3: Sistema de Guarda-corpos de perfis estruturais circular, segundo a OSHA 1910.23, em metros .....	28
Figura 4: Sistema de Guarda-corpos de perfis estruturais tipo cantoneira, segundo a OSHA 1910.23, em metros .....	28
Figura 5: Sistema de guarda-corpos, segundo EN 13374/2013.....	30
Figura 6: Estado limite de serviço, alternativas 1. Cargas agindo separadamente .....	32
Figura 7: Estado limite de serviço, alternativa 2. Cargas que atuam separadamente .....	32
Figura 8: Estado limite último, alternativa 1 Cargas que atuam separadamente.....	32
Figura 9: Estado limite último, alternativa 2 Cargas que atuam separadamente.....	32
Figura 10: Estado limite último - Carga de vento máxima, ambas as direções.....	32
Figura 11: Combinação de carga .....	33
Figura 12: Combinação de carga. Todas as outras peças .....	33
Figura 13: Carga Horizontal .....	33
Figura 14: Carga acidental - Cargas que atuam separadamente .....	34
Figura 15: Esquema do ensaio com aplicação da carga com impacto.....	36
Figura 16: Sistema de guarda-corpos de madeira, segundo <i>Québec Safety Code for the Construction Industry</i> , em metros .....	38
Figura 17: Sistema de guarda-corpos conforme AS/NZS 4.994.2 .....	41
Figura 18: Método de dimensionamento da estrutura de guarda-corpo .....	46
Figura 19: Modelo de Guarda-corpo ensaiado .....	47
Figura 20: Verificação da massa de um dos trabalhadores .....	54
Figura 21: Arranjo experimental para a determinação da elasticidade do material .....	55
Figura 22: Corpo de prova de madeira .....	56
Figura 23: Modelo metálico MOD_AÇO Fonte: Elaborado pela autora. ....	58
Figura 24: Modelo metálico MOD_AÇO.....	59
Figura 25: Modelo de madeira MOD_MAD.....	59
Figura 26: Modelo de madeira MOD_MAD.....	60
Figura 27: Ilustração do impacto de um trabalhador na estrutura de guarda-corpos .....	60
Figura 28: Medidas do corpo humano.....	61
Figura 29: Medidas do corpo humano.....	61
Figura 30: Medidas do corpo humano.....	62
Figura 31: Dimensões do sólido similar ao corpo humano .....	62
Figura 32: Dimensões do cilindro utilizado como o sólido de impacto .....	63
Figura 33: Detalhe SHELL181 .....	66
Figura 34: Detalhe da geração da malha na estrutura de aço, MOD_AÇO.....	67
Figura 35: Detalhe do SOLID186 .....	67
Figura 36: Detalhe da geração da malha na estrutura de madeira .....	68
Figura 37: Modelo 1 estático, com a ação da gravidade .....	69
Figura 38: Impacto gerado pelo sólido na estrutura .....	70
Figura 39: Equipamentos utilizados nos ensaios.....	73
Figura 40: Arranjo experimental ensaio estático segundo a NBR 14718.....	74



Figura 41: Arranjo experimental ensaio estático instantâneo.....	75
Figura 42: Sistema de aquisição de dados para o ensaio experimental de impacto .....	75
Figura 43: Arranjo experimental de impacto.....	76
Figura 44: Posição dos relógios comparadores, MOD_AÇO .....	77
Figura 45: Posição dos relógios comparadores, MOD_MAD.....	77
Figura 46: Instalação dos relógios comparadores na estrutura.....	78
Figura 47: Instalação dos equipamentos na estrutura.....	78
Figura 48: Impacto MOD_AÇO, distância de 20,38 cm.....	97
Figura 49: Impacto MOD_AÇO, distância de 72,52 cm.....	98
Figura 50: Impacto MOD_MAD, distância de 20,38 cm.....	99
Figura 51: Impacto MOD_MAD, distância de 72,52 cm.....	99
Figura 52: Estrutura MOD_MAD, visualização das folgas .....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Requisitos de carga estática pela EN 13374:2013.....	31
Quadro 2: Comparativo entre diversas normas .....	42
Quadro 3: Propriedades consideradas para o aço .....	65
Quadro 4: Propriedades consideradas para a madeira na modelagem.....	65
Quadro 5: Determinação do módulo de elasticidade do material SAE 1005 .....	85
Quadro 6: Propriedades adotadas pela determinação simplificada da resistência da madeira ..	86
Quadro 7: Classes de resistência das folhosas.....	87
Quadro 8: Determinação do módulo de elasticidade do material SAE 1005 .....	87
Quadro 9: Deslocamentos estáticos MOD_AÇO – Modelagem numérica .....	88
Quadro 10: Deslocamentos estáticos MOD_MAD – Modelagem numérica .....	88
Quadro 11: Critérios de aceitação MOD_AÇO, carregamento estático.....	89
Quadro 12: Critérios de aceitação MOD_MAD, carregamento estático.....	89
Quadro 13: Deslocamentos de impacto MOD_AÇO – Modelagem numérica .....	90
Quadro 14: Medições realizadas no MOD_AÇO, carregamento estático segundo a NBR 14718 .....	91
Quadro 15: Medições realizadas no MOD_MAD, carregamento estático segundo a NBR 14718 .....	92
Quadro 16: Critérios de aceitação MOD_AÇO, carregamento estático segundo a NBR 14718 .....	93
Quadro 17: Critérios de aceitação MOD_MAD, carregamento estático segundo a NBR 14718 .....	94
Quadro 18: Medições realizadas no MOD_AÇO, carregamento estático instantâneo .....	95
Quadro 19: Medições realizadas no MOD_MAD, carregamento estático instantâneo.....	95
Quadro 20: Critérios de aceitação MOD_AÇO, carregamento estático instantâneo .....	96
Quadro 21: Critérios de aceitação MOD_MAD, carregamento estático instantâneo.....	96
Quadro 22: Ensaio experimental de impacto.....	97
Quadro 23: Comparação modelos numéricos estáticos e modelos experimentais MOD_AÇO, carregamento estático segundo a NBR 14718.....	100
Quadro 24: Comparação modelos numéricos estáticos e modelos experimentais MOD_MAD, carregamento estático segundo a NBR 14718.....	100
Quadro 25: Comparação modelos numéricos estáticos e modelos experimentais MOD_AÇO, carregamento estático instantâneo .....	102
Quadro 26: Comparação modelos numéricos estáticos e modelos experimentais MOD_MAD, carregamento estático instantâneo .....	102
Quadro 27: Comparação modelos numéricos e modelos experimentais, carregamento de impacto .....	103
Quadro 28: Comparação modelos numéricos de aço (MOD_AÇO) e madeira (MOD_MAD), carregamento estático .....	104
Quadro 29: Comparação modelos experimentais de aço (MOD_AÇO) e madeira (MOD_MAD), carregamento estático.....	105
Quadro 30: Comparação modelos experimentais de aço (MOD_AÇO) e madeira (MOD_MAD), carregamento estático.....	105

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Problema da pesquisa .....	16
1.2. Justificativas .....	16
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo Geral.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1. A segurança do trabalho em obras da construção civil.....	19
2.2. Sistema de proteção de periferia do tipo guarda-corpos.....	21
2.2.1 Montante .....	22
2.2.2 Travessão .....	22
2.2.3 Rodapé .....	22
2.2.4 Ancoragem .....	22
2.3. Legislação sobre segurança do trabalho nacional.....	22
2.4. Normas internacionais sobre guarda-corpos.....	25
2.4.1 OSHA – Occupational Safety and Health Administration .....	25
2.4.2 European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) .....	29
2.4.2.1 Método de ensaio EN 13374:2013 - ensaio carga estática .....	34
2.4.2.2 Método de ensaio EN 13374, ensaio carga dinâmica - DIN (2013) ...	35
2.4.3 Québec Safety Code for the Construction Industry (S-2.1, r.4).....	37
2.4.4 Normas da Austrália e Nova Zelândia AS/NZS 4994 .....	38
2.5. Comparação entre as normatizações nacionais e internacionais .....	41
2.6. Estudos realizados em guarda-corpos provisórios.....	43
2.7. Elementos básicos de energia de impacto.....	50
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.1. Estudo sobre peso e altura dos trabalhadores da construção civil.....	53
3.2. Caracterização dos materiais .....	54
3.2.1 Caracterização do aço .....	54
3.2.2 Caracterização da madeira .....	56
3.3. Estudo e modelagem do método dos elementos finitos.....	57
3.3.1 Modelos computacionais.....	58
3.3.2 Propriedades dos materiais.....	64
3.3.3 Atrito entre os componentes .....	65

3.3.4	Discretização do modelo ou geração da malha .....	66
3.3.5	Aplicação do carregamento.....	68
3.3.5.1	Análise estática .....	68
3.3.5.2	Análise dinâmica.....	70
3.3.6	Restrições .....	70
3.3.7	Medições dos deslocamentos no modelo numérico .....	71
3.3.8	Validação dos modelos .....	71
3.4.	Ensaio experimentais estáticos e dinâmicos de estruturas para suporte para a segurança do trabalho na construção civil.....	71
3.4.1	Especificação dos equipamentos.....	72
3.4.2	Modelos ensaiados .....	74
3.4.3	Ensaio experimentais estáticos de guarda-corpos segundo a NBR 14718 ... ..	76
3.4.3.1	Aparelhagem necessária.....	76
3.4.3.2	Medições dos deslocamentos .....	77
3.4.3.3	Aplicação do carregamento.....	78
3.4.3.4	Registro dos deslocamentos .....	79
3.4.4	Ensaio experimentais estáticos instantâneos de guarda-corpos.....	80
3.4.4.1.	Aparelhagem necessária.....	80
3.4.4.2.	Medições dos deslocamentos .....	80
3.4.4.3.	Aplicação do carregamento.....	80
3.4.4.4.	Registro dos deslocamentos .....	81
3.4.5	Ensaio experimentais de impacto de guarda-corpos .....	81
3.4.5.1.	Aparelhagem necessária.....	81
3.4.5.2.	Procedimento .....	82
3.5.	Crêterios de aceitaçãõ para os ensaios experimentais .....	82
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	84
4.1.	Resultado da pesquisa sobre peso e altura dos trabalhadores da Construçãõ Civil.....	84
4.2.	Resultado da caracterizaçãõ dos materiais .....	85
4.2.1	Caracterizaçãõ do aço .....	85
4.2.2	Caracterizaçãõ da madeira .....	86
4.3.	Resultados numêricos .....	87
4.3.1	Modelos numêricos estáticos .....	87
4.3.2	Modelos numêricos de impacto .....	89

4.4. Resultados experimentais .....	91
4.4.1 Ensaio experimentais estáticos de guarda-corpos segundo a NBR 14718 ... .....	91
4.4.2 Ensaio experimentais estáticos instantâneos de guarda-corpos.....	94
4.4.3 Ensaio experimentais de impacto .....	96
4.5. Comparação modelos numéricos e modelos experimentais .....	100
4.5.1 Comparação modelos numéricos estáticos e ensaios experimentais estáticos segundo a NBR 14718.....	100
4.5.2 Comparação modelos numéricos estáticos e ensaios experimentais estáticos instantâneos .....	102
4.5.3 Comparação modelos numéricos e ensaios experimentais de impacto....	103
4.6. Comparação modelos de aço (MOD_AÇO) e de madeira (MOD_MAD) .....	104
4.7. Coeficiente de amplificação dinâmico.....	106
4.8. Incertezas do estudo.....	106
4.9. Análise dos resultados .....	107
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	112
5.1. Conclusões .....	112
5.2. Sugestões para trabalhos futuros .....	114

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias e do surgimento de indústrias, deu-se origem a preocupações em relação à Segurança do Trabalho. Em 17 de julho de 1972, no Brasil, foi publicada a Portaria nº 3.237, que tornou obrigatória a existência de serviços de medicina do trabalho e engenharia de segurança do trabalho, e, em 08 de junho de 1978, por meio da Portaria nº 3.214, foram criadas as Normas Regulamentadoras (NRs) (GONÇALVES; CRUZ, 2010).

Segundo a NR 1 tem-se:

As Normas Regulamentadoras – NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT (BRASIL, 2015a, p. 1).

Segundo a NR-35, é considerado trabalho em altura, todo o trabalho realizado acima de 2,00 m do nível inferior, em que haja risco de queda (BRASIL, 2016).

A Construção Civil apresenta elevados índices de acidentes, principalmente em trabalhos desenvolvidos em altura. O elevado índice de acidentes se deve ao fato de que a segurança do trabalho em obras civis ser um assunto ainda carente de discussão e, também, à consideração, por parte dos gestores, de que os funcionários são os principais agentes causadores dos acidentes de trabalho, desconsiderando os perigos gerados pela realização de certas tarefas. Ou seja, essa concepção não leva em conta o trabalho realizado de maneira insegura, o que indica a necessidade de uma mudança cultural com ações e modelos de implantação e gestão de riscos (FRANÇA; TOZE; QUELHAS, 2008).

Com isso, a prevenção de acidentes mostra-se fundamental para evitar eventuais danos ao trabalhador, que pode perder a sua capacidade laboral e a possibilidade de desfrutar de uma vida saudável. Uma das maneiras de se prevenir acidentes de trabalhos relativos à queda de altura é a utilização de estruturas provisórias com a finalidade de impedir a queda, do tipo guarda-corpos provisórios para a construção civil.

Diante desse cenário, observa-se que as discussões sobre o assunto vem crescendo na construção civil. Quanto às estruturas para a segurança do trabalho do tipo guarda-corpos, as normas nacionais e internacionais apresentam requisitos geométricos e de resistência.

Comparativamente, percebe-se que os requisitos geométricos são muito similares, porém, tais normas variam, consideravelmente, quanto às solicitações.

No Brasil, as normas reguladoras NR-18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção e NR-35 - Trabalho em altura dispõem de prescrições para a prevenção do trabalhador relativas à queda de alturas, porém, não especificam, como deve ser o dimensionamento dos equipamentos preventivos, deixando lacunas sobre o assunto (BRASIL, 2015; BRASIL, 2016).

Na literatura existente, os cálculos das estruturas de guarda-corpos são realizados por meio de análise linear e de ensaios experimentais estáticos e quase estáticos. Neste trabalho, o foco foi estudar, numérica e experimentalmente, o comportamento dinâmico; obter os coeficientes de amplificação dinâmica; observar as respostas dessas estruturas, avaliando alguns aspectos para o dimensionamento de guarda-corpos; e comparar as prescrições das diversas normas internacionais.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, são apresentados, além deste capítulo, mais quatro, excluindo-se as referências.

O segundo capítulo, destina-se a apresentar uma revisão bibliográfica sobre: acidentes de trabalho, estatísticas na construção civil, como esses impactam na economia de um país e no desenvolvimento de empresas privadas bem como as normatizações sobre o sistema em níveis nacionais e internacionais, inclusive com uma comparação realizada entre tais normatizações. Expõe, ainda, estudos já realizados sobre o tema e um estudo sobre elementos básicos de energia de impacto.

No terceiro capítulo, estão detalhados os materiais e métodos para desenvolvimento do trabalho, nas suas partes numérica e experimental.

O quarto capítulo refere-se às discussões e aos resultados da pesquisa sobre peso e altura dos trabalhadores no município de Passo Fundo e aos resultados referentes às modelagens numéricas e aos ensaios experimentais.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as observações, conclusões e recomendações para dar continuidade ao tema tratado.

### **1.1. Problema da pesquisa**

As normas disponíveis para orientações sobre o trabalho em altura são as normas NR18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, NR-35 - Trabalho em Altura e, além das normas, tem-se a recomendação técnica de procedimentos, RTP 01 - Medidas de Proteção Contra Quedas de Altura. Observa-se que essas dispõem de especificações técnicas descritivas sobre como devem ser realizados os trabalhos em altura, porém, deixam de fornecer maiores informações quanto a requisitos sobre resistências mecânicas e tolerâncias dessas estruturas (BRASIL, 2015, BRASIL, 2016 e FUNDACENTRO, 2003).

Esse tema gera muitas divergências no modo de aplicação das ações nos sistemas de proteção contra quedas do tipo guarda-corpos provisórios para a construção civil, sobretudo no que diz respeito à simulação do impacto de trabalhadores da construção civil, considerando que na literatura existente, os cálculos das estruturas são realizados por meio de análise linear e ensaios experimentais estáticos e quase estáticos.

Assim, o problema mostra-se complexo, visto que não possui legislação que exija requisitos mínimos referentes a dimensões e tolerâncias e nem orientações para dimensionamento de guarda-corpos.

Torna-se substancial um melhor entendimento de como atuam os esforços nessas estruturas, analisando-as, a fim de dimensioná-las de maneira que assegurem a proteção necessária das pessoas envolvidas no processo construtivo.

### **1.2. Justificativas**

A partir do cenário existente, o tema mostra-se complexo diante a necessidade de maiores orientações em normas de referência quanto as cargas que devem ser aplicadas nas estruturas de guarda-corpos provisórios, requisitos mínimos de resistência mecânica dessas estruturas e a adoção das medidas de segurança para a proteção dos trabalhadores em trabalho com risco de queda em alturas.

Estruturas de guarda-corpos na periferia são os sistemas mais adotados para proteção de dos trabalhadores em trabalhos com risco de queda da nível, pesquisas realizadas demonstram que a implantação de medidas de proteção de periferias são de difícil cumprimento pelas



empresas, principalmente pela precariedade e técnicas utilizadas, e são uma das principais causas de embargos e interdições por parte da fiscalização do Ministério do Trabalho (BRIDI et al., 2013; COSTELLA; JUNGES; PILZ, 2014; PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2015).

Tendo em vista estas considerações, primeiramente indica-se o aspecto social relativo à segurança de trabalhadores e de todas as pessoas envolvidas na indústria da construção civil, apresenta-se o tema como pertinente, uma vez que visa a garantir que as estruturas de guarda-corpos satisfaçam às suas exigências e assegurem o processo construtivo bem como os seres humanos envolvidos.

Perante o aspecto de desenvolvimento econômico de uma nação, os elevados custos que os acidentes de trabalho geram para as empresas, o Estado e o próprio cidadão, que tem o seu direito de vida muitas vezes interrompido ou torna-se incapaz de exercer suas funções e habilidades, revela-se mais um ponto fundamental para o desenvolvimento das estruturas de guarda-corpos de acordo com as exigências, considerando o trabalho e o risco de quedas de altura.

Com o foco nos construtores em geral, o tema busca reduzir a quantidade de matéria-prima utilizada para a construção dessas estruturas, conseqüentemente, reduzindo, também, os custos gerados na construção civil, diante de um dimensionamento realístico dessas, facilitando a implementação dessas estruturas em canteiros de obras e o atendimento a normas específicas para a segurança do trabalho.

Além do apresentado, é, igualmente, objetivo deste estudo realizar a análise numérica e experimental das estruturas de guarda-corpos, sobre a atuação das cargas nas estruturas vindo a elucidar projetistas e órgãos de inspeção acerca da forma de dimensionamento e dos esforços gerados pelo impacto de um corpo humano nas estruturas em questão.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar, numérica e experimentalmente, as estruturas de suporte para a segurança do trabalho, do tipo guarda-corpos contra quedas de altura, a fim de

proporcionar aos trabalhadores segurança para desempenhar suas tarefas e atender às normatizações brasileiras.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- a) Elaborar e validar modelos numéricos a partir de ensaios experimentais de guarda-corpos e avaliar os resultados obtidos.
- b) Apresentar modelos estruturais com resistências comprovadas para a realização de trabalhos em altura.
- c) Determinar os coeficientes de amplificação dinâmico gerados para as estruturas avaliadas neste trabalho.
- d) Apresentar propostas de dimensionamento e de projeto que possam alavancar as normas reguladoras de segurança em altura.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A segurança do trabalho em obras da construção civil**

A Construção Civil é um setor da economia em contínuo crescimento e que emprega muitos trabalhadores. De acordo com dados do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE, 2013), em 2012, esse setor representou cerca de 5,7% do Produto Interno Bruto (PIB).

Ainda segundo o DIEESE (2013), em 2011, o setor possuía cerca de 7,8 milhões de ocupados, representando 8,4% de toda a população ocupada do país. Segundo o boletim Trabalho e Construção elaborado pelo DIEESE (2016), em 2015, visualizou-se uma queda de aproximadamente 1,7% na ocupação dos trabalhadores na construção civil, comparado ao ano de 2011.

A partir desses dados, surgem preocupações quanto à segurança do trabalho e ao número de acidentes registrados. De acordo com o art. 19 da Lei nº 8.213 de 24 de julho de 1991, acidente de trabalho é caracterizado como aquele que ocorre pela atividade de trabalho a serviço de uma empresa ou pelo trabalho dos segurados que leve a “lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho” (BRASIL, 1991, p.11).

De acordo com o Ministério da Previdência Social, por meio do Anuário Estatístico do Ministério da Previdência Social (AEPS), a quantidade total de acidentes de trabalho registrados, no ano de 2011, foi de 720.629 acidentes, sendo que a construção civil apresentou aproximadamente 8,30% desses casos, chegando ao valor de 59.808 acidentes. Em 2012, o valor total de acidentes foi 705.239 e, na construção civil, foram 62.874, aproximadamente 8,92% (BRASIL, 2014).

Percebe-se que na totalidade dos acidentes, se comparados os dados estatísticos dos anos de 2011 e 2012, houve uma redução de, aproximadamente, 2,136%, 15.390 casos, no entanto, a Construção Civil não demonstrou essa redução, pelo contrário, aumentou em, aproximadamente, 0,62%, registrando 3.066 casos de acidente de trabalho a mais em 2012 (BRASIL, 2014).

Porém, outro dado a ser considerado é a taxa de incidência de acidentes de trabalho, um indicador da intensidade com que acontecem os acidentes de trabalho, acidentes por cada 1000 vínculos. Essa taxa mostra uma pequena variação entre os anos de 2011 e 2012, reduzindo de 20,29 para 19,51, respectivamente. Essa redução, ainda que os casos tenham aumentado numericamente, é consequência de um número maior de trabalhadores contratados na Construção Civil no ano de 2012 em comparação ao ano de 2011 (BRASIL, 2014).

Ainda de acordo com o Anuário Estatístico do Ministério da Previdência Social (AEPS) 2014, no ano de 2012, o número de trabalhadores afastados por até quinze dias foram de 27363, outros 26175 ficaram afastados por mais de 15 dias, 1.448 trabalhadores ficaram inválidos e 450 perderam a vida em acidentes no setor (BRASIL, 2014).

A Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - Fundacentro (2003), órgão pertencente ao Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), afirma que os principais motivos de acidentes de trabalho, na construção civil, são as quedas de altura. Desse modo, as medidas coletivas de proteção contra quedas de altura são obrigatórias, não só em ambientes em que há risco potencial devido à queda de operários, mas também, quando existir perigo de projeção de materiais, ferramentas, entulho, peças e equipamentos.

Sendo assim, surge a preocupação, além das vidas dos trabalhadores, com o custo que esses acidentes trazem para a economia de um país, os quais não são totalmente mensuráveis, mesmo em países com avanços no campo da prevenção. A Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2013) estima que 4% do Produto Interno Bruto (PIB) de um país seja perdido por doenças e agravos ocupacionais, índice que pode aumentar para 10% quando se tratar de países em desenvolvimento. Ainda, segundo Santana et al. (2006), os valores gerados limitam-se aos custos econômicos e não incluem aqueles decorrentes dos impactos emocionais e familiares, dificilmente mensuráveis.

Outro ponto a ser analisado refere-se às inspeções realizadas por órgãos fiscalizadores. Segundo dados disponibilizados pela Revista Proteção, Anuário Brasileiro de Proteção (2014), os dados de inspeção em Segurança do Trabalho realizados pelos auditores fiscais vêm seguindo uma média de embargos e interdições no país. Os números parciais sobre atuações em 2013, revelados pelo Sistema Federal de Inspeção do Trabalho do MTE, apontam 84.217 atuações e 4.361 embargos e interdições de janeiro a setembro de 2013, sendo que, em 2012, registraram ao todo 91.404 atuações e 5.108 embargos e interdições. Esses números demonstram a

negligência com os trabalhadores, visto que os embargos e interdições de obras ocorrem mediante maquinários e equipamentos que geram riscos graves e iminentes à saúde e à segurança.

Guimarães et al. (2003), em seu trabalho, esclarece que, no Brasil, a NR-18 é a única norma dirigida especificamente à indústria da Construção Civil, sendo a principal legislação brasileira sobre o assunto, mostrando-se como um grande avanço, vindo a despertar o interesse de melhorar a segurança e as condições de trabalho nas obras. Porém, esse autor defende a necessidade da elaboração de uma Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, para a realização de trabalhos em altura, visto que a NR 18 apresenta várias lacunas quanto às metodologias padronizadas para detalhar requisitos de desempenho de instalações de equipamentos de segurança. Ainda cita:

“Ainda há um longo caminho a percorrer até que exista no Brasil uma legislação completa e adequada à realidade da indústria da construção nacional” (GUIMARÃES et al., 2003, p. 177). Com isso, apresenta-se a necessidade de estudos para compreender o funcionamento dessas estruturas.

## **2.2. Sistema de proteção de periferia do tipo guarda-corpos**

De acordo com a Recomendação Técnica de Procedimentos, Medidas de proteção contra quedas de altura, conhecida como RTP 01, Fundacentro (2003), guarda-corpos são estruturas destinadas a proteger contra riscos de queda de pessoas, materiais e ferramentas. Um Sistema de Proteção de Periferia do tipo guarda-corpos constitui-se de um conjunto de elementos como: montantes, travessões, rodapés e ancoragens.

O Sistema de guarda-corpos elimina o risco na fonte e impede a queda, evitando lesões que outro sistema do tipo que limita a queda de altura causaria (GONZÁLEZ, 2010). No caso, no Brasil, pode-se citar a utilização dos sistemas de pontos de ancoragens, mais conhecido como linhas de vida, utilizados para limitar a queda do trabalhador na construção civil.

A seguir, serão detalhados os componentes do sistema de proteção de periferia do tipo guarda-corpos:

### **2.2.1 Montante**

Elemento vertical do sistema de guarda-corpos, instalado com a finalidade de dar suporte aos travessões e ao rodapé e fazer a ligação da estrutura com a laje, a partir dos pontos de ancoragem.

### **2.2.2 Travessão**

Elemento horizontal do sistema de guarda-corpos com o objetivo de impedir a queda de pessoas, instalado na extremidade superior do sistema de guarda-corpos, se travessão superior e instalado entre o travessão superior e o rodapé, quando é considerado travessão intermediário. Caso ocorra um impacto entre uma pessoa e o guarda-corpo, os travessões serão os elementos que impedirão a queda.

### **2.2.3 Rodapé**

Elemento instalado também no sentido horizontal do sistema de guarda-corpos, destinado a evitar, principalmente, a queda de materiais, instalado sobre o piso de trabalho.

### **2.2.4 Ancoragem**

A ancoragem é o elemento que realiza a fixação do sistema de guarda-corpos com a superfície de trabalho, podendo ser por meio de ancoragens, também denominados: chumbadores e parafusos para fixação no concreto (*parabolts*).

## **2.3. Legislação sobre segurança do trabalho nacional**

As NRs, conforme disposto na NR 01, são de observância obrigatória pelas empresas (BRASIL, 2009). A Norma Regulamentadora NR 18, Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização que objetivam a implementação de medidas de controle e de sistemas preventivos

de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção (BRASIL, 2015).

O item 18.13.5 da NR 18 dispõe sobre a utilização de guarda-corpos provisórios em obras da construção civil e determina:

A proteção contra quedas, quando constituída de anteparos rígidos, em sistema de guarda-corpo e rodapé, deve atender aos seguintes requisitos:

- a) ser construída com altura de 1,20m (um metro e vinte centímetros) para o travessão superior e 0,70m (setenta centímetros) para o travessão intermediário;
- b) ter rodapé com altura de 0,20m (vinte centímetros);
- c) ter vãos entre travessas preenchidos com tela ou outro dispositivo que garanta o fechamento seguro da abertura (BRASIL, 2015, p. 18).

A Norma Regulamentadora para Trabalho em Altura, NR 35, define como devem ser realizados os trabalhos em altura no Brasil, trata-se de uma recomendação técnica do MTE, destinando-se à gestão de segurança e saúde no trabalho em altura, estabelecendo requisitos para a proteção dos trabalhadores e prevenção de riscos de queda em trabalhos realizados em altura (BRASIL, 2016).

A NR-35 define que todo o trabalho realizado acima de 2 m de altura, do nível inferior que ofereça risco de queda é considerado trabalho em altura e devem ser adotadas as medidas de segurança, respeitando e adotando a referida norma (BRASIL, 2016).

Quanto às medidas que devem ser tomadas, a NR 35 não determina, especificamente, os procedimentos, mas estabelece a ordem do planejamento do trabalho, sendo:

- a) Medidas para evitar o trabalho em altura, sempre que existir meio alternativo de execução.
- b) Medidas que eliminem o risco de queda dos trabalhadores, na impossibilidade de execução do trabalho de outra forma.
- c) Medidas que minimizem as consequências da queda, quando o risco de queda não puder ser eliminado (BRASIL, 2016, p. 3).

Percebe-se que as Normas Regulamentadoras NR 18 e NR 35 são restritas à aplicação das medidas que devem ser implantadas na execução de obras e dispõem dos itens que são necessários, porém, não trazem muitas informações sobre o desempenho do sistema. Com isso, surge a RTP 01, elaborada pela Fundacentro, visando a subsidiar empresas, profissionais, governo e trabalhadores no cumprimento das normas, instrumento pelo qual se baseia o MTE

para as auditorias realizadas na construção civil e aplicabilidade das medidas de segurança do trabalho (FUNDACENTRO, 2003).

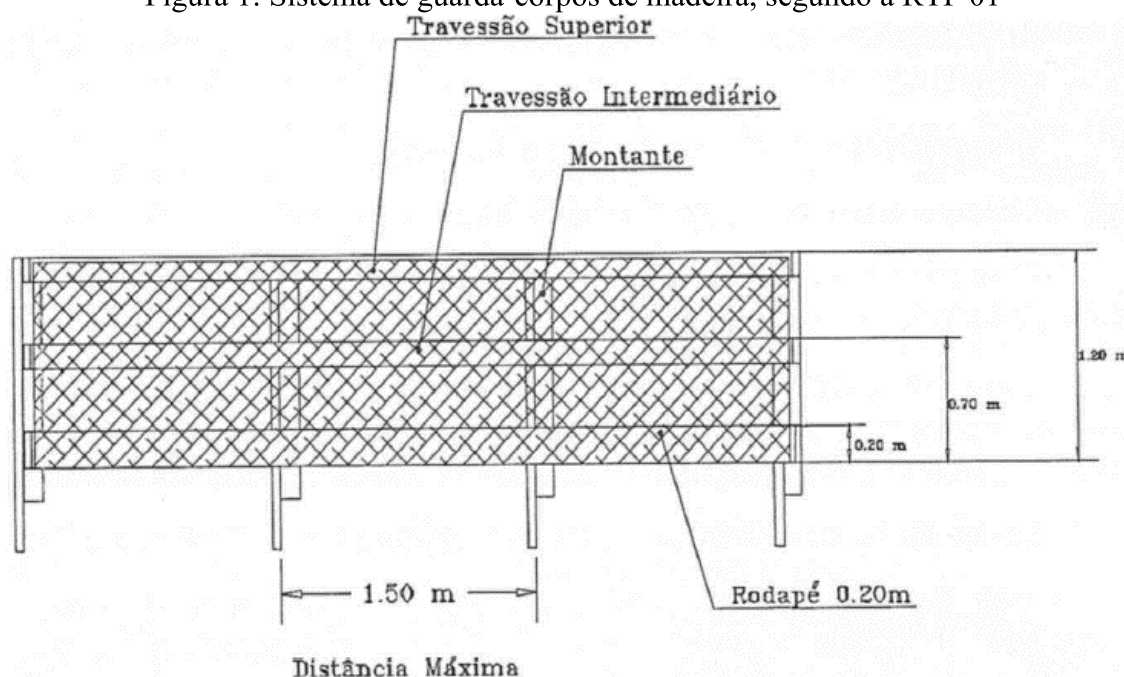
A RTP 01 tem como objetivo fornecer embasamento técnico e procedimentos necessários para garantir a proteção contra queda de altura, na indústria e na construção civil, e tem como princípio básico de Segurança que: “Onde houver risco de queda é necessária a instalação da proteção coletiva correspondente” (FUNDACENTRO, 2003, p. 7).

Assim como, citado pela NR-35 na ordem do planejamento do trabalho, a RTP 01 dispõe de dispositivos, primeiramente para evitar a ocorrência de quedas e, não sendo possível evitar tal risco, apresenta recursos para limitar a queda (FUNDACENTRO, 2003).

Quanto à geometria, o distanciamento máximo entre montantes para guarda-corpos de madeira deve ser de 1,50 metros entre montantes. Com o intuito de impedir queda de materiais, a RTP 01 indica, também, a instalação de uma tela de proteção (FUNDACENTRO, 2003).

A Figura 1 representa o que é recomendado pela RTP 01 para guarda-corpo de madeira.

Figura 1: Sistema de guarda-corpos de madeira, segundo a RTP 01



Fonte: Fundacentro (2003).

Quanto a resistência, a RTP 01 determina que os travessões devem ser de material sem aspereza e a resistência mínima que a peça deverá apresentar é de “esforços concentrados de



150 kgf/metro linear (centro e cinquenta quilogramas-força por metro linear), no centro do vão”. Quanto ao rodapé, esse deve ser instalado sobre o piso de trabalho, a fim de impedir a queda de objetos, formado por peça plana e resistente com as mesmas características e resistência dos travessões. Define, ainda, que o sistema deve ser constituído de montante, sendo esse, um elemento vertical de ancoragem do guarda-corpo na estrutura das superfícies de trabalho, e no qual se fixam os travessões e rodapé contendo as mesmas características e resistências dos travessões (FUNDACENTRO, 2003, p. 9).

Ainda, é possível analisar a consulta pública da NR 18, disponibilizada pelo, Comitê Permanente Nacional sobre condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, com texto de 08 de julho de 2015, onde são sugeridas algumas alterações da norma (CPN, 2015).

Nesta revisão a NR 18 passa a determinar a hierarquia do trabalho, conforme indica a NR 35 (CPN, 2015).

E quanto as estruturas de guarda-corpos, sugere os requisitos geométricos de altura mínima de 1,00 m, possíveis vãos inferiores a 0,50m e rodapés com altura mínima de 0,14 m (CPN, 2015).

Quanto aos requisitos de resistência, sugere que o travessão superior deve resistir a 90 kgf, o travessão intermediário deve resistir a uma carga de 66 kgf e o rodapé deve resistir a uma carga de 22 kgf. As cargas devem ser aplicadas nos pontos mais desfavoráveis da estruturas (CPN, 2015).

## **2.4. Normas internacionais sobre guarda-corpos**

### **2.4.1 OSHA – Occupational Safety and Health Administration**

A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) surgiu a partir da Lei de Segurança Ocupacional e Saúde de 1970 (Lei OSH), que foi criada para evitar que os trabalhadores corram riscos de morte ou lesões corporais graves no trabalho. É uma agência do Departamento do Trabalho dos Estados Unidos com a finalidade de garantir condições seguras e saudáveis de trabalho para homens e mulheres por meio da criação e implementação de normas e formação profissional, inclusão, educação e assistência (OSHA, 2015).

O acesso as normatizações da OSHA são livres e podem ser encontradas no link: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_id=10758&p\\_table=STANDARDS](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=10758&p_table=STANDARDS).

Para a OSHA, qualquer trabalhador em situação de trabalho acima de 1,80 m, é considerado em condições de trabalho em altura e, nesse caso, é exigido que os empregadores forneçam, antes de se iniciarem os trabalhos, proteção contra quedas, em uma das três maneiras a seguir elencadas.

- a) Guarda-corpo em torno da área de risco.
- b) A implantação de redes de segurança.
- c) Fornecimento de sistemas de travamento de queda de pessoas para os funcionários.

A OSHA 1926.502\* determina que os sistemas de guarda-corpos devem ser compostos por travessão superior, travessão intermediário e montantes, devendo ter uma altura vertical de, aproximadamente, 110 cm, a partir da superfície do travessão superior ao piso, plataforma, pista de decolagem, ou nível de rampa. O travessão intermediário, quando utilizado, deve ser instalado, aproximadamente, à metade da altura entre o travessão superior e o piso de trabalho. Quaisquer outros elementos estruturais que sejam adicionados não podem permitir aberturas maiores que 0,5 m (OSHA, 2016).

Os guarda-corpos, segundo a OSHA 19.26.502, devem suportar, sem ruptura, uma força de 890 N, aplicada em 5,1 cm do travessão superior, em qualquer direção, horizontal ou vertical. Quando ensaiados os sistemas, verticalmente, na aplicação da carga de 890 N, o travessão superior do guarda-corpo não pode deslocar para uma altura menor de 100 cm acima do nível de trabalho (OSHA, 2016).

A recomendação da OSHA 1926.502 para elementos intermediários, de fechamento e elementos estruturais equivalentes é que esses devem suportar, sem ruptura, uma força de 666 N aplicada em qualquer direção, horizontal ou vertical, em uma posição qualquer do guarda-corpo (OSHA, 2016).

---

\* Esta numeração muda anualmente com as atualizações da OSHA, a numeração usada é referente ao ano 2016.

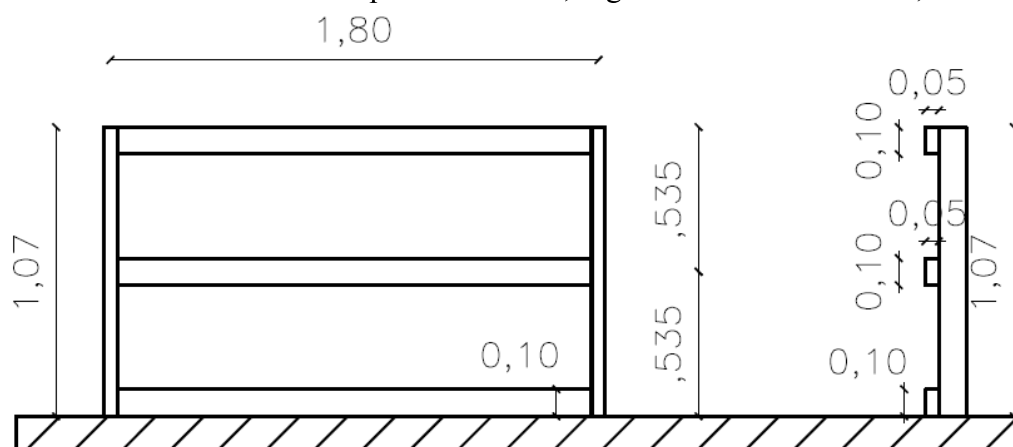
Sobre os rodapés, a OSHA 1926.502 determina que devem ter resistência mínima de 222 N, sem ocorrer ruptura, aplicada em qualquer direção, horizontal ou vertical, ao longo da periferia; ser constituídos de altura mínima de 9 cm, com possíveis folgas de no máximo 0,6 cm com a superfície de trabalho; ser sólidos e não conter aberturas superiores a 2,5 cm (OSHA, 2016).

Quanto ao material utilizado, a OSHA 1926.502 indica que faixas ou fitas de aço ou plásticas não podem ser usadas nos travessões superiores ou intermediários (OSHA, 2016).

Vale destacar que no percurso da realização da pesquisa foram verificadas alterações na norma da OSHA, com a versão antiga da OSHA 1910.23, determinando que os sistemas de guarda-corpos devem ser compostos por travessão superior, travessão intermediário e montantes, e devem ter uma altura vertical de, aproximadamente, 106,7 cm a partir da superfície do travessão superior ao piso de trabalho. O travessão superior deve ser de superfície lisa ao longo do comprimento da grade. O travessão intermediário deve ser instalado, aproximadamente, à metade da altura entre o travessão superior e o piso (OSHA, 2010).

Para a OSHA 1910.23, caso o material adotado seja a madeira, a seção do perfil utilizado para os travessões e montantes deverão ser no mínimo, 5x10 cm com os montantes espaçados a no máximo, 180 cm, conforme Figura 2.

Figura 2: Sistema de Guarda-corpos de madeira, segundo a OSHA 1910.23, em metros

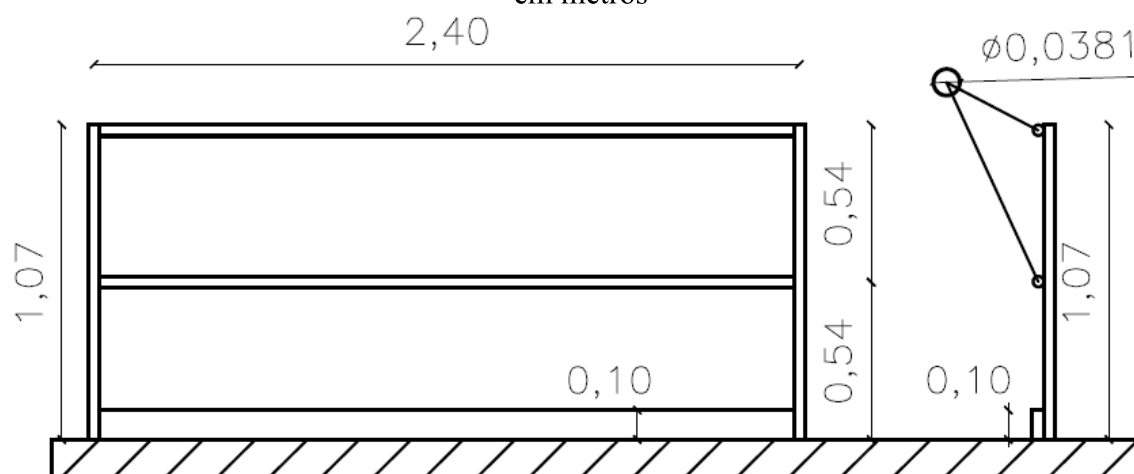


Fonte: Elaborada pela autora.

Caso o material seja perfis estruturais circular, a OSHA 1910.23, determina que o diâmetro mínimo adotado seja de 38,1 mm para montantes e travessões, sendo que a distância máxima entre montantes não exceda 240 cm, conforme Figura 3. E caso a escolha for por um perfil tipo cantoneira a recomendação de utilização mínima é de 5x5 cm com espessura de 1 mm com os espaçamentos entre montantes com 240 cm, conforme Figura 4 (OSHA, 2010).

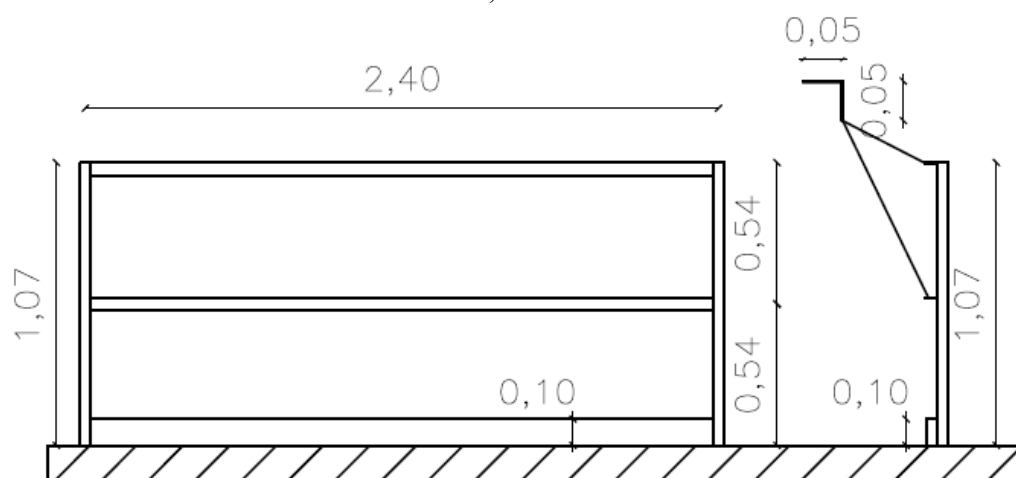
A atual versão da norma para as estruturas de guarda-corpos prevê uma resistência mínima e não mais dimensões de perfis mínimos.

Figura 3: Sistema de Guarda-corpos de perfis estruturais circular, segundo a OSHA 1910.23, em metros



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 4: Sistema de Guarda-corpos de perfis estruturais tipo cantoneira, segundo a OSHA 1910.23, em metros



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 2.4.2 European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA)

*European Agency for Safety and Health at Work* (EU-OSHA) é uma organização da União Europeia em matéria de segurança e saúde no trabalho. O trabalho desenvolvido é baseado em contribuir para o Quadro Estratégico da União Europeia (UE), para a saúde e segurança no trabalho 2014-2020, juntamente com outros programas e estratégias relevantes, como a Europa 2020, sendo tais itens inclusos num pacote de estratégias de crescimento da UE nos âmbitos de uma economia inteligente, sustentável e inclusiva (EU-OSHA, 2015).

Quanto aos riscos na Construção Civil, a EU-OSHA, em sua publicação FACTS 15 - Prevenção de Acidentes no Setor da Construção, demonstra a grande preocupação nessa área, pois, como mostram as estatísticas do setor, a União Europeia apresenta um maior risco de ocorrência de acidentes em nível mundial. Afirma, ainda, que, os trabalhadores da Construção Civil têm duas vezes mais probabilidades de sofrerem ferimentos e três vezes mais probabilidades de sofrerem acidentes mortais, se comparados a trabalhadores de outras áreas, ressalta que o custo desses acidentes são enormes para os indivíduos, as empresa e a sociedade (EU-OSHA, 2001).

Dentre esses perigos que a Construção Civil gera, a EU-OSHA sinaliza que as quedas em altura constituem o maior número de lesões e mortes, na indústria e construção, assim sendo, é ressaltada a importância do uso adequado dos equipamentos de segurança, sendo um deles, os sistemas de guarda-corpos (EU-OSHA, 2015).

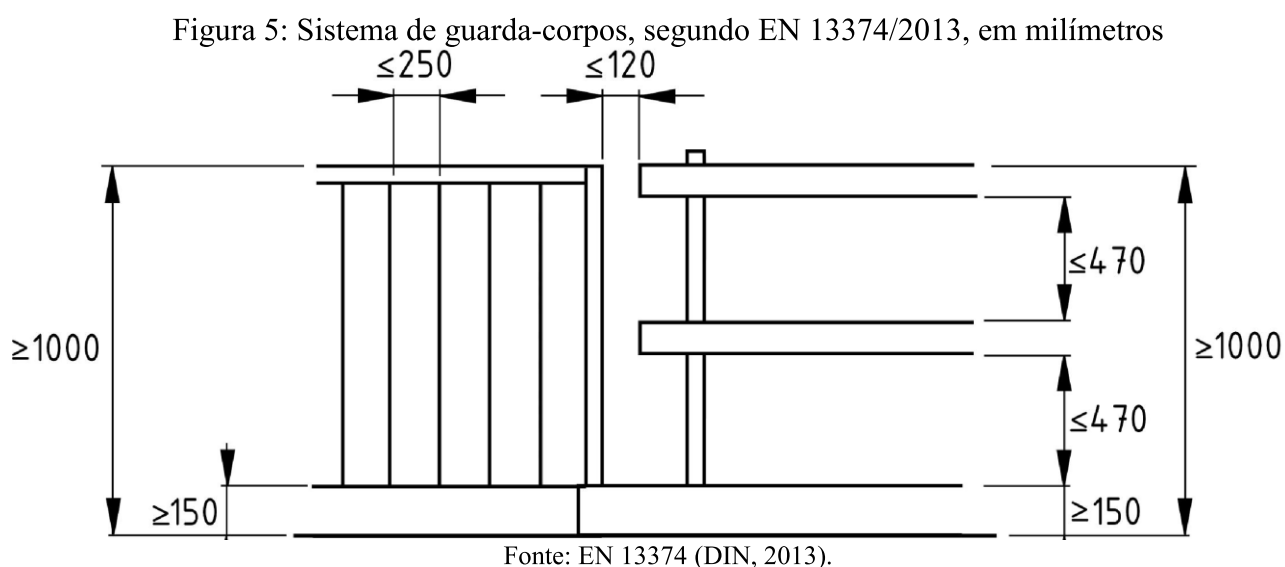
Com isso, apresenta-se a normativa da União Europeia EN 13374, Sistemas de proteção de borda temporária - Especificações do produto - Métodos de ensaio, especificando os requisitos e métodos de ensaio para sistemas de proteção de borda temporária para uso durante a construção ou manutenção de edifícios e outras estruturas. Essa norma define três classes de guarda-corpos, sendo elas A, B e C, variando a carga a ser aplicada e o uso a que se destinam (DIN, 2013).

A classe A, oferece resistência apenas a cargas estáticas, sendo utilizada para apoiar uma pessoa inclinada ou caminhando ao lado, sobre a proteção, e também, para uma pessoa no coletivo que esteja andando ou caindo em direção à proteção (DIN, 2013).

A proteção de classe B oferece resistência a cargas dinâmicas e estáticas, sendo solicitada para além da classe A, para uma pessoa em meio a coletividade que esteja correndo e venha a cair numa superfície inclinada (DIN, 2013).

A classe C destina-se a proporcionar resistência às forças dinâmicas elevadas, com base nos requisitos de segurança para evitar a queda de uma pessoa que deslize em telhados inclinados (DIN, 2013).

Quanto à geometria, a EN 13374 (DIN, 2013), define que a altura mínima entre a superfície de trabalho e o travessão superior deve ser de, no mínimo, 100 cm, sendo que os espaçamentos entre os travessões entre si e a superfície de trabalho não deve ser superior a 47 cm e eventuais espaços de descontinuidade entre os guarda-corpos não superiores a 12 cm, conforme Figura 5.



Quanto às cargas a serem utilizadas pela EN 13374 (DIN, 2013), o dimensionamento deve ser realizado com o estado limite de serviço, estado limite último e ações acidentais, tal como definido no Quadro 1.

O estado limite, 6.3.2 do Quadro 1 é ilustrado pelas Figura 6 e 7, demonstrando como as cargas definidas devem atuar separadamente nos montantes, travessões e rodapés, sendo os valores de  $F_{T1}$  e  $F_{T2}$  de 300N e 200N, respectivamente.

Quadro 1: Requisitos de carga estática pela EN 13374:2013

Linha nº	Cláusula	Caso de carga	Designação	Carga Pontual [N]	Carga Distribuída $q_i$ [N/m <sup>2</sup> ]	$\gamma F$	Requisitos
1	6.3.2	Estado Limite de Serviço (ELS) Rodapé	$F_{T2}$	200	-	1	máx. 55 mm deformação elástica do sistema
		Estado Limite de Serviço (ELS) Guarda Corpo	$F_{T1}$	300			
2	6.3.3	Estado Limite Último (ELU) Rodapé	$F_{H2}$	200	-	1,5	$Ed \leq Rd$
		Estado Limite Último (ELU) Guarda corpo	$F_{H1}$	300			
3	6.3.4	Estado Limite Último (ELU) Máxima vento	$Q_{MW}$	-	600	1,5	$Ed \leq Rd$
4	6.3.5	Estado Limite Último (ELU) Combinação de carga Rodapé	$Q_{WW+FH2}$	200	200	1,5	$Ed \leq Rd$
		Estado Limite Último (ELU) Combinação de carga Guarda corpo	$Q_{WW+FH1}$	300			
5	6.3.6	Estado Limite Último (ELU) Paralelo	$F_{H3}$	200	-	1,5	$Ed \leq Rd$
6	6.3.7	Estado Limite Último (ELU) com cargas acidentais	$F_D$	1250	-	1	$Ed \leq Rd$ máx. 300 mm durante deflexão carga

Em que:

$Ed$  é o valor de cálculo do efeito das ações, por exemplo, flexão, uma força interna ou momento.

$Rd$  valor de cálculo correspondente de resistência.

$F_{T1}$  é a força vertical para montantes e travessões.

$F_{T2}$  é a força vertical para rodapés.

$F_{H1}$  é força horizontal para montantes e travessões.

$F_{H2}$  é a força horizontal para rodapés.

$Q_{MW}$  é a carga de vento.

$Q_{WW}$  é a combinação de carga determinada em 6.3.4.

$F_{H3}$  é força paralela ao sistema.

$F_D$  é a força vertical atuando em um ângulo de até  $\pm 10^\circ$  em relação a face do sistema de guarda-corpos.

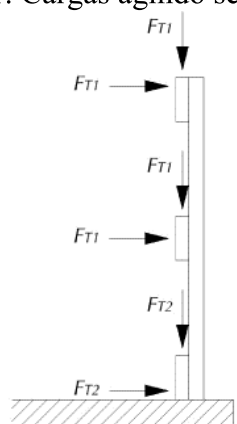
Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

O estado limite, 6.3.3 estado limite último, cargas pontuais, do Quadro 1, é ilustrado pelas Figura 8 e 9, com valores definidos no quadro, diferenciados para montantes e travessões,  $F_{H1}$  de 300 N, e rodapé  $F_{H2}$  de 200N, com um fator de majoração de cargas de 1,5 (EN 13374, DIN, 2013).

O estado limite último, carga máxima de vento, item 6.3.4 do Quadro 1 é ilustrado na Figura 10, em valor de 600 N/m<sup>2</sup>, com um fator de majoração de cargas de 1,5.

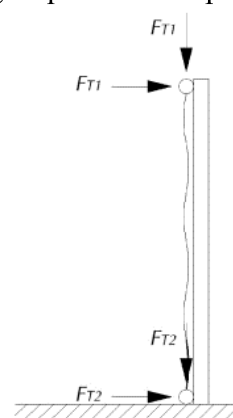
A EN 13374 (DIN, 2013) ressalta que o valor de 600 N/m<sup>2</sup> abrange a maioria dos ventos da Europa, representando um vento nas condições de 40 m de altura e um período de 6 meses de exposição, com uma velocidade de vento de cerca de 32 m/s, sendo que outras condições podem ocorrer.

Figura 6: Estado limite de serviço, alternativas 1. Cargas agindo separadamente



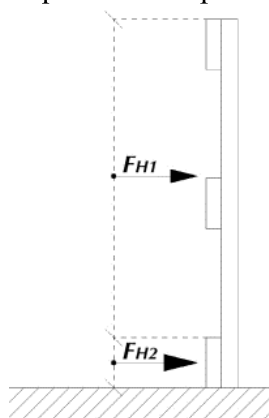
Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 7: Estado limite de serviço, alternativa 2. Cargas que atuam separadamente



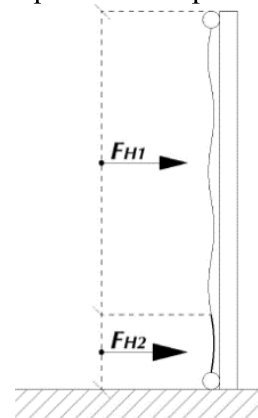
Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 8: Estado limite último, alternativa 1. Cargas que atuam separadamente



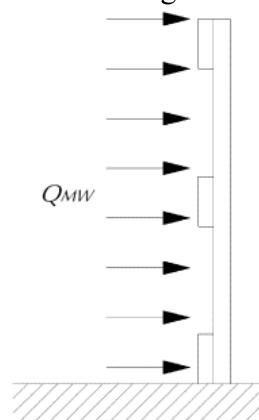
Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 9: Estado limite último, alternativa 2. Cargas que atuam separadamente



Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 10: Estado limite último - Carga de vento máxima, ambas as direções



Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

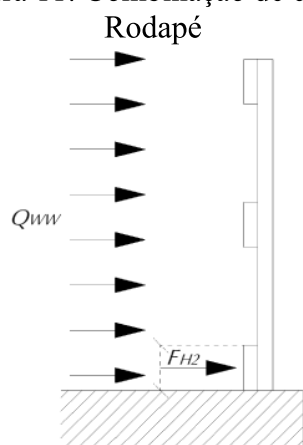


Para o estado último, item 6.3.5 do Quadro 1, as combinações são realizadas a partir de cargas de vento e cargas horizontais, com valores definidos no quadro de  $F_{H1}$  de 300 N,  $F_{H2}$  de 200 N e carga distribuída de vento, nesse caso, de 200 N/m<sup>2</sup>, com um fator de majoração de cargas de 1,5 e a aplicação conforme Figura 11 e 12.

A EN 13374 (DIN, 2013), em seus estados de carregamento, prescreve também uma carga atuando de forma horizontal na estrutura no valor de 200 N e considerando um fator de majoração de cargas de 1,5, conforme estado limite último - 6.3.6 do Quadro 1 e a Figura 13.

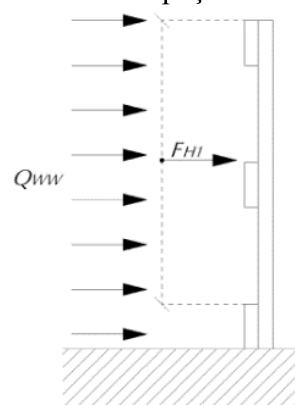
Por fim, o estado limite último com cargas acidentais, item 6.3.7 do Quadro 1 da norma EN 13374 (DIN, 2013), prescreve uma carga acidental vertical  $F_D$  de 1250 N, aplicada em um ângulo de até  $\pm 10^\circ$  em relação à face do sistema de guarda-corpos, conforme a Figura 14.

Figura 11: Combinação de carga



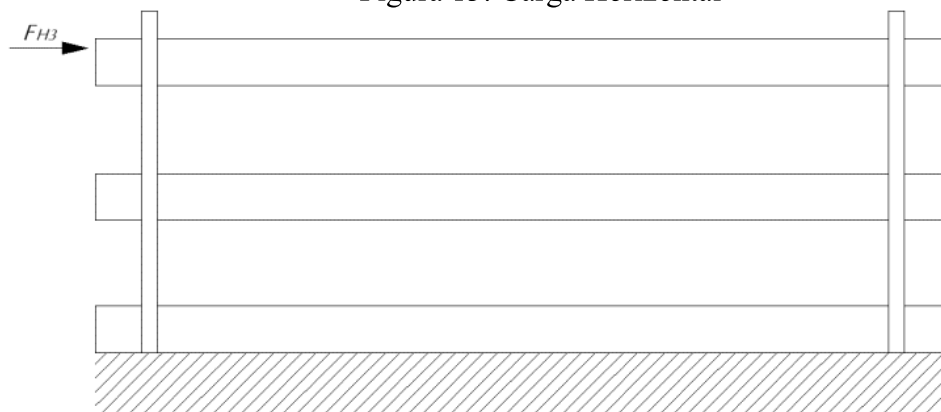
Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 12: Combinação de carga. Todas as outras peças



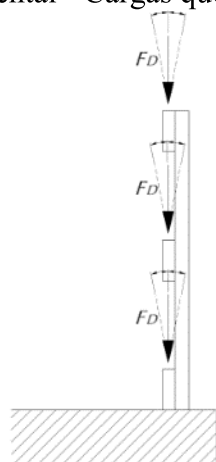
Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 13: Carga Horizontal



Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 14: Carga acidental - Cargas que atuam separadamente



Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

#### 2.4.2.1 Método de ensaio EN 13374:2013 - ensaio carga estática

A EN 13374 (DIN, 2013) define que são necessárias, no mínimo, quatro amostras em cada tipo de ensaio, sendo as estruturas ensaiadas em duas etapas: ensaio para manutenção e ensaio de resistência.

Etapas para o ensaio de manutenção:

a) Procedimento pré-teste:

Antes de qualquer teste, deve ser aplicada a carga de teste durante um minuto e em seguida removida essa carga. A medição de deslocamentos do sistema nesse momento deve ser registrada como,  $\delta_1$ , posição inicial. A finalidade dessa etapa é ter certeza de que o sistema está bem instalado ou que qualquer folga seja retirada.

b) Procedimento de teste:

O sistema deverá ser carregado conforme Figura 6 e Figura 7, no ponto mais desfavorável do sistema. A deflexão instantânea nesse momento deverá ser registrada como  $\delta_2$ .

c) Avaliação dos resultados dos registros do ensaio:

Para a avaliação de deslocamentos, deverá ser calculada a deflexão média ( $\delta_2 - \delta_1$ ) dos testes efetuados, devendo ser, no máximo, 55 mm, não podendo exceder a 60 mm.

As etapas para o ensaio de resistência:

a) Procedimento de teste:

O sistema deverá ser carregado pela carga máxima de teste, sendo definida pela Equação 01:

$$F_{max} = \gamma_M \times \gamma_F \times Q_k \quad (1)$$

Em que:  $\gamma_M$  e  $\gamma_F$  são fatores de segurança, sendo:

$\gamma_F = 0,9$  para cargas favoráveis e 1,5 para cargas permanentes e variáveis.

$\gamma_M = 1,1$  para materiais dúcteis metálicos, 1,25 para materiais metálicos frágeis e 1,3 para madeiras.

E o  $Q_k$  é a carga característica para o caso a ser considerado, como na Figura 8, Figura 9 e Figura 14, linhas 2 e 6 do Quadro 1.

As cargas devem ser aplicadas no ponto mais desfavorável da estrutura e, quando distribuídas, podem ser cargas pontuais resultantes.

A carga máxima, na estrutura, deve ser aplicada por um minuto, não podendo ser identificável durante esse tempo qualquer sinal de ruptura do sistema.

O sistema, então, deverá ser levado até sua carga máxima ou de ruptura,  $R_u$ , sendo possível identificar falhas no sistema, seja no todo ou em parte dos componentes.

b) Registros:

Os dados que deverão ser registrados são, carga máxima,  $R_u$ , e quaisquer observações quanto à integridade do sistema.

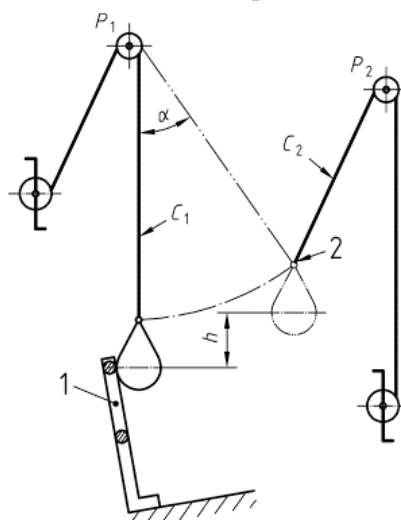
c) Avaliação de resultados registados:

Após a conclusão do ensaio, a carga máxima,  $R_u$ , não deve ser menor que o valor de  $F_{max}$  calculado.

#### **2.4.2.2 Método de ensaio EN 13374, ensaio carga dinâmica - DIN (2013)**

Essa queda pelo pêndulo, quando bater no guarda-corpo, o objeto deve estar em posição aproximadamente vertical. A seguir, na Figura 15, está apresentado um aparelho de teste recomendado pela EN 13374 (DIN, 2013).

Figura 15: Esquema do ensaio com aplicação da carga com impacto



Fonte: EN 13374 (DIN, 2013).

a) Procedimento de teste:

Determinar um ponto de referência para as medições de deslocamentos,  $\delta$ , do sistema de proteção do tipo guarda-corpos. Levantar o objeto com parte inferior em forma esférica e na parte superior cônica, a posição inicial e liberar para que ocorra o impacto no travessão superior, seguindo, após o impacto, com a medição da deflexão instantânea,  $\delta$ , no ponto de impacto, registrar os resultados e repetir para o travessão intermediário.

Dois tipos de teste de impacto devem ser realizados. O primeiro deve ter impacto no montante e o segundo, no ponto central dos travessões.

Para o caso dos montantes deve ser aplicado um impacto no valor de 500 J na parte superior, seguido por um impacto na parte mais baixa do montante, no valor de 1100 J.

Para o caso dos travessões, deve-se proceder de maneira similar aos montantes, primeiramente, produzir um impacto no valor de 500 J no travessão superior, em seguida, um impacto de 1100 J na parte mais baixa da proteção de periferia.

Durante esses procedimentos, nenhum componente do sistema pode ser substituído.

b) Registros de teste:

Os dados que devem ser registrados são: as deflexões instantâneas,  $\delta$ , para os dois pontos de impacto.

c) Requisitos:

O objeto ensaiado deve ser parado pela proteção de guarda-corpos.

A deflexão mínima deve ser de 100 mm no momento em que a energia é absorvida pelo sistema de proteção. O sistema, após o teste, poderá ficar deformado (DIN, 2013).

### 2.4.3 Québec Safety Code for the Construction Industry (S-2.1, r.4)

A *Régie du bâtiment du Québec* (RBQ), regulamento de edificações de Québec, é uma organização que tem como missão a qualidade do trabalho e segurança das edificações. A organização foi criada em 1992, sob a responsabilidade do *ministre du travail de l'Emploi et de la Solidarité*, ministério do trabalho, do emprego e da solidariedade. Tal organização localiza-se em Montreal e os serviços estão localizados em todo o território da província de Québec (RBQ, 2015).

Para a fiscalização da Construção Civil, existe o código de *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4). Segundo esse código, devem ser instalados guarda-corpos e medidas de proteção, sempre que realizados trabalhos com riscos de queda, como descrito a seguir.

- a) Em um líquido ou substância perigosa.
- b) Uma distância vertical de 1,2 m ou mais, onde se use um carrinho de mão ou outro veículo.
- c) Uma altura superior a 3 m, em caixas ou outras (QUÉBEC, 2016).

O código de *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4) determina que as resistências que os guarda-corpos devem apresentar são as que seguem.

- a) Uma carga horizontal concentrada de 900 N aplicada em qualquer ponto do travessão superior.
- b) Uma carga vertical concentrada de 450 N aplicada em qualquer ponto do travessão superior.

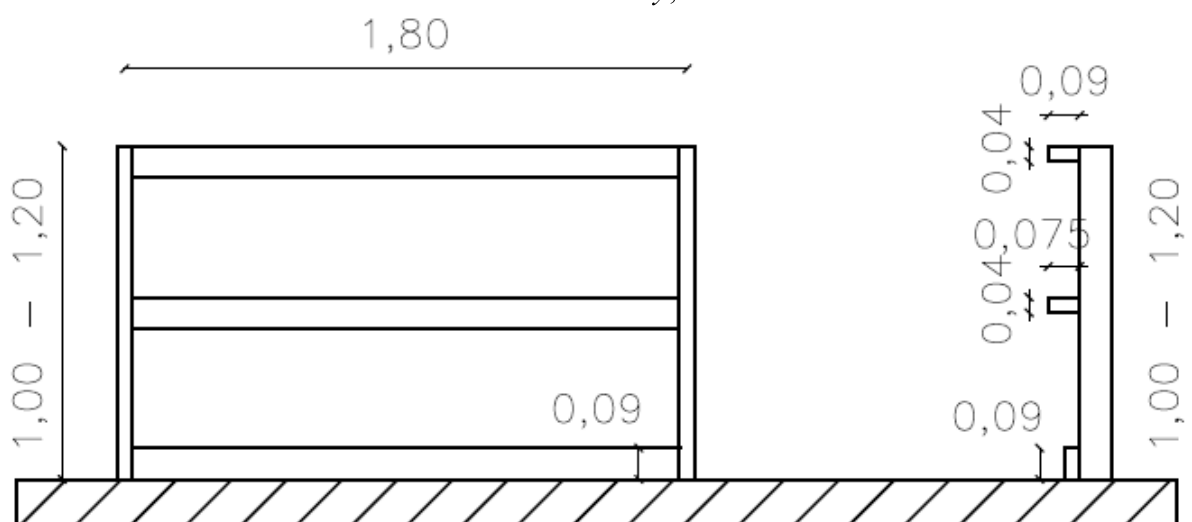
Em casos especiais de concentração de trabalhadores bem como áreas onde um guarda-corpo pode ser submetido a pressões anormais, o guarda-corpo deve ser reforçado em conformidade com o prescrito em *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4), (QUÉBEC, 2016).

Quanto à geometria, o código *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4) recomenda que a altura dos guarda-corpos, deve ser compreendida, entre 1,0 m e 1,20 m acima do nível de trabalho (QUÉBEC, 2016).

Caso o material utilizado seja a madeira, o código *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4) define que a seção do travessão superior e montante devem ser, no mínimo, 4x9 cm com os montantes espaçados a uma distância máxima de 180 cm, o travessão intermediário, com dimensão de, no mínimo, 4x7,5 cm e o rodapé com, no mínimo, 9 cm de altura, ambos fixados internamente ao montante, com segurança, conforme Figura 16 (QUÉBEC, 2016).

Caso o material seja de aço, as recomendações do código *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4) são de que os guarda-corpos devem ser concebidos, construídos, instalados e mantidos de forma a oferecer uma resistência e uma segurança, igual ou superior, à necessária para os sistemas de madeira (QUÉBEC, 2016).

Figura 16: Sistema de guarda-corpos de madeira, segundo *Québec Safety Code for the Construction Industry*, em metros



Fonte: Elaborada pela autora.

Assim, como as normas da OSHA, o código do *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1 r.4) é de livre acesso pelo link: <http://legisquebec.gouv.qc.ca/en/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%204>

#### 2.4.4 Normas da Austrália e Nova Zelândia AS/NZS 4994

Na Austrália e na Nova Zelândia, existe a normatização AS/NZS 4994 para proteções de periferias. Essa norma contém quatro partes, sendo a primeira delas a AS/NZS 4994.1 (2009a), Proteção temporária de periferia – Parte 1: Requisitos Gerais; a segunda AS/NZS 4.994.2 (2009b),

Proteção temporária de periferia – Parte 2: Proteção de periferia em telhado - instalação e desinstalação; a terceira AS/NZS 4994.3 (2010), Proteção temporária de periferia – Parte 3: Instalação e desinstalação para fins diferentes de periferias em telhados; e a quarta, e última, AS/NZS 4994.4 (2016), Proteção temporária de periferia – Parte 4: Telas de proteção de perímetro.

A norma AS/NZS 4994.1 Proteção temporária de periferia – Parte 1: Requisitos Gerais tem como escopo requisitos padrões para o projeto, a fabricação e os testes de equipamentos, que se destinam a fornecer proteção para o trabalho realizado em periferias de telhados, em edifícios com declividades não superiores a 35° em relação à horizontal e para periferias em gerais (AS/NZS, 2009a).

Quanto aos materiais utilizados, a norma AS/NZS 4.994.1 determina que devem atender às normatizações específicas desses países e, além disso, quando forem utilizados perfis de aço, devem ser resistentes à corrosão, tanto interna, quanto externamente. Quando a espessura da parede for inferior a 2,5 mm e a seção for fabricada a partir de soldagem, o componente deverá ser galvanizado a quente para garantir que ambas as superfícies internas e externas sejam revestidas de acordo com AS/NZS 4680 (2009a).

Como base para o projeto, a AS/NZS 4.994.1 determina que o projeto estrutural deve incorporar quesitos de flexibilidade estrutural para minimizar prejuízos, caso ocorra o impacto entre estrutura e pessoa, não utilizando bordas afiadas. Ainda, deve ser concebido de forma que a força de impacto seja transferida para o equipamento e evite deslocamentos da estrutura e queda de pessoas. Deve ser verificada a resistência, por meio de ensaios ou empiricamente, incluindo testes de verificação para esse padrão (AS/NZS, 2009a).

Quanto à geometria dos rodapés, a AS/NZS 4.994.1 define que devem ter altura superior a 150 mm, com resistência suficiente e rigidez para evitar que uma pessoa passe pelo rodapé, que deve ser conectado de forma segura com os montantes. A distância máxima entre o rodapé e a laje é de 10 mm (AS/NZS, 2009a).

No projeto, deve-se prever, além das cargas citadas a seguir, as cargas de vento, conforme especificado pela AS/NZS 1.170.2 e outras cargas ambientais (AS/NZS, 2009b). As cargas estáticas devem ser aplicadas em qualquer ponto e qualquer direção dos montantes ou travessões superiores, no valor de 600 N, e o deslocamento máximo, tanto em montantes como em travessões, não deve exceder ao valor de 101 mm (AS/NZS, 2009b).

Segundo a determinação da AS/NZS 4.994.1, as cargas dinâmicas devem prever uma pessoa impactando contra a proteção de borda, na forma, por exemplo, do resultado de um tropeço, deslizando do telhado, ou em queda, calculando a força transmitida pelo impacto. O deslocamento não deve ultrapassar os limites especificados nos Apêndices C e D detalhados a seguir (AS/NZS, 2009a).

O Apêndice C, AS/NZS 4.994.1, traz um método de ensaio de impacto, sendo os procedimentos:

- a) Montagem do sistema de guarda-corpos, simulando a forma pretendida de utilização desses em obras.
- b) Montagem de um sistema de pêndulo para impacto, garantindo que apenas o travessão superior seja impactado pelo bloco formado por aço com uma camada de borracha para o impacto na estrutura, com massa de 60 kg e dimensões de 300 x 300 mm.
- c) Definição de pontos de medição de deslocamentos horizontais.
- d) Elevação do pêndulo a uma altura de pelo menos 1000 mm acima do ponto de impacto.
- e) Queda pendular com oscilação livre em torno do ponto de articulação.
- f) Registro de qualquer deslocamento horizontal ou falha da estrutura (AS/NZS, 2009a).

Critérios de aceitação:

- a) Durante o teste, o deslocamento do topo do montante, quando testados isoladamente, não deve atingir 401 mm, medidos horizontalmente para fora.
- b) Durante o teste, o deslocamento do travessão superior não deve chegar a 401 mm, medidos horizontalmente para fora.
- c) Nenhum componente do conjunto testado deve desprender-se.
- d) Nenhuma parte do conjunto testado deve sofrer falha estrutural (AS/NZS, 2009a).

No Apêndice D, AS/NZS 4.994.1, é definido um método de ensaio para rodapés, sendo que os procedimentos, conforme explicado anteriormente, variam apenas em termos dos critérios de aceitação para:

- a) Durante o teste, o deslocamento do travessão inferior, deve ser menor que 201 mm, medidos horizontalmente.



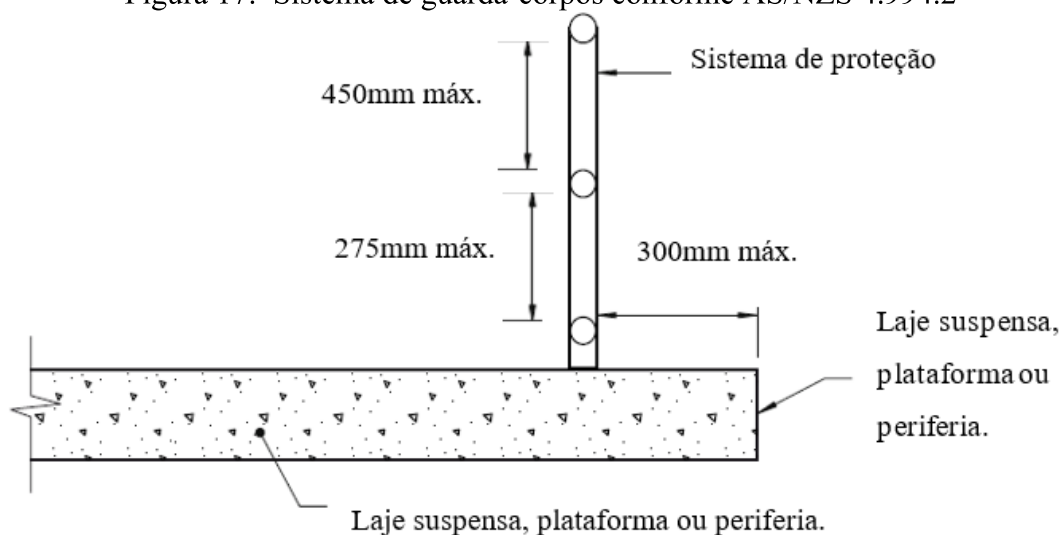
- b) Durante o teste, o deslocamento de qualquer parte do rodapé deve ser menor que 201 mm, medidos horizontalmente.
- c) Nenhum componente do conjunto testado deve se desprender.
- d) Nenhuma parte do conjunto testado deve sofrer falha estrutural (AS/NZS, 2009a).

A AS/NZS 4.994.2, Proteção temporária de periferia – Parte 2: Proteção de periferia em telhado - instalação e desinstalação recomenda que para a instalação de um sistema de proteção de periferia, deve-se ter o cuidado especial com as pessoas que vão realizar essa montagem, de forma que seja assegurado o processo de instalação (AS/NZS, 2009b).

Sobre a altura mínima, a AS/NZS 4.994.2 recomenda que a estrutura de guarda-corpo seja superior a 900 mm, a contar do piso da laje, instalada a uma distância de 300 mm da periferia, conforme Figura 17, considera, ainda, que outros tipos de anexos à estrutura do edifício podem ser usados, diferente do apresentado na Figura 17 (AS/NZS, 2009b).

A distância utilizada entre os travessões não deve ser superior a 450mm e a distância entre rodapé e travessão intermediário não deve ultrapassar a 275 mm.

Figura 17: Sistema de guarda-corpos conforme AS/NZS 4.994.2



Fonte: Adaptado de AS/NZS, 2009b.

## 2.5. Comparação entre as normatizações nacionais e internacionais

No Quadro 2, é possível analisar as diferentes normas regulamentadoras nacionais Brasileiras, NR 18 (BRASIL, 2015) e NR 35 (BRASIL, 2016) e o que preconiza cada uma delas,

quanto ao trabalho em altura. Além dessas, tem-se a Recomendação Técnica de Procedimentos, RTP 01 (FUNDACENTRO, 2003), e ainda através da consulta pública da NR 18 (CPN, 2015) é possível analisar as possíveis mudanças da NR 18 quanto as estruturas de guarda-corpos. As normas internacionais analisadas, neste estudo, foram as normas dos Estados Unidos da América, OSHA 1926.502 (OSHA, 2016), da União Europeia, EN13374 (DIN, 2013), do Québec S-2.1, r.4 (QUÉBEC, 2016) e da Austrália e Nova Zelândia AS/NZS 4994.1 (2009a), AS/NZS 4994.2 (2009b) e AS/NZS 4994.3 (2010).

Quadro 2: Comparativo entre diversas normas

Normas		Geometria					Trabalho em altura acima de: (m)	Ação Aplicada	
		Altura travessão superior (m)	Altura travessão intermediário (m)	Rodapé (m)	Distância entre montantes				Seção (mm)
					Material	Distância (m)			
	NR 18 (BRASIL, 2015)	1,20	0,70	0,20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	Possíveis alterações NR 18 (CPN, 2015)	1,00	< que 0,5	0,14	N.D.	N.D.	N.D.	Travessão superior = 90 kgf	
								Elementos Intermediários = 66 kgf	
								Rodapé = 22 kgf	
NR 35 (BRASIL, 2016)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,00	NA	
RTP 01 (FUNDACENTRO, 2003)	N.D.	N.D.	N.D.	Madeira	1,50	N.D.	N.D.	1500 N/m	
EUA	OSHA 1023.10 (OSHA, 2010)	1,07	0,54	0,10	Madeira	1,80	50x100	1,80	900 N
					Perfis Estruturais Circular	2,40	ø 38,1		
					Perfis Estruturais Cantoneira	2,40	5x5x1		
	OSHA 1926.502 (OSHA, 2016)	1,10	< que 0,5	0,09	N.D.	N.D.	N.D.	1,80	Travessão superior = 890 N Elementos Intermediários = 666 N Rodapé = 222 N
União Européia	EN 13374 (DIN, 2013)	1,00	< que 0,47	0,15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Conforme Quadro 1
Québec	S-2.1, r.4 (QUÉBEC, 2016)	1 - 1,20	N.D.	0,09	Madeira	1,8	40x90 * 40x75**	1,2	Horizontal = 900 N Vertical = 450 N
Austrália e Nova Zelândia	AS/NZS 4994 (AS/NZS 2009a, 2009b, 2010)	> 0,90	<0,275	>0,15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Horizontal = 600 N

N.D. Não disponível

\* Para montantes e travessão superior

\*\* Para travessão intermediário

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que as maiores divergências entre as normas estão na aplicação da carga com 1500 N/m na RTP 01, a OSHA 1926.502 determina 890 N para montantes e travessões superiores, elementos intermediários e de fechamento com resistência de 666 N e rodapé com 222N. Quanto à EN13374, é normatizado todo um método de cálculo com cargas para o Estado Limite de Serviço

(ELS), Estado Limite Último (ELU) e Cargas Acidentais para cada constituinte do guarda-corpo; a norma do Québec prescreve uma resistência mínima para o travessão de uma carga horizontal de 900 N e vertical de 450 N e a norma AS/NZS 4994 com 600 N, aplicados em qualquer ponto e qualquer direção da estrutura.

Ainda, a partir da versão disponível para a consulta pública da NR 18 (CPN, 2015) é possível analisar que através das possíveis alterações desta normatização, a norma brasileira iria ao encontro das disposições da norma dos Estados Unidos da América, com o requisito de aplicações de cargas similares entre as duas.

## **2.6. Estudos realizados em guarda-corpos provisórios**

A seguir, serão apresentados estudos, nacionais e internacionais, realizados na área de guarda-corpos, focando, principalmente, em métodos de análise e principais conclusões que os autores chegaram, após pesquisas.

Costella et al. (2014) realizou ensaios do sistema de guarda-corpos de acordo com a NR-18 e a NBR 14718/2001, com cargas estáticas de 800 N e 1500 N e cargas dinâmicas de 700 Joules. Os ensaios foram realizados em cinco obras do município de Chapecó-SC, totalizando oito guarda-corpos ensaiados de diferentes configurações, sendo basicamente de madeira e alguns com montantes de aço ou travessões pregados diretamente na estrutura da obra.

Os resultados encontrados pelos autores demonstraram que, quando submetidos à carga estática de 800 N, os guarda-corpos apresentaram 75% de aprovação com deslocamentos permitidos pela NBR 14718 (ABNT, 2001). Já, quando submetidos a uma carga de 1500 N, todos os guarda-corpos apresentaram deslocamentos excessivos. Para os carregamentos dinâmicos, 75% dos guarda-corpos resistiram ao impacto gerado, sendo que 12,5% romperam e 12,5% indicaram desprendimento do sistema (COSTELLA et al., 2014).

Lan e Daigle (2008) realizaram um estudo sobre guarda-corpos de madeira, a fim de atender à determinação do código de Québec *Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1, r.6). Os autores não observaram apenas a capacidade resistente dos sistemas, mas, também, realizaram um estudo com entrevistas com profissionais da área de Segurança e Saúde do Trabalho e visitas a obras locais, a fim de determinar qual o conjunto de guarda-corpos era o mais adequado e quais as maiores dificuldades encontradas na instalação e utilização desses sistemas.

Os guarda-corpos são instalados, geralmente, a um metro da borda com perfis de madeira de 38x89 mm. Os montantes foram pregados no chão, havendo um cuidado especial com essa fixação e um reforço dessa estrutura. O travessão superior foi pregado em montantes espaçados a 1,80 m, sendo que esse não resistiu aos esforços submetidos de acordo com o código. O travessão intermediário, foi fixado na metade da altura dos guarda-corpos, tendo apresentado bons resultados, sendo que a altura dos sistemas variou de 1 m a 1,20 m. Com a pesquisa em canteiro de obras, os autores chegaram à conclusão de que os guarda-corpos com maior rigidez têm uma maior probabilidade de passar nos testes de resistência (LAN; DAIGLE, 2008).

Quanto aos testes experimentais, primeiramente ensaiaram as estruturas estaticamente de acordo com as cargas estipuladas pelo código de *Québec Safety Code for the Construction Industry* (S-2.1, r.6) e, após, ensaiaram a estrutura a partir dos testes do *Institut National Recherche et de de Sécurité*, sendo aplicada uma carga de 1000 N a uma velocidade de 2 m/s. (LAN; DAIGLE, 2008).

Os ensaios estáticos demonstraram que nem sempre as estruturas de madeira vão resistir aos esforços horizontais aplicados de 700 N, 800 N e 900 N. Quanto aos reforços realizados nos montantes, observaram que esses ajudam, consideravelmente, no sistema, fazendo com que os deslocamentos sejam menores (LAN; DAIGLE, 2008).

Quanto aos testes dinâmicos, esses foram realizados simulando um corpo humano de 100 kg (1000 N), atingindo um guarda-corpo a 2 m/s, mostrando mais uma vez que os guarda-corpos de madeira, na concepção utilizada no ensaio, não resistem aos esforços gerados pela queda de um trabalhador (LAN; DAIGLE, 2008).

Os autores recomendam que a seção maior da madeira de 89 mm, seja instalada de forma que a maior inércia receba as cargas horizontais e que sejam utilizadas madeiras de melhor qualidade, madeiras estruturais, com isso sugerem uma alteração no código utilizado, a fim que determine a qualidade da madeira a ser utilizada nos sistemas. Também quanto à fixação da estrutura na laje, sugerem que seja incluído a necessidade de reforço (LAN; DAIGLE, 2008).

De acordo com os estudos realizados por Costella et al. (2014) e Lan e Daigle (2008), observa-se que estruturas de guarda-corpos de madeira não seriam as mais indicadas para a Construção Civil, há necessidade de maiores estudos na área e a utilização de outros materiais em conjunto, a fim de garantir que os guarda-corpos possam impedir a queda de trabalhadores nesse setor.

Bobick, McKenzie e Kau (2010) em uma pesquisa pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde do Trabalho (NIOSH), Divisão de Investigação de Segurança, *Morgantown, West Virginia*, avaliaram dois sistemas comerciais de guarda-corpos, de madeira com seção de 2"x4", aproximadamente 5 x 10 cm, típico de obra de Construção Civil, com objetivos de verificar o atendimento a exigência de carga da OSHA, método de instalação e força global do sistema assim como a quantidade de madeira utilizada para cada sistema e a influência da qualidade da madeira, esses foram avaliados por meio de ensaios experimentais.

Para a construção dos guarda-corpos, foram alocados nove funcionários de obras, que atingiram uma média de idade de 29,6 anos, variando de 19 a 42 anos e média de anos de trabalho de 11,4 anos, com variação de 2 a 20 anos. Cada um dos funcionários tinha a missão de confeccionar sistemas de proteção para os buracos, em lajes, que foram simulados, sendo que no final de três dias, cada construtor havia construído cinco sistemas, sendo três em telhados planos e dois em telhados inclinados. Os guarda-corpos foram construídos em peças de madeira de seção de 5x10 cm, conforme recomendações da OSHA 1910.23(e)(3)(i) (BOBICK; MCKENZIE; KAU, 2010).

Para simular uma queda real, os autores, reproduziram um manequim, na forma de um corpo humano, o qual foi preenchido com grânulos de borracha e areia até chegar ao peso desejado de 90 kg, após, foi montado uma estrutura de aço que foi articulada na altura dos joelhos para recriar o movimento de um ser humano ao tropeçar e cair na estrutura (BOBICK; MCKENZIE; KAU, 2010).

Com o estudo, os autores chegaram à conclusão que é imprescindível a instalação de guarda-corpos, fabricados com madeira nova, e que a reutilização da madeira torna-se uma prática insegura que deve ser evitada (BOBICK; MCKENZIE; KAU, 2010).

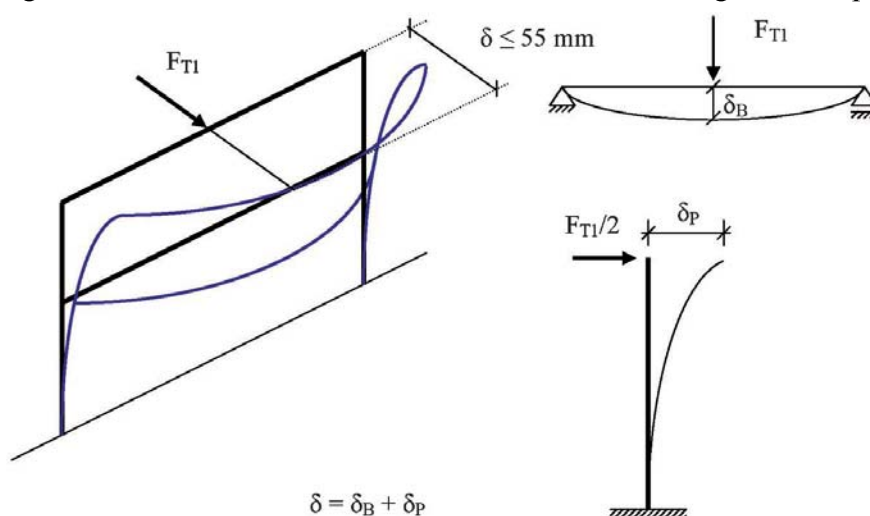
Com os testes realizados, os autores afirmam, ainda, que os dois sistemas de guarda-corpos de madeira de 2"x4", conforme recomendações da OSHA 1910.23(e) (3)(i), podem ser utilizados com segurança, desde que os parafusos e/ou pregos sejam dimensionados adequadamente. (BOBICK; MCKENZIE; KAU, 2010).

Gonzalez et al. (2011), a fim de atender os requisitos em obras da Construção Civil, quanto à utilização de estruturas de guarda-corpos definidos pela normatização EN 13374 (2004), realizaram estudos analíticos e ensaios experimentais.

No estudo, os autores analisaram três configurações diferentes de estrutura de aço. A primeira, com travessões de seção circular com 25 mm de diâmetro e 1,5 mm de espessura e os montantes com seção circular de 40mm de diâmetro e 1,5 mm de espessura. O segundo modelo, foi feito com travessões de seção circular de 40 mm e espessura de 1,5 mm e montantes de seção quadrada de 35 mm e espessura de 1,5 mm. Para o terceiro modelo, foi utilizado tanto para travessões, como para montantes, seção circular de 40 mm e espessura de 2 mm. Nos três modelos, os montantes se distanciaram 2,40 m e com uma altura de 1 m. Para o rodapé, eles utilizaram uma placa de aço formado a frio (GONZALEZ et al., 2011).

O cálculo da estrutura foi considerado separadamente, incluindo, nas análises, os efeitos produzidos pelo restante, como se o travessão fosse uma viga simplesmente apoiada e o montante um suporte incorporado na estrutura de concreto. A Figura 18 demonstra como é realizada a aplicação de cargas na estrutura pelos autores, levando em consideração o método de dimensionamento da EN 13374 (GONZALEZ et al., 2011).

Figura 18: Método de dimensionamento da estrutura de guarda-corpo



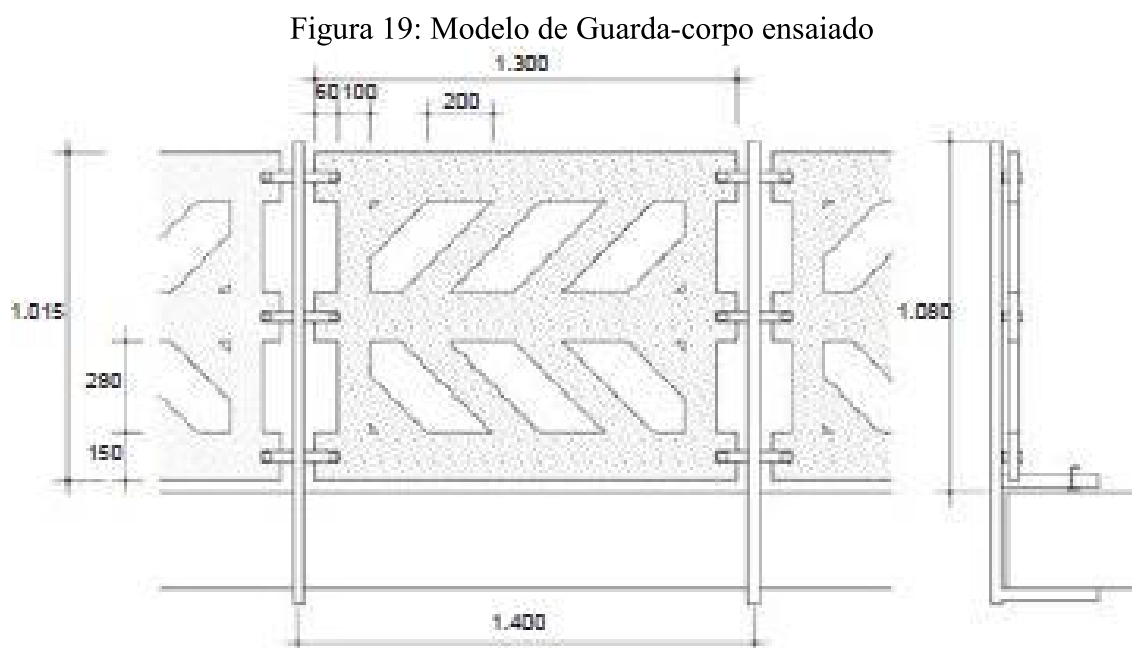
Fonte: Gonzalez et al. (2011).

Os resultados encontrados pelos autores para o cumprimento da norma EN 13374, requisitos analíticos e experimental, foram que, para o primeiro sistema, usualmente utilizados nas obras da Espanha, não se observou o cumprimento de ambos os requisitos. No segundo sistema, o montante excedeu os requisitos de resistência da norma analiticamente, mas não

experimentalmente. E o terceiro sistema, atende os requisitos, em ambas as análises (GONZALEZ et al., 2011).

González et al. (2013), em outro trabalho realizado com guarda-corpos, analisaram o comportamento de estruturas de guarda-corpos com material de polietileno de alta densidade, com adição de fibra de vidro, sob cargas estáticas e de impacto, como método de ensaios que utilizaram a EN 13374 (2004).

A geometria do modelo baseou-se em três travessões com 15 cm de altura, dois elementos verticais nas laterais e elementos intermediários na diagonal, os montantes instalados em aço com 108 cm de altura, seção circular de 35 mm e espessura de 1,5 mm distanciados a 140 m, conforme Figura 19 (GONZALEZ et al., 2013).



Fonte: GONZALEZ et al. (2013).

Os autores ressaltaram que o material utilizado se mostrou mais adequado do que a estrutura de aço e de madeira, no caso de solicitações tanto estáticas como dinâmicas (GONZALEZ et al., 2013).

González et al. (2015), em seus estudos, ensaiaram sete estruturas de guarda-corpos, dimensionados pela EN 13374, com montantes espaçados a 2400 mm e uma altura de 1000 mm, com montantes de aço de seções tubulares de 40x1,25 mm e 30x1,5mm e para travessões de aço

com seção tubular de 25x1,5mm e 25x1,5mm e de madeira com seções de 150x22mm e 150x27mm, com as estruturas ancoradas diretamente no concreto.

Para esse sistema de guarda-corpo de aço, o travessão tubular de 25x1,5 mm a uma carga estática de 0,3 kN gerou um deslocamento de 66,67 mm e carga de 0,5 kN; o deslocamento foi de 138,24 mm, houve a ruptura do sistema com a aplicação de 0,57 kN, para o travessão de aço tubular de 40x1,5 mm, os deslocamentos foram em torno de 27,81 mm para a carga de 0,3 kN e 47,76 mm para a carga de 0,5 kN, com resistência à ruptura maior que 0,60 kN (GONZÁLEZ et al., 2015).

Para as estruturas de madeiras para dois tipos de classificação da madeira, o perfil 150X22 mm apresentou deslocamentos entre 93,69 mm e 101,69 mm para a carga de 0,3 kN; para a carga de 0,5 kN, os deslocamentos foram em torno de 202,98 mm a 227,98 mm. Ainda, para o perfil 150X27mm, com três classificações da madeira, os deslocamentos para a carga de 0,3 kN foram em torno de 39,69 mm a 55,54 mm e, para a carga de 0,5 kN, os deslocamentos foram em torno de 81,98 a 111,83mm. Para os sistemas de madeira, a resistência última foi maior que 0,72 kN (GONZÁLEZ et al., 2015).

Todos os sistemas foram submetidos a impactos de 180 J, com um sólido de 90 kg a 2 m/s, embora tenham se comportado de maneiras diferentes, todos os sistemas resistiram. O guarda-corpo de travessão de aço tubular de 25x1,5 mm gerou deslocamentos excessivos de 115,01 mm e sofreu deformações plásticas. Os outros sistemas não obtiveram deformações plásticas (GONZÁLEZ et al., 2015).

Os resultados obtidos com os sistemas de guarda-corpos demonstram que as estruturas são capazes de atender a requisitos de impacto de 180 J, mas que, em alguns casos, não atenderam aos requisitos estáticos da EN 13374, considerando que esses são mais exigentes do que o impacto de 180 J em todos os sistemas estudados (GONZÁLEZ et al., 2015).

Os autores ainda acreditam que o saco usado no ensaio absorve menos o impacto do que o corpo humano, sendo que as estruturas são mais carregadas nos ensaios do que em um caso real de queda e argumentam que o ideal seria a modificação do sistema de ensaio que permitisse simular melhor a queda de uma pessoa (GONZÁLEZ et al., 2015).

Com outro enfoque, Peñaloza, Formoso e Saurin (2015) apresentam um trabalho em que avaliam alguns critérios qualitativos de desempenho relacionados a sistemas de proteção de periferia (SPP), avaliando equipamentos disponíveis na Região Metropolitana de Porto Alegre/RS. Os sistemas analisados constituíam-se de guarda-corpos de madeira, de aço e mistos.



O trabalho consistiu na identificação de requisitos existentes em normas nacionais e internacionais e a definição de novos requisitos a partir de entrevistas com engenheiros responsáveis, técnicos em segurança do trabalho, projetistas de SPP, auditores fiscais, representantes de empresas que produzem SSP e trabalhadores responsáveis pela execução do sistema (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2015).

Em seguida, os requisitos levantados na primeira etapa foram classificados em três categorias, sendo: quinze requisitos de segurança, doze requisitos de eficiência e seis requisitos de flexibilidade. Em seguida, os protocolos foram divididos em duas partes: ênfase na avaliação dos requisitos na situação de projeto e situação de uso dentro do canteiro de obras e definidos critérios de avaliação para esses. Na última etapa, foram aplicados os protocolos por outros pesquisadores e estabelecido o protocolo de avaliação de requisitos de desempenho dos sistemas de guarda-corpos (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2015).

Entre os resultados encontrados para os requisitos de segurança, pode-se citar que a consideração quanto ao material utilizado, os guarda-corpos de aço atendem melhor aos requisitos, se comparados aos guarda-corpos mistos e de madeira, principalmente pela falta de especificação quanto à vida útil do material e o seu desgaste quanto à exposição as intempéries e à falta de especificação do processo de montagem e de operação de montagem segura aos trabalhadores (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2015).

Quanto ao quesito eficiência, os guarda-corpos confeccionados de material de aço obtiveram vantagens novamente, quanto aos de madeira e mistos, isso se deu pelo fato de que os sistemas de proteção de aço apresentaram facilidades nas conexões e encaixes da estrutura que facilitaram a montagem e a desmontagem, evitando esforços excessivos e aumentando a produtividade, destacando também a postura inadequada que os trabalhos exercem para instalar os sistemas (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2015).

Quanto à flexibilidade de projetos, mais uma vez, os SPP de aço se sobressaíram aos projetos de madeira e mistos, vistos que são facilmente manipuláveis como um sistema compacto e dispositivos incorporados (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2015).

## 2.7. Elementos básicos de energia de impacto

Segundo Queiroz (2011), impacto caracteriza-se pelo fenômeno de solicitação ou carregamento inesperado, referindo-se, portanto, a uma carga dinâmica de curta duração (menos que um segundo). Acontece quando um objeto colide contra outro, apresentando num tempo muito curto, grandes forças entre os objetos. Embora pareça simples, a partir dessa definição, esse caso de solicitação de estruturas mostra-se complexo, pois torna difícil quantificar o quanto a estrutura está sendo solicitada.

Os impactos nas estruturas podem ocorrer de várias formas, podendo ser impactos entre veículos de transportes, artilharias, explosões, entre outros. Quando ocorre um carregamento aplicado, juntamente com velocidade, ocorre o que é conhecido como energia de impacto, que conforme sua amplitude pode resultar em grandes prejuízos estruturais ao meio ambiente e até ao ser humano. Com isso, é necessário fornecer meios de absorção dessa energia, para reduzir suas consequências (ALVEZ, 2009).

Queiroz (2011) classifica o impacto de três maneiras em geral:

- a) Impactos Elásticos.
- b) Impactos Parcialmente Elásticos.
- c) Impactos Inelásticos ou Plásticos.

Para os impactos elásticos, a energia mecânica e o momento linear dos corpos envolvidos mantêm-se os mesmos, antes e depois do impacto, considerando que houve conservação de momento linear e energia. Considera-se como exemplo, o choque de duas bolas de bilhar (QUEIROZ, 2011).

Impactos inelásticos (impactos plásticos) ocorrem quando não há conservação de energia mecânica, ou seja, ocorre dissipação de energia por meio de forças de dissipação durante o choque, como atrito ou deformação dos corpos. Como exemplo, pode-se citar o choque entre dois veículos (QUEIROZ, 2011). Os impactos parcialmente elásticos ou inelásticos referem-se ao fato que apenas parte da energia cinética é conservada, nesse caso, os corpos têm uma velocidade relativa não nula, após o choque (QUEIROZ, 2011).

Num impacto entre estrutura de guarda-corpos e uma pessoa, inicialmente, a pessoa deve sofrer um desequilíbrio ou qualquer outro fato que a coloque em movimento em direção ao guarda-corpo, chocando-se contra esse, que se encontra parado. Após o contato, o guarda-corpo desloca-

se, adquirindo movimento e a pessoa tende a parar, absorvendo um pouco de energia, pois o corpo é deformável, o que caracteriza o comportamento parcialmente elástico durante o impacto.

Quando ocorre a transformação de energia cinética ( $E_c$ ), gerada a partir do impacto de uma determinada massa a uma determinada velocidade, em energia de deformação elástica ( $U_e$ ), essa é caracterizada pelo fenômeno de uma estrutura absorver a energia mecânica ( $E_c$ ), sendo que essa transformação de energia mecânica em deformação ocorre até a parada do objeto impactante (QUEIROZ, 2011).

A energia cinética ( $E_c$ ) depende da massa e da velocidade do corpo em movimento, conforme Equação 2:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

Sendo:

$E_c$  = Energia Cinética (J);

$m$  = Massa (kg);

$v$  = Velocidade (m/s).

Para cessar o deslocamento, o trabalho gerado por uma força de impacto pode ser expresso, conforme Equação 3:

$$W = F \times s \quad (3)$$

Sendo:

$W$  = Trabalho (J);

$F$  = Força (N);

$s$  = Distância (m).

Em um impacto, a energia cinética é convertida para trabalho, segundo Equação 4:

$$W = E_c \quad (4)$$

Substituindo, a Equação 2 e a Equação 3 na Equação 4, chegou-se na Equação 5:

$$F \times s = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (5)$$

Considerando que força é calculada pela massa e pela aceleração da gravidade, resulta na Equação 6:

$$\begin{aligned} m \times g \times s &= \frac{1}{2} \times m \times v^2 \\ g \times s &= \frac{1}{2} \times v^2 \end{aligned} \quad (6)$$

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

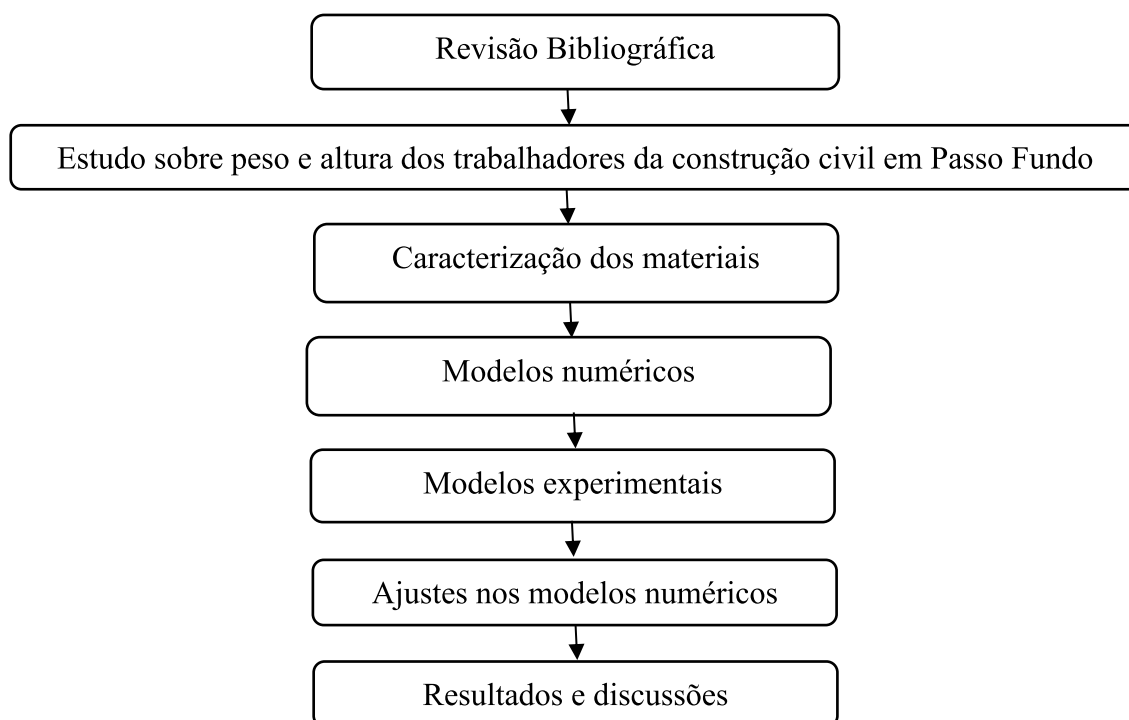
Este capítulo tem como objetivo descrever os materiais e métodos usados para avaliar as estruturas de guarda-corpos provisórios para a Construção Civil.

O foco da pesquisa foi a comparação entre modelos de impacto, considerando o choque de uma pessoa em uma estrutura de guarda-corpos, com modelos estáticos, por meio de modelagens numéricas e ensaios experimentais.

Por meio dos valores de deslocamentos encontrados com os modelos numéricos e experimentais, foi possível a determinação de um coeficiente de amplificação dinâmico, a exemplo da norma NBR 7188 (ABNT, 2013) – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas que determinam um Coeficiente de Impacto Vertical (CIV), para amplificação das forças estáticas, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores, com a finalidade de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga gerada pelo impacto nas estruturas de suporte para a Segurança do Trabalho.

A pesquisa foi dividida em: revisão bibliográfica, estudo sobre peso e altura dos trabalhadores da Construção Civil em Passo Fundo, caracterização dos materiais, modelos numéricos, modelos experimentais, ajustes dos modelos numéricos por meio dos modelos experimentais, resultados obtidos e discussão dos resultados, o que pode ser observado no Fluxograma 1:

Fluxograma 1: Processo da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1. Estudo sobre peso e altura dos trabalhadores da construção civil

Foi realizada uma pesquisa sobre os valores médios de massa e altura dos trabalhadores da Construção Civil no município de Passo Fundo – RS, para obtenção de parâmetros para aplicação da carga na estrutura de acordo com as medições realizadas.

A pesquisa foi realizada em duas obras do município, nas quais foram efetuadas medições com uma balança digital e uma trena metálica, em 38 trabalhadores da construção civil, com o propósito de verificar as massas e as alturas dos trabalhadores, as medições ocorreram em março de 2016.

No capítulo destinado aos resultados, são apresentados os valores de massas e de alturas médias encontrados para os trabalhadores da Construção Civil.

A Figura 20 demonstra a realização da medição da massa em um trabalhador.

Figura 20: Verificação da massa de um dos trabalhadores



Fonte: dados da pesquisa.

### **3.2. Caracterização dos materiais**

A caracterização do aço e da madeira foi realizada a fim de definir as propriedades mecânicas dos materiais e a utilização dessas propriedades nos modelos numéricos.

#### **3.2.1 Caracterização do aço**

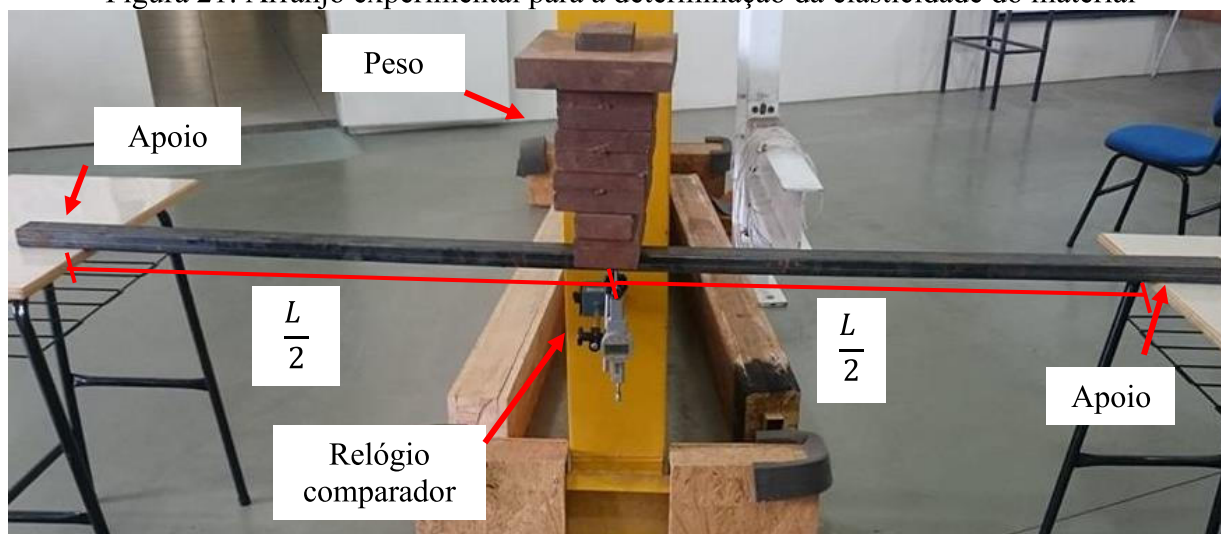
A caracterização do aço utilizado para os guarda-corpos foi realizada no Núcleo de Tecnologia Mecânica da Universidade de Passo Fundo onde o teste realizado foi o ensaio de caracterização química do material.

Também foi realizado um ensaio no Laboratório de Ensaio em Sistemas Estruturais (LESE) para a verificação do módulo de elasticidade do material. O ensaio constitui-se de três

barras de 2m onde estas barras foram simplesmente apoiadas, aplicada uma força de 744,25 N no centro do vão, sendo realizadas as medições dos deslocamentos com relógios comparadores. Cada barra foi carregada três vezes e foram verificados os deslocamentos para os três carregamentos.

A Figura 21 apresenta o arranjo experimental utilizado para a realização desse ensaio.

Figura 21: Arranjo experimental para a determinação da elasticidade do material



Fonte: dados da pesquisa.

A partir da Equação 7, foi possível determinar o módulo de elasticidade do material, esses valores são apresentados no capítulo destinado aos resultados no item 4.2.1.

$$\delta = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I} \quad (7)$$

Sendo:

$\delta$  = deslocamento (mm);

P = Força (N);

L = comprimento (espaçamento entre apoios) (mm);

E = Módulo de elasticidade (MPa);

I = Inércia (mm<sup>4</sup>).

### 3.2.2 Caracterização da madeira

A madeira utilizada para os ensaios experimentais foi caracterizada, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), pelo ensaio de resistência à compressão paralela às fibras, conforme o anexo B - Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas.

Para a realização do ensaio, foram utilizados treze corpos de prova com seção quadrada, com, aproximadamente, 5 cm de lado e comprimento de 15 cm. A Figura 22 indica o corpo de prova 2, inicialmente, quando preparado para o ensaio, depois na prensa e após rompido.

Figura 22: Corpo de prova de madeira



Fonte: dados da pesquisa.

A resistência média,  $f_{c0,j}$  é encontrada a partir dos ensaios de compressão, em MPa, com isso  $f_{c0,k}$  é definido pela equação 8:

$$f_{c0,k} = 0,7 \times f_{c0,j} \quad (8)$$

Para a determinação simplificada da resistência da madeira, a NBR 7190 (ABNT, 1997) define que é permitido adotar as relações, apresentadas nas Equações 9, 10, 11 e 12 para os valores característicos das resistências para madeira serrada:

$$\frac{f_{c0,k}}{f_{t0,k}} = 0,77 \quad (9)$$



$$\frac{f_{c90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25 \quad (10)$$

$$\frac{f_{t90,k}}{f_{t0,k}} = 0,05 \quad (11)$$

$$\frac{f_{v0,k}}{f_{c0,k}} = 0,15 \quad (12)$$

Sendo:

$F_{c0,j}$  = resistência média à compressão paralela às fibras;

$F_{c0,k}$  = resistência característica à compressão paralela às fibras;

$F_{c90,k}$  = resistência característica à compressão normal às fibras;

$F_{t0,k}$  = resistência característica à tração paralela às fibras;

$F_{t90,k}$  = resistência característica à tração normal às fibras;

$F_{v0,k}$  = resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras

Assim como no aço, foi realizado um ensaio para a verificação do módulo de elasticidade do material. O ensaio constitui-se de três barras de 2m onde estas barras foram biapoçadas, aplicada uma força de 744,25 N no centro do vão, sendo realizadas as medições dos deslocamentos com relógios comparadores. Cada barra foi carregada três vezes e foram verificados os deslocamentos para os três carregamentos.

O arranjo experimental e a determinação do módulo de elasticidade para o material madeira correspondem aos mesmos adotados para o material aço.

Os valores das resistências características e do módulo de elasticidade para a madeira são apresentados no item 4.2.2, no capítulo destinado aos resultados.

### 3.3. Estudo e modelagem do método dos elementos finitos

O sistema de guarda-corpo e rodapé foi modelado pelo Método dos Elementos Finitos (M.E.F.), com o objetivo de identificar o comportamento estrutural desse. O M.E.F. consta como uma ferramenta de análise computacional de auxílio aos projetistas para a solução de problemas lineares e não lineares.

A modelagem apresenta, principalmente, etapas de geração do modelo, propriedades dos materiais, definição de elementos de contato para simular atrito entre os elementos constituintes do sistema, discretização do modelo, condições de contorno e aplicação dos carregamentos que foram

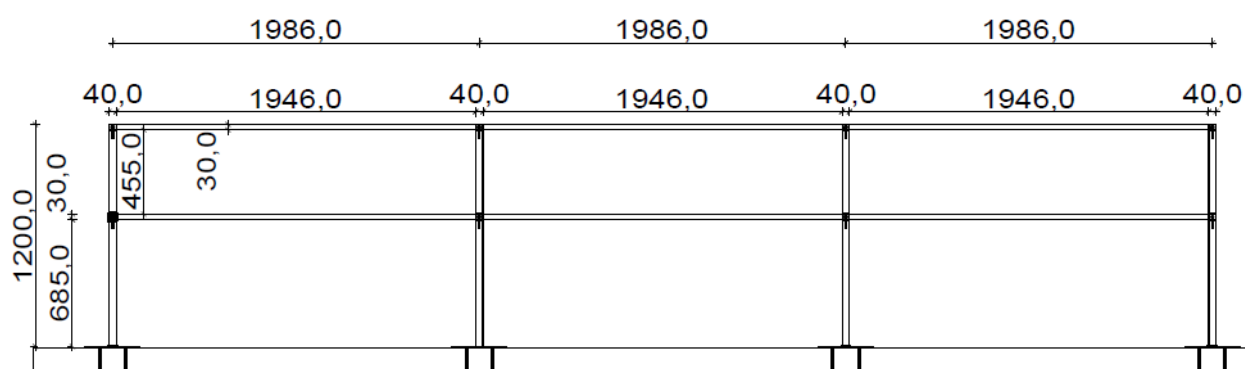
realizados na forma estática, assim como, recomendam as normatizações brasileiras e de forma dinâmica, a fim de conceber qual o sistema melhor se adapta ao dimensionamento desses elementos e como atuam os esforços nas estruturas.

### 3.3.1 Modelos computacionais

Para o trabalho, foram analisados dois modelos de guarda-corpos e rodapé, as análises constaram com aplicação de cargas estáticas e análises dinâmicas. Os detalhes geométricos foram elaborados usando o software AutoCAD para posterior exportação e importação para o software de M.E.F.

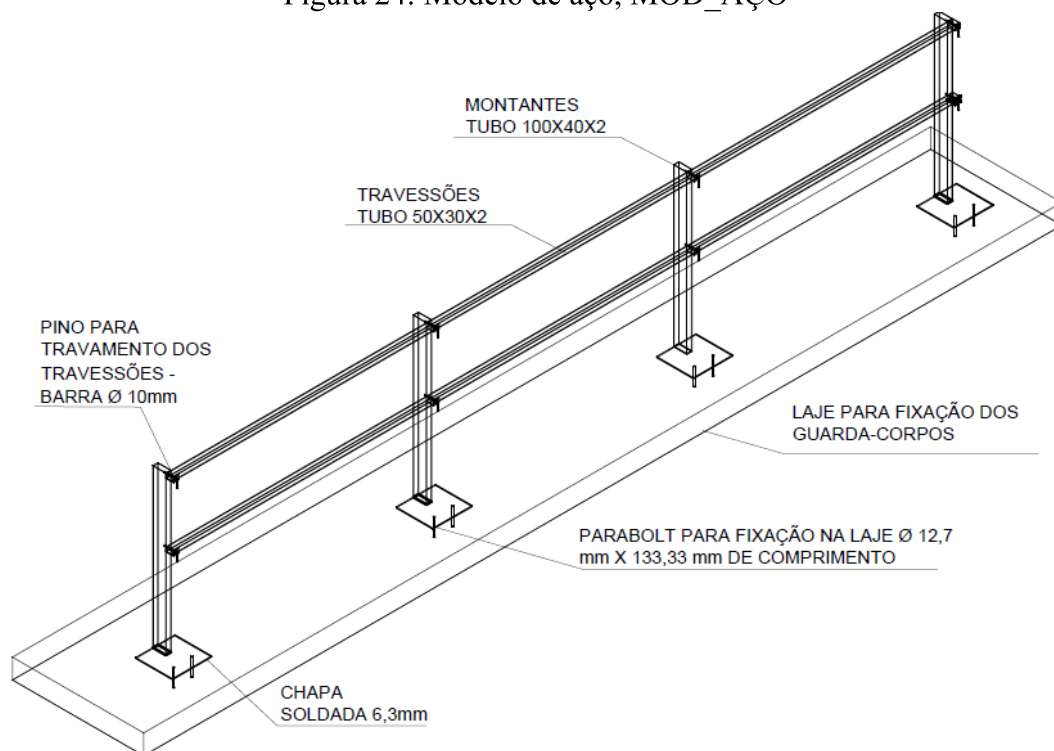
O modelo de aço, dimensionado pela NBR 8800 (ABNT, 2008a) - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios e pela NBR 14762 (ABNT, 2010) - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, com a aplicação de cargas recomendadas pela RTP 01 e NBR 6120 (ABNT, 1980), apresenta montantes de seção com perfil retangular 100x40x2mm e travessões de 50x30x2mm, conforme Figura 23 e Figura 24, sendo os montantes espaçados a 1986 mm, para fins de nomenclatura, esta geometria de guarda-corpos será referida no trabalho como MOD\_AÇO. A modelagem de aço utilizada foi realizada como casca.

Figura 23: Modelo de aço, MOD\_AÇO



Fonte: Elaborada pela autora.

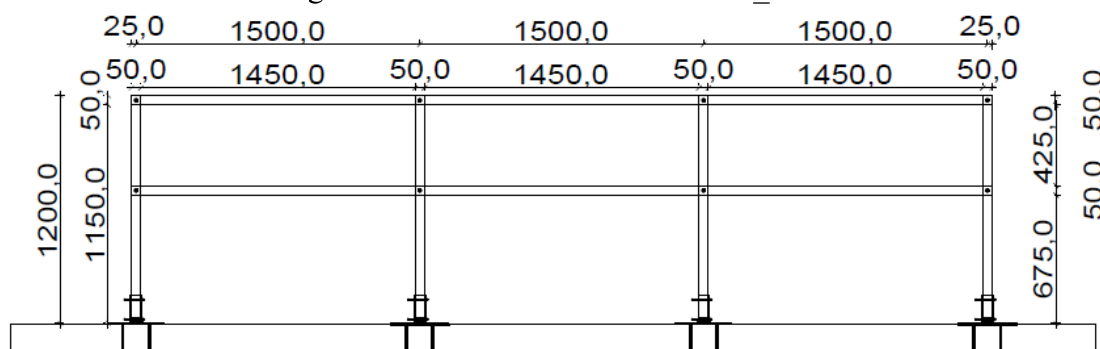
Figura 24: Modelo de aço, MOD\_AÇO



Fonte: Elaborada pela autora.

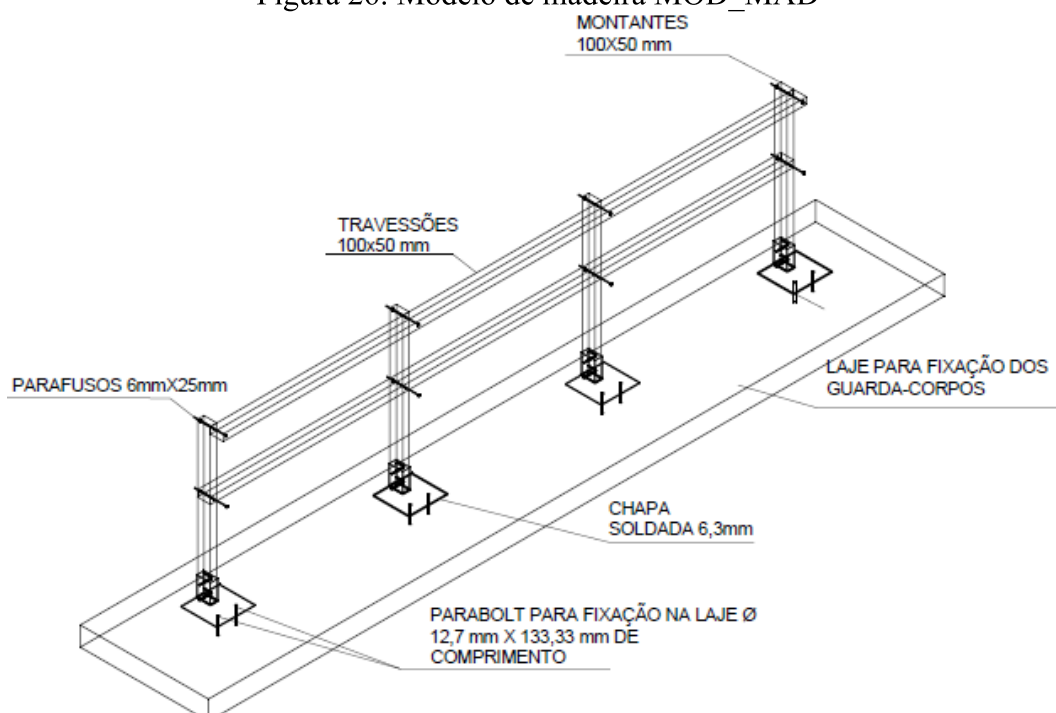
O modelo de estrutura de madeira foi dimensionado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) Projeto de estruturas de madeira, com a aplicação de cargas recomendadas pela RTP 01 e NBR 6120 (ABNT, 1980) e tem montantes e travessões de seção retangular de 100x50 mm, conforme Figura 25 e Figura 26, sendo os montantes espaçados a 1500 mm. Esse modelo será referenciado no trabalho como MOD\_MAD. Para a madeira, a estrutura foi analisada como sólido.

Figura 25: Modelo de madeira MOD\_MAD



Fonte: Elaborada pela autora.

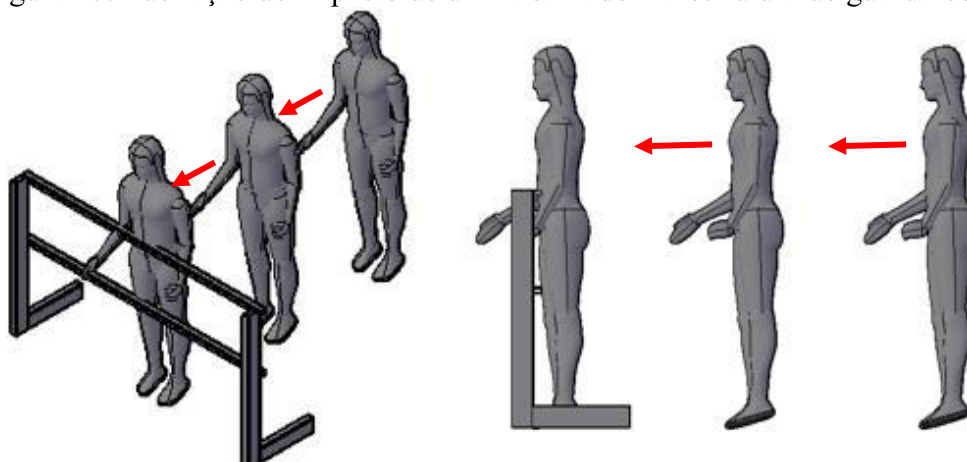
Figura 26: Modelo de madeira MOD\_MAD



Fonte: Elaborada pela autora.

Para simular o impacto de um trabalhador na estrutura de guarda-corpos, conforme ilustrado na Figura 27, foi necessário incluir um sólido para simular a queda do ser humano na modelagem de impacto, sendo determinado o volume do corpo, da massa específica e da massa final desse corpo.

Figura 27: Ilustração do impacto de um trabalhador na estrutura de guarda-corpos



Fonte: Elaborada pela autora.

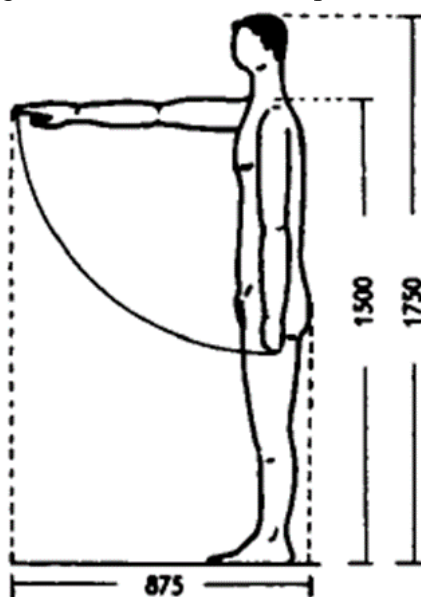
Inicialmente, a modelagem do sólido similar a um ser humano foi realizada a partir de uma pesquisa sobre as medidas do corpo humano no livro Neufert (1998). A partir da Figura 28, pode-se visualizar que a altura aproximada da cabeça e do tronco seria de 1000 mm. A Figura 29 demonstra que a medida aproximada entre o tronco e as pernas somam 1500 mm e a altura total do corpo 1750 mm, com isso, considerou-se que a altura da cabeça e do pescoço seria aproximadamente 250 mm, com as considerações das Figura 28 e 29, a altura do tronco seria de, aproximadamente, 750 mm e das pernas também, de 750mm. A Figura 30, pode-se visualizar que a largura do tronco seria de aproximadamente 500 mm.

Figura 28: Medidas do corpo humano



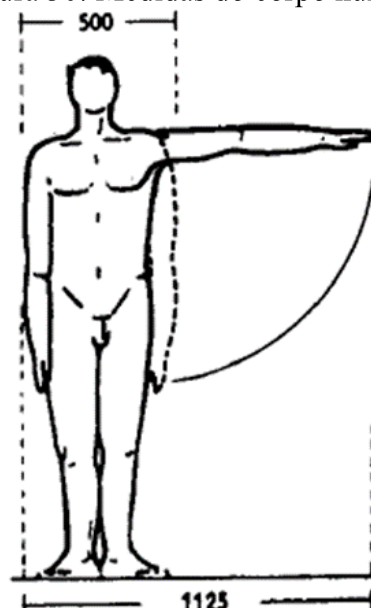
Fonte: Neufert (1998)

Figura 29: Medidas do corpo humano



Fonte: Neufert (1998)

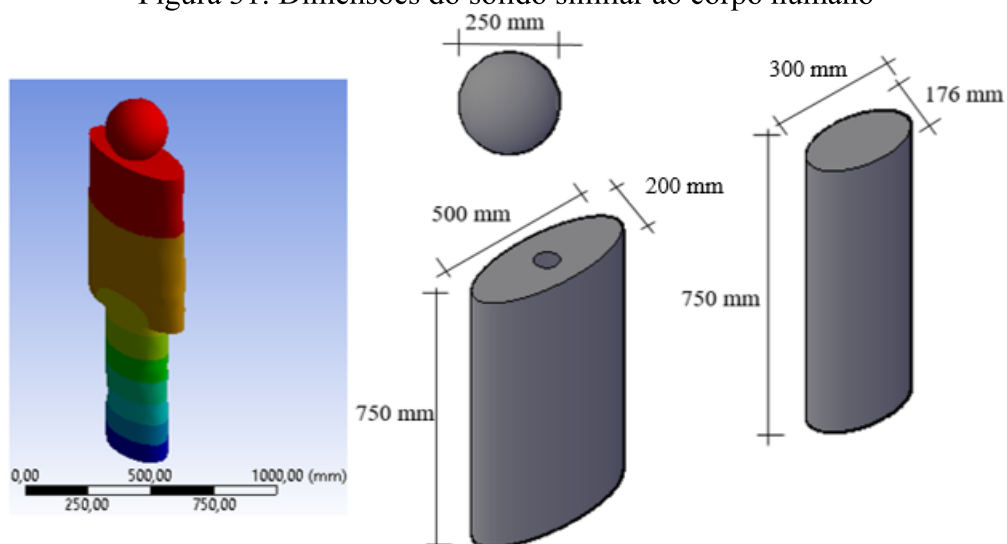
Figura 30: Medidas do corpo humano



Fonte: Neufert (1998).

A partir da definição do sólido, foi realizada uma primeira análise para a verificação da massa gerada por esse. A modelagem constitui-se da importação apenas deste sólido, apoiando o corpo na parte inferior e atribuindo um comando de força da gravidade atuando sobre este. A Figura 31, demonstra o sólido originado inicialmente.

Figura 31: Dimensões do sólido similar ao corpo humano



Fonte: Elaborada pela autora.

Porém, pela dificuldade da manipulação e da realização dos ensaios experimentais com o modelo citado, foi optado pela fabricação de um saco de testes cilíndrico para aplicação do impacto no ensaio experimental, contando com aproximadamente 0,25 m de diâmetro e 1,20 m de altura.

A massa específica do corpo humano varia pela composição corporal de cada ser humano. Para o presente trabalho, foi considerado um valor de massa específica determinada pela Equação 13, de acordo com a carga a ser aplicada na estrutura:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (13)$$

Em que:

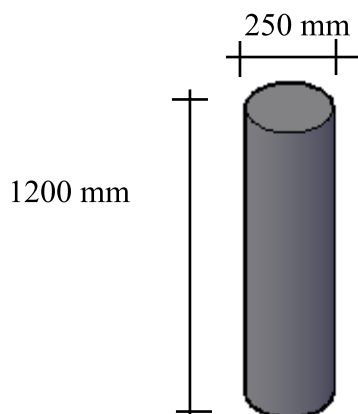
$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>);

$m$  = massa (kg);

$v$  = volume (m<sup>3</sup>).

A Figura 32 demonstra as dimensões básicas levadas em consideração para o modelo sólido de importação no programa Ansys, assim como no sólido anterior, foram geradas análises iniciais para a verificação da massa gerada pelo corpo.

Figura 32: Dimensões do cilindro utilizado como o sólido de impacto



Fonte: Elaborada pela autora.

Para o modelo de impacto, a definição da distância que o sólido estaria em relação à estrutura de guarda-corpos, foi utilizada a Equação 6 do item 2.7. Considerando que em estudos realizados anteriormente, conforme consta na revisão bibliográfica realizada, a velocidade de impacto utilizada foi de 2 m/s e a aceleração da gravidade de 9,81 m/s<sup>2</sup> foi considerada para a

situação de impacto de guarda-corpos, sendo que a Energia Cinética se iguala ao trabalho realizado, com uma distância entre o corpo e a estrutura no valor de aproximadamente 20,38 cm.

### **3.3.2 Propriedades dos materiais**

Para a determinação das propriedades das estruturas de guarda-corpos de aço e de madeira, foi necessário realizar a definição das propriedades dos materiais. Essas propriedades foram definidas a partir da caracterização do aço e da madeira utilizado no ensaio.

Para as estruturas de guarda-corpos de aço, para as peças de montantes, travessões, chapas e pinos foram utilizadas as especificações do material SAE 1005, conforme Quadro 3. Esse material foi proveniente de doações da empresa Majufer, conforme contato com a empresa, esse é, basicamente, o material fornecido. A caracterização do material foi realizada em laboratório, o que comprovou tais características.

Para as chapas metálicas de ancoragem, que realizaram a ligação com a laje, foram definidas as propriedades do aço ASTM A36, conforme Quadro 3. As propriedades desses materiais foram definidas conforme NBR 8800 (ABNT, 2008a). Esse material foi oriundo de doações da empresa CS Metal e, conforme a empresa, o material dispõe de tais características.

O Quadro 3 apresenta os valores característicos de resistências, minorados em função da consideração dos coeficientes de ponderação de resistência, conforme cálculos realizados seguindo a NBR 8800 (ABNT, 2008a).

Para a madeira, a partir da caracterização do material, em que foram definidos os parâmetros da madeira utilizada nos ensaios experimentais, pode-se avaliar as propriedades da madeira a serem definidas no modelo numérico, adotando um coeficiente de modificação para o uso e o tipo de madeira, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997) – Projeto de estruturas de madeira, sendo adotado o  $K_{mod}$  de 0,512, em função da umidade a que a madeira vai estar exposta, considerando o tempo de duração da estrutura e, também, o fato de a classificação das características ter sido apenas visual. O Quadro 4 apresenta as propriedades adotadas.

Ainda para os parafusos para a ligação do montante e do travessão do modelo de madeira, foram adicionadas as propriedades do ASTM A307, também definidas na NBR 8800 (ABNT, 2008a).



Para o modelo de madeira, também, foram utilizadas chapas de ligação dos montantes com a laje em que as propriedades definidas foram do ASTM A36.

Quadro 3: Propriedades consideradas para o aço

Módulo de elasticidade E (MPa)	Módulo de elasticidade E (MPa)	Coefficiente de Poisson $\nu$	$\sigma$ de escoamento $F_y$ (Mpa)	$\sigma$ de escoamento de cálculo $F_{yd}$ (Mpa)	$\sigma$ de ruptura $F_u$ (Mpa)	$\sigma$ de ruptura de cálculo $F_{ud}$ (Mpa)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
SAE 1005	188260	0,3	180	163,64	340	251,85	7850
ASTM A36	200000	0,3	250	227,27	400	296,3	
ASTM A307	200000	0,3	-	-	415	307,4	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 4: Propriedades consideradas para a madeira

Módulo de elasticidade $E_{c0,m}$ (MPa)	Módulo de elasticidade efetivo $E_{c0,ef}$ (Mpa)	Resistência característica a compressão $F_{c0}$ (Mpa)	Resistência característica a compressão efetiva $F_{c0,d}$ (Mpa)	Resistência característica a tração $F_{t0}$ (Mpa)	Resistência característica a tração efetiva $F_{t0,d}$ (Mpa)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
7752,95	3969,6	22,50	11,52	29,23	14,96	550,34

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3.3 Atrito entre os componentes

Foram inseridos os elementos de contato na estrutura, sendo definido pelo coeficiente de atrito gerado na interação de dois materiais.

A NBR 8800 (ABNT, 2008a) define que o coeficiente médio de atrito é de 0,2 para estruturas de aço. O coeficiente de atrito entre madeira e aço utilizado nas modelagens numéricas foi de 0,3, é o mesmo usado por Ekholm, Ekevad e Kliger (2014). Esses autores analisaram, numericamente, tabuleiros de pontes de madeira laminada e colada com protensão por meio de barras de aço.

Para o coeficiente de atrito entre madeira e madeira foi considerado também o valor de 0,3 para madeira serrada com madeira serrada, com umidade de 12%, de acordo com a norma EN 1995-2 (DIN, 2004). Ainda segundo Ekholm e Kliger (2014), em estudo realizado com pontes de madeiras, esse valor varia entre 0,30 e 0,35.

Ainda nos casos em que, no estudo experimental, foram verificadas folgas na estrutura, onde as faces do modelo não se encontravam, a exemplo da ligação da chapa metálica com o

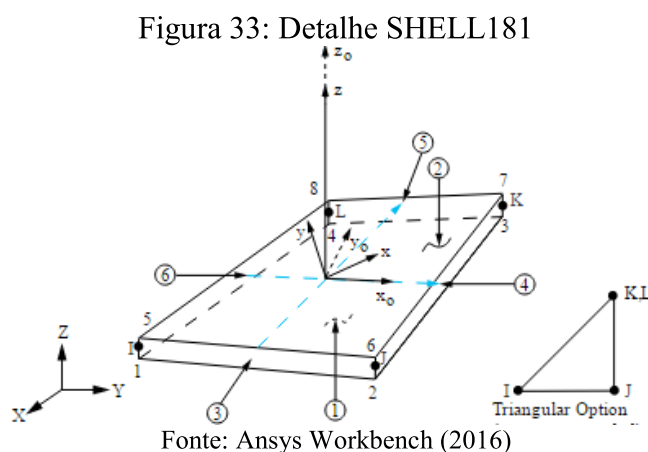
montante de madeira, foi adotado o tipo de atrito do tipo “*frictionless*”, ou seja, sem atrito. E na estrutura de aço, em locais onde não ocorre a separação dos componentes, foi utilizado o atrito do tipo “*no separation*”, ou seja, sem separação dos componentes.

### 3.3.4 Discretização do modelo ou geração da malha

O modelo foi dividido em número finito de elementos sólidos. Esses elementos são ligados por nós e os deslocamentos dos nós se tornam as incógnitas do problema (ALVES, 2007).

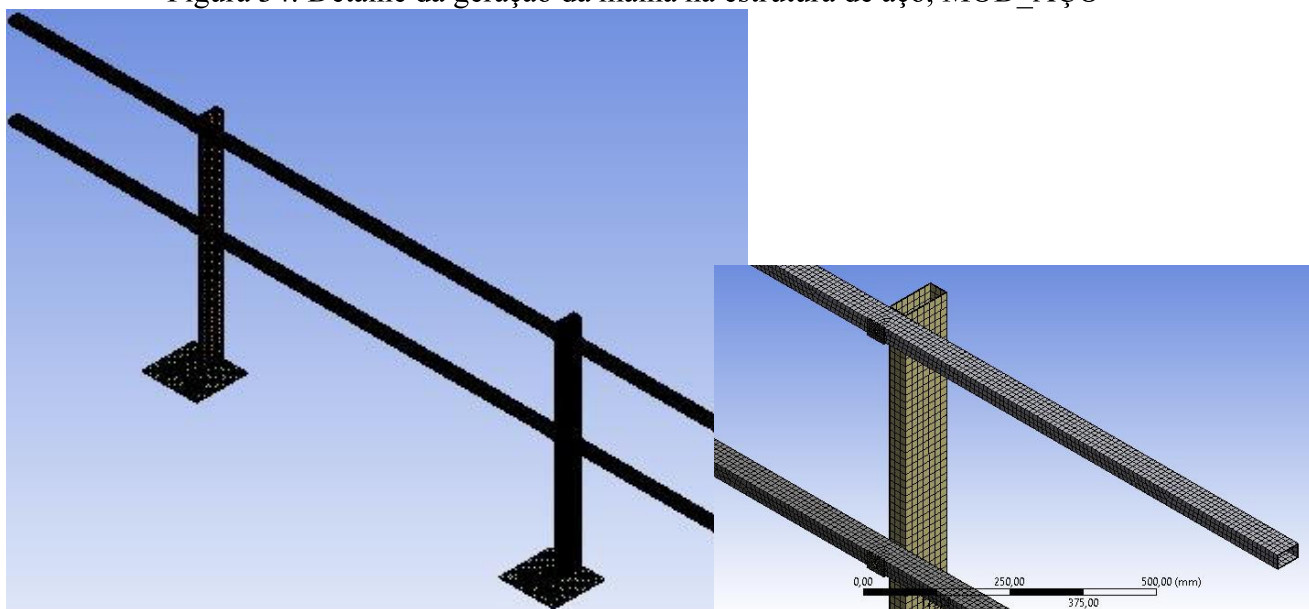
Foram realizados refinamentos da malha para convergência dos resultados, sendo que para o elemento de guarda corpo-corpos foram gerados elementos finitos mais discretizados, variando conforme a seção de cada peça da geometria. Para o modelo, MOD\_AÇO, a malha foi gerada com uma dimensão de 10 mm para os travessões e 15 mm para os montantes. Para o modelo, MOD\_MAD, foi utilizado uma malha de 15 mm, tanto para travessões como para montantes. Para os modelos que foram incluídos o sólido cilíndrico para a análise, a malha gerada nesse sólido tinha dimensão de 50 mm, visto que o cilindro tem a função de aplicar a carga na estrutura e não é necessária a retirada de deslocamentos nesse corpo. Para pinos e chapas de ligações, com dimensões menores, a malha gerada foi de 5 mm.

Para o MOD\_AÇO, a geração da malha na estrutura, onde a estrutura foi analisada como casca, o método utilizado pelo software ANSYS foi o *Quadrilateral Dominant*. Para a geração da malha, o elemento utilizado foi o *SHELL181*, elemento de quatro nós com seis graus de liberdade por nó. A Figura 33 demonstra a geometria, os nós e o sistema de coordenadas do elemento SHELL181.



A Figura 34 ilustra a geração da malha na estrutura de aço, MOD\_AÇO.

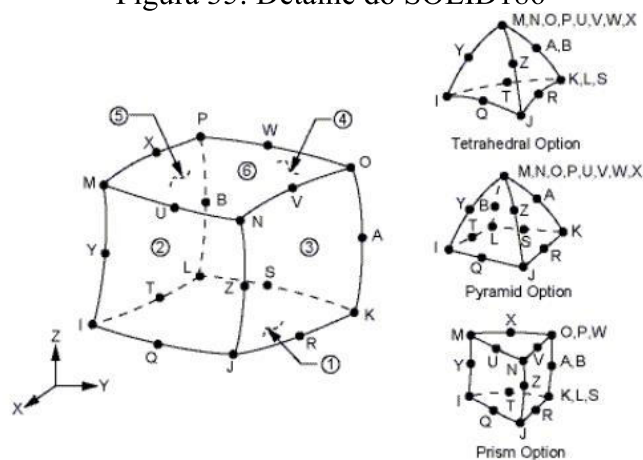
Figura 34: Detalhe da geração da malha na estrutura de aço, MOD\_AÇO



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a geração da malha no MOD\_MAD em que a análise da estrutura foi realizada como sólido, o método utilizado no software ANSYS foi o *HexDominant* para a geração da malha e o elemento utilizado foi o *SOLID186*. Esse elemento é quadrado com 20 nós, apresentando três graus de liberdade por nó. A Figura 35 demonstra a geometria, os nós e o sistema de coordenadas do elemento *SOLID186*.

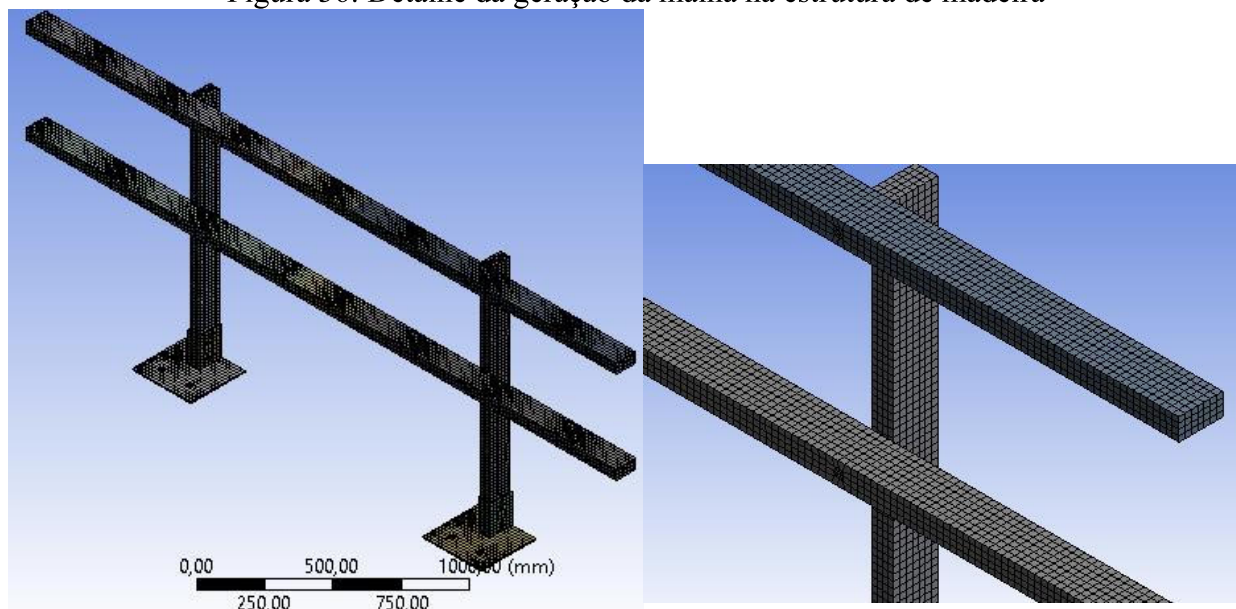
Figura 35: Detalhe do *SOLID186*



Fonte: Ansys Workbench.

A Figura 36 ilustra a geração da malha na estrutura de madeira, MOD\_MAD.

Figura 36: Detalhe da geração da malha na estrutura de madeira



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.3.5 Aplicação do carregamento

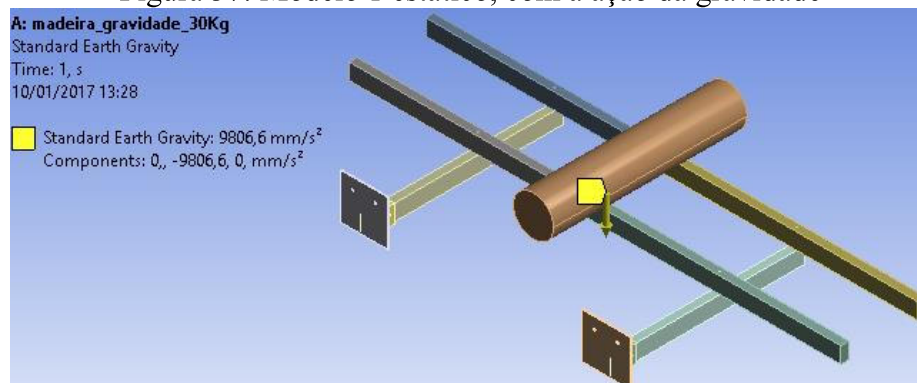
Foram realizadas duas análises de carregamento, uma análise estática e uma análise dinâmica explícita.

#### 3.3.5.1 Análise estática

Para a análise estática, foram realizadas duas análises distintas, a primeira delas variando a massa de um sólido apoiado na estrutura de guarda-corpos, com a aplicação da ação da gravidade, conforme Figura 37, considerando essa como uma das formas de aplicação de carregamento estático na estrutura.

Conforme determinação da pré-carga definida no Método de Ensaio do Esforço Estático Horizontal da NBR 14718 (ABNT, 2008b) de 200 N/m, aproximadamente, 20 kg/m, foi definida a massa desse sólido como 40 kg para a estrutura MOD\_AÇO e 30 kg para a estrutura MOD\_MAD.

Figura 37: Modelo 1 estático, com a ação da gravidade



Fonte: Elaborada pela autora.

O saco de testes utilizado nos ensaios experimentais tinha uma massa média de 77,4 kg, com isso foi realizada também uma modelagem numérica, aplicando as propriedades ao sólido atribuindo a ele 77 kg.

A partir da NBR 15836 – Equipamento de proteção individual contra queda de altura – Cinturão de segurança tipo paraquedista (ABNT, 2010), que determina o uso de um manequim de 100 kg para o ensaio de cinturões tipo paraquedista, para trabalho em altura, considerou-se que o cinto de segurança será utilizado em fases da obra em que o guarda-corpo não esteja disponível e que os dois sistemas tem a função de proteger o trabalhador contra quedas de altura, sendo utilizados pelos mesmos trabalhadores. Com isso, foi atribuído também ao sólido em uma das análises uma massa de 100 kg.

Ainda, segundo a RTP 01 (FUNDACENTRO, 2003) que define que as estruturas de guarda-corpos devem resistir a 150 kg/m aplicados no centro do vão, foi realizada uma análise em que o sólido resultou em uma massa de 300 kg para o MOD\_AÇO e 225 kg para o MOD\_MAD.

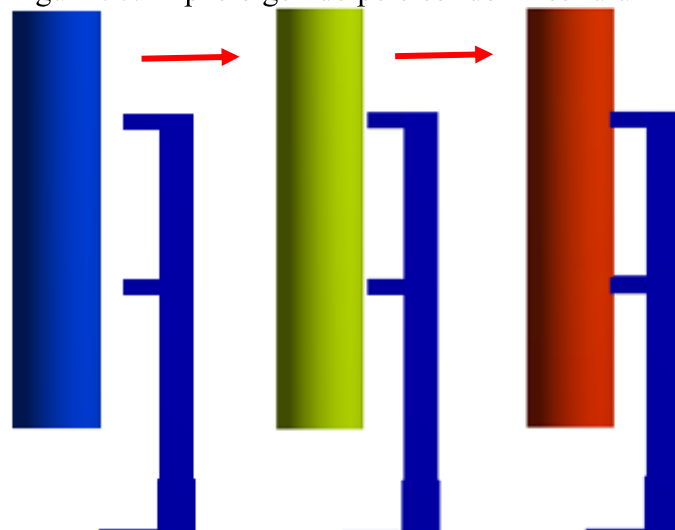
A outra consideração de aplicação de carregamento estático analisada foi a aplicação das cargas definidas em forma de pressão em 25 cm no centro do vão, para determinar as diferenças com o modelo citado.

Os carregamentos para o MOD\_AÇO foram de 400 N, 770 N, 1000 N e 3000 N, para o MOD\_MAD, foram de 300 N, 770N, 1000 N e 2250 N, sendo que as justificativas para tais cargas são as mesmas que as apresentadas anteriormente em massa, porém nesta análise, foram utilizadas direto como força.

### 3.3.5.2 Análise dinâmica

Para a análise dinâmica explícita, foi considerado o choque do corpo rígido contra a estrutura de guarda-corpo, com massa gerada pelo sólido de aproximadamente 77 kg e 100 kg, simulando a queda de um trabalhador contra a estrutura de guarda-corpos provisórios. O corpo encontrava-se a uma distância de 203,8 mm da estrutura, determinada nas equações do Item 2.7, com uma velocidade de impacto com a estrutura de 2 m/s. A Figura 38 demonstra três tempos da geração do impacto.

Figura 38: Impacto gerado pelo sólido na estrutura



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.3.6 Restrições

Foram estabelecidas as restrições dos modelos na chapa de ancoragem do guarda-corpo. As limitações foram realizadas através de comandos para impedir os deslocamentos em x, y e z, na furação onde a estrutura era fixada com parafusos.

Também foi inserida uma restrição de deslocamento na chapa metálica de 0 mm, na direção y, supondo que a laje restringiria esse deslocamento.

A estrutura foi modelada por simetria, com isso foram inseridas restrições para indicar essa repetição da estrutura nos travessões, restringindo o deslocamento, em 0 mm, na direção x.

### **3.3.7 Medições dos deslocamentos no modelo numérico**

As medições nos modelos numéricos foram realizadas em quatro pontos para cada estrutura, a saber: no centro do travessão superior e inferior, nos nós gerados pela malha, onde encontram-se os valores representativos de deslocamento e nos nós relativos à distância de instalação dos relógios comparadores no modelo experimental, item 3.4.3.2, incluindo também travessão superior e travessão inferior.

Os valores relativos ao deslocamento máximo são os valores do centro do vão, onde é a situação mais desfavorável para a estrutura.

### **3.3.8 Validação dos modelos**

Para a validação dos modelos, foram realizados ensaios experimentais para fim de comparação e ajustes do modelo numérico, os quais são apresentados no item 3.4.

## **3.4. Ensaios experimentais estáticos e dinâmicos de estruturas para suporte para a segurança do trabalho na construção civil**

Nesta seção, são apresentados os procedimentos levados em consideração para os ensaios experimentais com a função de ajustar os modelos numéricos, assim como as particularidades e o detalhamento das estruturas utilizadas.

Os experimentos foram realizados em dois sistemas de guarda-corpos, sendo ensaiados três guarda-corpos de aço e três guarda-corpos de madeira. O modelo de aço ensaiado, MOD\_AÇO, apresenta montantes de seção retangular 100x40x2 mm e travessões de 50x30x2 mm, conforme Figura 23 e Figura 24, sendo os montantes espaçados a 1986,0 mm.

O modelo de madeira ensaiado, MOD\_MAD, tem montantes e travessões de seção retangular de 100x50 mm, conforme Figura 25 e Figura 26, sendo os montantes espaçados a 1500 mm. As cargas foram analisadas de forma estática e dinâmica.

Os ensaios estáticos foram realizados por meio da aplicação da carga por um suporte de aço com um sistema de roldana, em que foram medidas as informações de deslocamentos por meio de relógios comparadores e paquímetros.

Os modelos dinâmicos foram analisados, aplicando uma carga gerada pelo impacto de um saco de testes e as medições dos deslocamentos na estrutura foram avaliadas por meio da instalação de acelerômetros, por meio de uma régua metálica e imagens de gravações geradas por telefones celulares.

Os procedimentos para os ensaios estáticos e dinâmicos são apresentados a seguir.

### 3.4.1 Especificação dos equipamentos

#### a) Relógios comparadores:

Os relógios comparadores foram utilizados para realizar a medição dos deslocamentos no travessão superior e no travessão intermediário. O relógio utilizado foi da marca Digimess, com um curso de 50 mm e resolução de 0,01 mm.

#### b) Paquímetro:

O paquímetro digital foi utilizado para auxiliar as medições dos deslocamentos juntamente com o relógio comparador. O paquímetro utilizado foi da marca Cosa, com profundidade de 300 mm e resolução de 0,01 mm.

#### c) Catraca para aplicação da carga:

A catraca foi instalada com o dinamômetro para a aplicação da carga na estrutura.

#### d) Medidor de força, dinamômetro:

O Dinamômetro foi utilizado para medir a carga que estava sendo aplicada na estrutura. O modelo utilizado foi o Dinamômetro analógico com ponteiro morto 600 kgf da marca Crown modelo BR-600. O equipamento foi calibrado em 24 de agosto de 2016.

#### e) Sistema de aquisição de dados:

O sistema de aquisição de dados tem a finalidade de medição, no caso de aceleração. O modelo utilizado nos ensaios foi o MGC Plus, fabricante HBM, com resolução do módulo de 24 bits, o software utilizado foi Catman EASY AP Versão 3.5.1.48 com 8 canais utilizados.

#### f) Acelerômetros triaxiais:

Os acelerômetros utilizados foram do modelo 2460-010, fabricante: *Silicon Designs*, tipo capacitivo, com sensibilidade de 400 mV/g e resposta na frequência na faixa de 0 até 1000 Hz, com uma taxa de aquisição de 2400 amostras por segundo.



## g) Régua metálica:

A régua metálica foi utilizada para uma avaliação aproximada dos deslocamentos nas estruturas para a aplicação da carga de impacto.

## h) Célula de carga:

A célula de carga do tipo “S” foi utilizada para medir a carga que estava sendo aplicada na estrutura. A célula de carga utilizada tinha capacidade de 500 kgf, da marca Kratos Equipamentos modelo KM.

A Figura 39, apresenta os equipamentos que foram instalados nas estruturas.

Figura 39: Equipamentos utilizados nos ensaios



a) Relógios Comparadores; b) Paquímetro; c) Catraca; d) Dinamômetro; e) Sistema de aquisição de dados; f) Acelerômetro - Sensor instalado na estrutura; g) Régua metálica; h) Célula de carga.

Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.4.2 Modelos ensaiados

Ao todo, foram instalados três guarda-corpos do modelo MOD\_AÇO e três guarda-corpos do modelo MOD\_MAD. O ensaio foi realizado em protótipo no tamanho original, constando com quatro montantes e dois travessões.

A Figura 40 apresenta o arranjo experimental instalado para a realização dos ensaios estáticos, segundo a NBR 14718, com os equipamentos instalados, nas estruturas de aço e de madeira.

A Figura 41 representa o arranjo experimental implantado para a realização dos ensaios estáticos instantâneos.

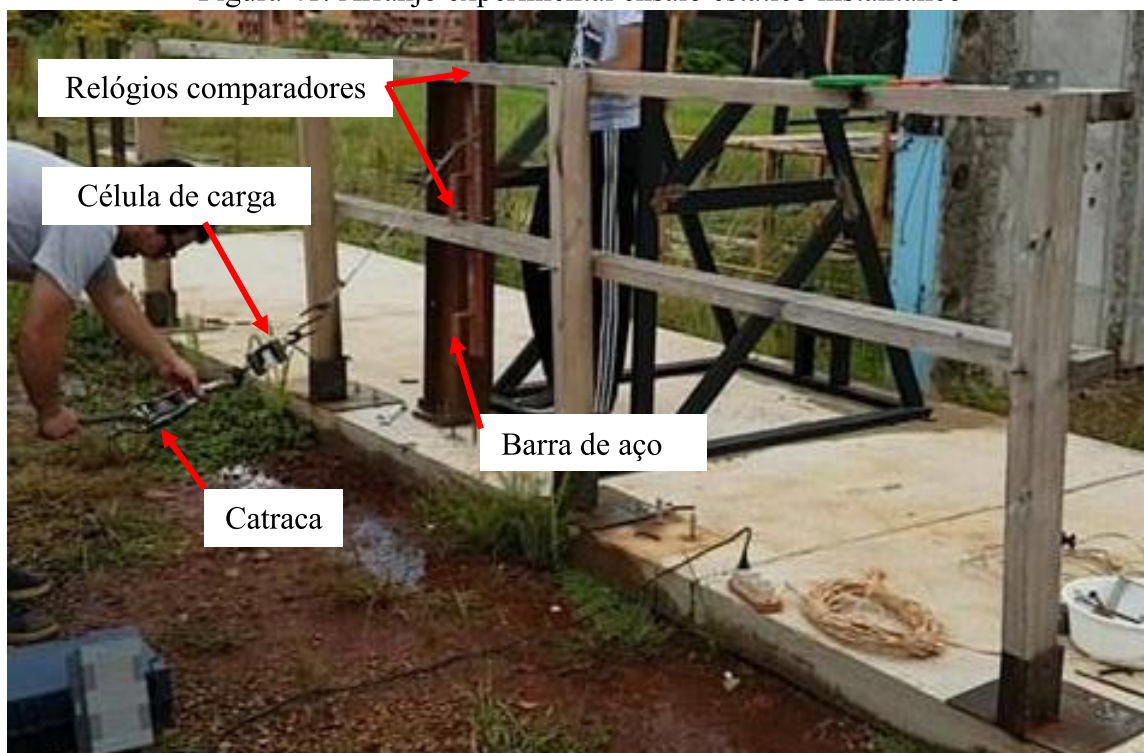
Para os ensaios dinâmicos é apresentado o arranjo experimental na Figura 42 e Figura 43, com a instalação dos equipamentos nas estruturas.

Figura 40: Arranjo experimental ensaio estático segundo a NBR 14718



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 41: Arranjo experimental ensaio estático instantâneo



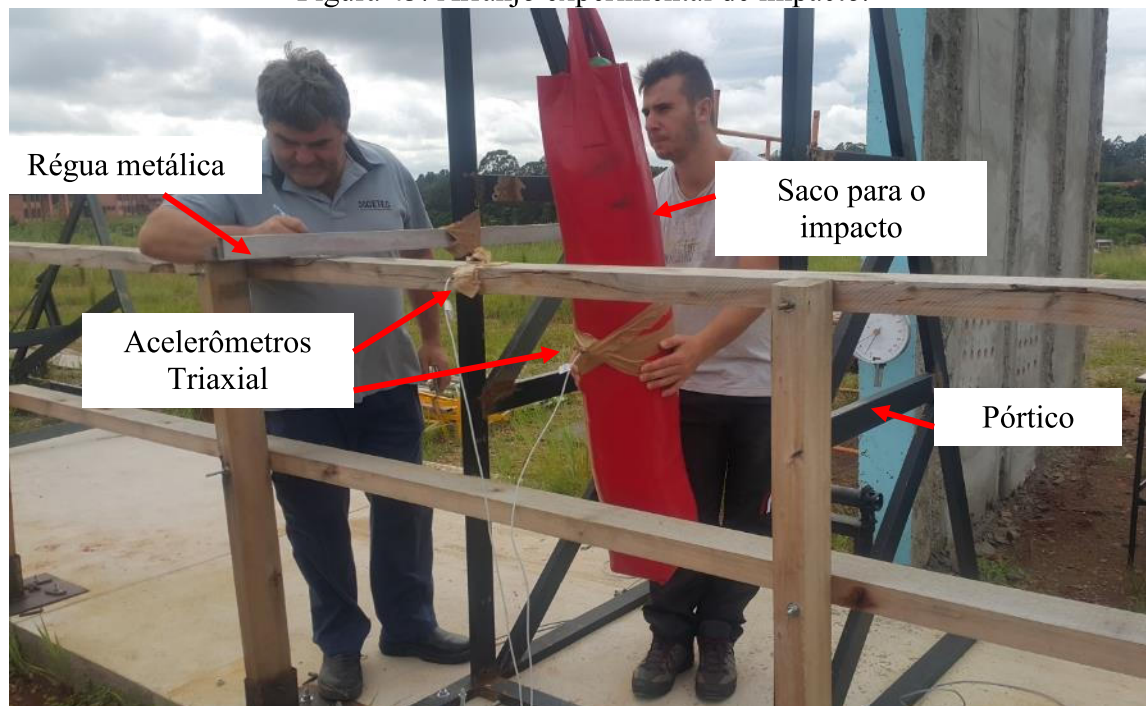
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 42: Sistema de aquisição de dados para o ensaio experimental de impacto



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 43: Arranjo experimental de impacto.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.4.3 Ensaios experimentais estáticos de guarda-corpos segundo a NBR 14718

Os ensaios estáticos foram realizados nos dias 12, 13 e 14 de dezembro de 2016, no campo experimental do prédio do Cetec Serviços. A temperatura do local nesses dias variou entre 26°C e 28°C, conforme medições realizadas em aplicativos de aparelhos celulares no local.

Os procedimentos para a realização do ensaio estático estão detalhados a seguir.

#### 3.4.3.1 Aparelhagem necessária

Para o ensaio estático foram utilizados os equipamentos:

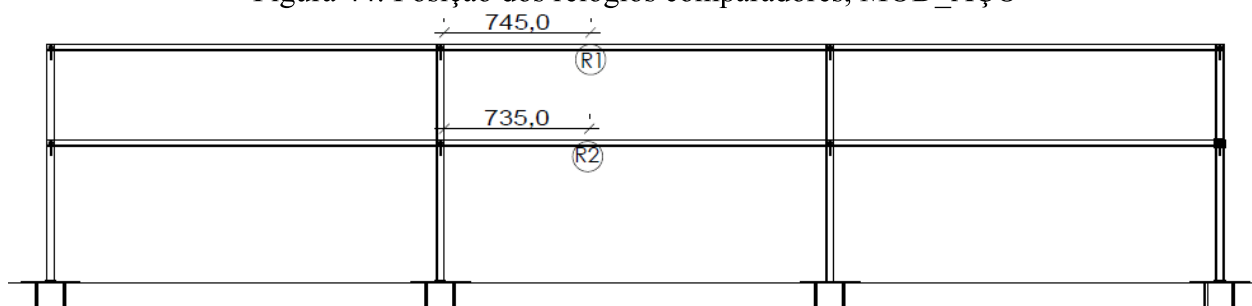
- a) Relógios comparadores
- b) Paquímetros
- c) Dinamômetro
- d) Catraca

### 3.4.3.2 Medições dos deslocamentos

Os relógios comparadores foram instalados antes do início dos ensaios, para leitura dos deslocamentos próximo ao centro dos travessões.

Para a estrutura de aço, as medições ocorreram a, aproximadamente, 745 mm do montante para o relógio instalado no travessão superior, chamado de R1 e a, aproximadamente, 735 mm do montante para o relógio instalado no travessão intermediário, chamado de R2, conforme Figura 44.

Figura 44: Posição dos relógios comparadores, MOD\_AÇO

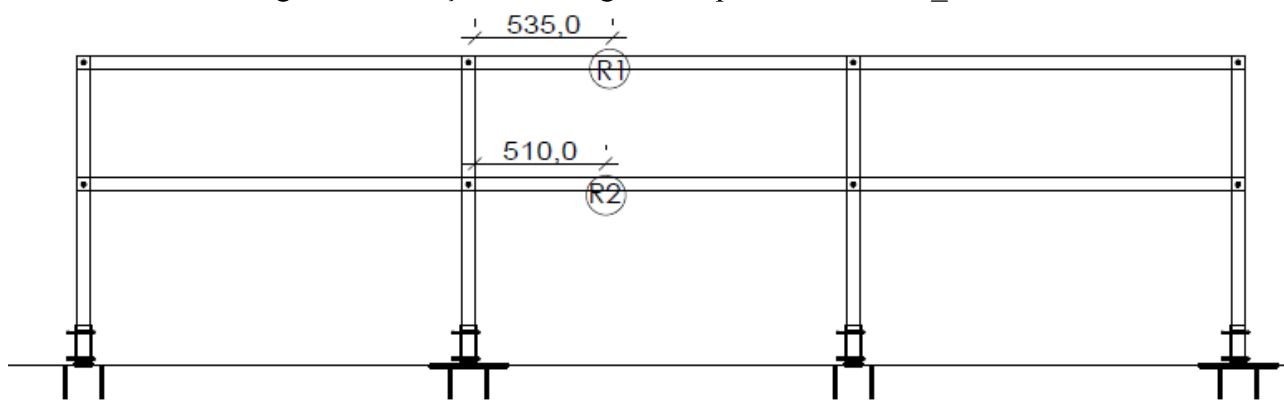


Fonte: Elaborada pela autora.

Para a estrutura de madeira, as medições ocorreram a, aproximadamente, 535 mm do montante para o relógio chamado de R1 e a, aproximadamente, 510 mm do montante para o relógio chamado de R2, conforme Figura 45. A Figura 46 ilustra a montagem dos relógios comparadores.

As leituras foram registradas em milímetros, sendo realizadas nos relógios comparadores conforme a aplicação do carregamento.

Figura 45: Posição dos relógios comparadores, MOD\_MAD



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 46: Instalação dos relógios comparadores na estrutura



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.4.3.3 Aplicação do carregamento

A carga foi aplicada por meio de um pórtico de aço e um sistema de roldanas fixo na estrutura, a fim de forçá-la horizontalmente.

Para realizar o carregamento, foram utilizados os seguintes itens: uma catraca, um dinamômetro, uma estrutura de roldanas e uma barra de aço para a distribuição da carga entre os dois elementos de travessão, conforme Figura 47.

Figura 47: Instalação dos equipamentos na estrutura



Fonte: Elaborada pela autora.

Inicialmente, foi realizada a aplicação de uma pré-carga no valor de 200 N/m, antes do início dos ensaios, considerando o método de ensaio para carregamento estático horizontal pela NBR 14718 (ABNT, 2008b). Essa pré-carga tem a finalidade de acomodação da estrutura e eliminação de possíveis folgas. Com isso, para a estrutura de aço MOD\_AÇO foi realizado um carregamento no valor de 400 N no centro do vão e para a estrutura de madeira MOD\_MAD, um valor de 300 N aplicados no centro do vão. Após, decorrer 15 minutos da atuação dessa pré-carga, foram registradas as informações de deslocamentos instantâneos,  $\delta_1$ , em mm.

Não foi realizado o carregamento para 774 N, pois pelo método da catraca com o dinamômetro, não seria possível tal precisão nos equipamentos.

Aplicação do esforço no valor de 1000 N, aplicada no centro do vão, conforme a aplicação do modelo numérico. Para a aplicação da carga, os esforços foram mantidos durante 15 minutos. Aos 15 minutos de atuação da carga, foi registrado o valor de deslocamento obtido nesse ponto como  $\delta_2$ , em mm. Esse deslocamento foi considerado como o deslocamento sob carga de uso, considerando a massa de uma pessoa, conforme recomendação da NBR 15836 – Equipamento de proteção individual contra queda de altura – Cinturão de segurança tipo paraquedista (ABNT, 2010).

Foi utilizado também um esforço, conforme a RTP 01 (FUNDACENTRO, 2003) de 1500 N/m, ou seja, 150 kg/m, para este caso, foram aplicados, aproximadamente, 3000 N no centro do vão, para a estrutura de aço, MOD\_AÇO e, aproximadamente, 2250 N no centro do vão para a estrutura de madeira, MOD\_MAD. Da mesma forma que os passos anteriores, foram mantidos os carregamentos durante 15 minutos. Aos 15 minutos de atuação da carga, foi registrado o valor de deslocamento obtido nesse ponto como  $\delta_3$ , em mm, sendo considerado esse o deslocamento sob carga exigida pelo MTE.

Após decorrer 3 minutos do alívio da carga, foi registrado o deslocamento residual,  $\delta_4$ , em milímetros.

#### **3.4.3.4 Registro dos deslocamentos**

Foram realizados os registros dos deslocamentos nos relógios comparadores. Os registros e resultados experimentais são apresentados no capítulo destinado aos resultados no decorrer do trabalho.

### **3.4.4 Ensaios experimentais estáticos instantâneos de guarda-corpos**

Além dos ensaios estáticos segundo a NBR 14718 (ABNT, 2008b), foram realizados ensaios, estáticos, com medições de deslocamentos instantâneos na estrutura.

Os procedimentos para a realização do ensaio estático estão detalhados a seguir.

#### **3.4.4.1. Aparelhagem necessária**

Para o ensaio estático foram utilizados os equipamentos:

- a) Relógios comparadores
- b) Célula de carga S
- c) Catraca

#### **3.4.4.2. Medições dos deslocamentos**

Os relógios comparadores para leitura dos deslocamentos foram instalados antes do início dos ensaios e próximo ao centro dos travessões.

As distâncias dos relógios foram as mesmas utilizadas no ensaio estático segundo a NBR 14718 (ABNT, 2008b), conforme Figura 44 para o MOD\_AÇO e Figura 45 para o MOD\_MAD.

As leituras foram registradas em milímetros, conforme o carregamento aplicado na estrutura.

#### **3.4.4.3. Aplicação do carregamento**

A carga foi aplicada horizontalmente na estrutura por meio de uma catraca e uma célula de carga, uma estrutura de roldanas e uma barra de aço para a distribuição da carga entre os dois elementos de travessão.

Inicialmente, foi realizada a aplicação de uma pré-carga, antes do início dos ensaios, para conter as folgas na estrutura. Após, aplicação dessa pré-carga foram zeradas as medições e



aplicados os carregamentos a serem analisados na estrutura. Para este ensaio, foram observadas as folgas da estrutura, com maior cuidado.

A carga inicial a ser aplicada no centro do vão foi de 770 N, aproximadamente. Foram registrados os deslocamentos instantâneos logo após a aplicação da carga e após um minuto de aplicação da carga. Em seguida, foi retirado o esforço.

Os carregamentos de 1000 N e de 1500 N/m foram realizados da mesma forma que a anterior, sendo que, para o carregamento de 1500 N/m na estrutura de aço (MOD\_AÇO), foi aplicado 3000 N e, para a estrutura de madeira, 2250 N.

#### **3.4.4.4. Registro dos deslocamentos**

Foram realizados os registros dos deslocamentos nos relógios comparadores. Os registros e resultados experimentais são apresentados no capítulo destinado aos resultados no decorrer do trabalho.

#### **3.4.5 Ensaio experimental de impacto de guarda-corpos**

Os ensaios de impacto foram desenvolvidos de acordo com os equipamentos e procedimentos a seguir:

##### **3.4.5.1. Aparelhagem necessária**

- a) Sistema de aquisição de dados
- b) Régua metálica
- c) Saco de testes em lona preenchido com areia com massa de 77,4 kg
- d) Sistema de suporte e roldanas, para que fixação do saco, para a aplicação da carga de forma horizontal na estrutura.

### 3.4.5.2. Procedimento

A carga de impacto foi aplicada a partir de um saco de testes cilíndrico, de aproximadamente 77,4 kg, as distâncias de impacto foram de, aproximadamente, 208,3 mm e 775,2 mm, considerando o centro de gravidade do saco de testes para o impacto.

Para a aplicação do impacto na estrutura, foi utilizado um pórtico com sistema de roldanas.

Foram repetidos os ensaios três vezes, sendo que os resultados foram medidos a partir de acelerômetros, réguas metálicas e filmagens.

Com as leituras realizadas pelos acelerômetros foi possível obter as informações de aceleração no domínio do tempo geradas em planilhas de Excel pelo sistema de aquisição de dados, sabendo os valores das posições iniciais, as velocidades e as acelerações iniciais que eram zero, pôde-se determinar a velocidade e os deslocamentos por meio de integrações numéricas, pela regra trapezoidal, essas operações foram realizadas no programa Matlab (MATHWORKS, 2016).

Para a confirmação dos resultados dos acelerômetros e da integração numérica, foi instalada uma régua metálica na estrutura e realizadas filmagens durante os ensaios. A partir das filmagens, é possível determinar a posição inicial e a posição final da estrutura durante o impacto.

Os resultados para as duas análises de impacto são apresentados no capítulo reservado para tal finalidade.

### 3.5. Critérios de aceitação para os ensaios experimentais

Os resultados numéricos e experimentais serão apresentados em função das determinações da NBR 14718 (ABNT, 2008b), Guarda-corpos para edificação. Essa norma refere-se a critérios de aceitação para guarda-corpos definitivos, porém, na ausência de critérios de aceitação para guarda-corpos provisórios, para a avaliação do sistema, foram considerados tais critérios.

Segundo a NBR 14718 (ABNT, 2008b), os critérios de aceitação variam conforme a aplicação da carga. Para carga estática, aplicada horizontalmente à estrutura, o sistema de guarda-corpos não pode apresentar ruptura, afrouxamento ou destacamento de componentes. O deslocamento sob a pré-carga (200 N/m, 20 kg/m) não deve superar 7 mm. O deslocamento para a aplicação de carga de uso não deve superar 20 mm e o deslocamento residual não pode ultrapassar a 3 mm.

Para resistências a impactos, a NBR 14718 (ABNT, 2008b) traz apenas requisitos visuais em que se verificam possíveis deteriorações ou rupturas do sistema, sem determinar valores de deslocamentos.

A AS/NZS 4.994.1(2009a) apresenta os critérios de aceitação para o teste de impacto, a saber: além de avaliações visuais referentes a despendimento e falha estrutural, os deslocamentos máximos de montante e travessão superior devem ser inferiores a 401 mm.

A EN 13374 (DIN, 2013) determina que pode ocorrer um deslocamento mínimo de 100 mm desde que a estrutura resista ao impacto, ou seja, que a estrutura consiga absorver o impacto gerado, mesmo que se deslocando.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como função apresentar os resultados e as discussões sobre os estudos realizados, para as modelagens numéricas e os ensaios experimentais.

### 4.1. Resultado da pesquisa sobre peso e altura dos trabalhadores da Construção Civil

Para desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas medições em obras do município de Passo Fundo para determinar parâmetros de análise quanto a massas e alturas médias dos funcionários da construção civil.

Os resultados dessas medições são apresentados a seguir.

Na primeira obra, foram realizadas dezoito medições nos funcionários, sendo que as médias encontradas para os trabalhadores foram:

- a) Massa: 81,56 kg
- b) Altura: 1,67 m
- c) Idade: 42,44 anos
- d) Sexo: todos os funcionários do sexo masculino

Na segunda obra, as medições foram realizadas em vinte funcionários, sendo que as médias encontradas para os funcionários da obra foram:

- a) Massa: 78,48 kg
- b) Altura: 1,74 m
- c) Idade: 37,45 anos
- d) Sexo: todos os funcionários do sexo masculino

Na média geral, dos 38 funcionários das obras de Construção Civil analisadas, resultaram nos seguintes valores:

- a) Massa: 79,93 kg
- b) Altura: 1,71 m
- c) Idade: 39,82 anos
- d) Sexo: todos os funcionários do sexo masculino

Para a análise, foram calculados os desvios padrões para cada caso, para a massa dos funcionários, o desvio padrão observado foi 10,92 kg, a altura 0,08 m e as idades 12,51 anos, com isso pode-se sugerir um aumento para massa de aproximadamente 90 kg no geral.

A partir dessa pesquisa, visualizou-se a possibilidade da utilização do valor de massa de 100 kg para o modelo sólido de impacto na estrutura, visto que a média dos trabalhadores da Construção Civil encontrada foi de 79,93 kg. Porém, a NBR 15836 – Equipamento de proteção individual contra queda de altura – Cinturão de segurança tipo paraquedista (ABNT, 2010) indica o uso de um manequim de 100 kg para o ensaio de cinturões tipo paraquedista. Para trabalho em altura, seguindo a norma citada, levou-se em consideração a majoração do valor para 100 kg, considerando que os equipamentos de proteção individual serão utilizados, quando inexistir os equipamentos de segurança coletiva instalados, como no caso os guarda-corpos.

## 4.2. Resultado da caracterização dos materiais

### 4.2.1 Caracterização do aço

Para a definição das propriedades do aço utilizado na fabricação dos montantes e travessões dos guarda-corpos do tipo MOD\_AÇO, foram realizados dois ensaios, um de composição química do material e outro para a determinação do módulo de elasticidade.

A determinação da elasticidade se deu pela Equação 7 e, no Quadro 5, são apresentados os valores para as vigas ensaiadas e o valor médio adotado para o módulo elasticidade.

Quadro 5: Determinação do módulo de elasticidade do material SAE 1005

Viga	L (mm)	$\delta$ (mm)	Média $\delta$ (mm)	Força (N)	I (mm <sup>4</sup> )	E (MPa)	E <sub>média</sub> (GPa)
1	1770	10,06	10,21	744,25	45125,33	186678	188,26
		10,28					
		10,28					
2	1805	10,65	10,61	744,25	45125,33	190446,7	188,26
		10,58					
		10,6					
3	1780	10,39	10,33	744,25	45125,33	187653,7	188,26
		10,3					
		10,29					

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o ensaio de composição química do material, verificou-se as médias das amostras analisadas de adição de carbono (C), que, na composição do material, é de 0,0588% e de manganês (Mn) é 0,147%. Com isso, observa-se que o material caracteriza-se como aços de construção mecânica carbono SAE 1005, por meio de catálogo técnico da Gerdau (GERDAU, 2003).

#### 4.2.2 Caracterização da madeira

Da mesma forma que o aço, foi necessário realizar a caracterização da madeira utilizada para a fabricação dos montantes e travessões para os guarda-corpos do MOD\_MAD. Para isso, foi realizado o ensaio de compressão de acordo com a caracterização simplificada da NBR 7190 (ABNT, 1997) e também, a determinação do módulo de elasticidade.

A resistência média,  $f_{c0,j}$ , em MPa, com os valores representativos, é 32,15 Mpa. Com isso,  $f_{c0,k}$ , é definido pela Equação 8:

A partir das Equações 9, 10, 11 e 12, foram determinados os parâmetros para a madeira apresentados no Quadro 6. A densidade aparente do material foi determinada por meio da massa e volume dos corpos de prova ensaiados.

Quadro 6: Propriedades adotadas pela determinação simplificada da resistência da madeira

$f_{c0,j}$ (MPa)	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{c90,k}$ (MPa)	$f_{t0,k}$ (MPa)	$f_{t90,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$\rho_{aparente}$ (kg/m <sup>3</sup> )
32,15	22,50	5,63	29,23	1,46	3,38	550,34

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da caracterização da madeira, pode-se classificá-la como dicotiledônea/folhosa, com classe C20, definida pelo Quadro 7 retirado da NBR 7190 (ABNT, 1997).

A determinação do módulo de elasticidade se deu pela Equação 7 e, no Quadro 8, são apresentados os valores médio e característico para o módulo de elasticidade para as vigas ensaiadas.

Quadro 7: Classes de resistência das folhosas

Folhosas (Valores na condição-padrão de referência U = 12 %)				
Classes	$f_{c0,k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
D20	20	4	9500	650
D30	30	5	14500	800
D40	40	6	19500	950
D50	50	7	22000	970
D60	60	8	24500	1000

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

Quadro 8: Determinação do módulo de elasticidade do material madeira

Viga	L (mm)	$\delta$ (mm)	Média $\delta$ (mm)	Força (N)	I (mm <sup>4</sup> )	E (MPa)	$E_{cj}$ (MPa)	$E_{cjk}$ (MPa)
1	1830	7,96	7,95	744,25	1041667	11469,72	11075,64	7752,95
		7,95						
		7,95						
2	1820	8,49	8,35					
		8,35						
		8,21						
3	1820	8,22	8,15			11010,46		
		8,13						
		8,1						

Fonte: Elaborado pela autora.

### 4.3. Resultados numéricos

Foram realizadas modelagens numéricas para os modelos MOD\_AÇO e MOD\_MAD, conforme detalhado no item 3.3.

#### 4.3.1 Modelos numéricos estáticos

As cargas estáticas aplicadas foram: pré-carga de 200 N/m, resultando em 400 N para o MOD\_AÇO e 300 N para o MOD\_MAD. Além dessa, foram consideradas como hipóteses de carga de uso, 770 N, 1000 N e 1500 N/m, a última resultando em 3000 N para o MOD\_AÇO e 2250 N

para o MOD\_MAD. O Quadro 9 apresenta os resultados de deslocamentos retirados das modelagens numéricas para os carregamentos estáticos para o MOD\_AÇO.

Quadro 9: Deslocamentos estáticos MOD\_AÇO – Modelagem numérica

	Carga (N)	Distância dos relógios		Deslocamento máximo	
		$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)
Carga aplicada com ação da gravidade	400	6,697	4,369	6,755	4,4428
	770	10,695	7,086	10,804	7,2294
	1000	13,184	8,772	13,322	8,964
	3000	34,493	23,443	34,909	23,991
Carga aplicada em 25 cm centro do vão	400	4,4001	2,7979	4,4472	2,8501
	770	8,4632	5,3862	8,5569	5,4872
	1000	10,995	6,9976	11,11	7,1261
	3000	32,97	20,97	33,344	21,373

TS = Travessão Superior; TI = Travessão Inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 10 apresenta os deslocamentos retirados das modelagens numéricas para os carregamentos estáticos para o MOD\_MAD.

Quadro 10: Deslocamentos estáticos MOD\_MAD – Modelagem numérica

	Carga (N)	Distância dos relógios		Deslocamento máximo	
		$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)
Carga aplicada com ação da gravidade	300	6,6694	3,522	6,7042	3,578
	770	12,743	6,8471	12,833	6,9992
	1000	15,718	8,4854	15,821	8,6765
	2250	31,756	17,302	32,021	17,73
Carga aplicada em 25 cm centro do vão	300	4,3641	2,2733	4,4119	2,3233
	770	11,238	5,8544	11,348	5,9778
	1000	14,473	7,5313	14,613	7,6984
	2250	32,396	16,831	32,699	17,211

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando os deslocamentos máximos na estrutura, é possível apresentar o Quadro 11 e o Quadro 12, com a análise das verificações dos critérios de aceitação dos modelos numéricos, conforme estabelecido no item 3.5.



Observa-se que para, esses resultados, apenas o carregamento de 1500 N/m (150 kg/m) exigido pelo MTE, a estrutura não atende às exigências da NBR 14718, tanto para o MOD\_AÇO como para o MOD\_MAD, nas duas análises de carregamento realizadas.

Quadro 11: Critérios de aceitação MOD\_AÇO, carregamento estático

	<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b>Verificação</b>
<b>Carga aplicada com ação da gravidade</b>	<b>400</b>	6,755	Atende
	<b>770</b>	10,804	Atende
	<b>1000</b>	13,322	Atende
	<b>3000</b>	34,909	Não Atende
<b>Carga aplicada em 25 cm centro do vão</b>	<b>400</b>	4,4472	Atende
	<b>770</b>	8,5569	Atende
	<b>1000</b>	11,11	Atende
	<b>3000</b>	33,344	Não Atende

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 12: Critérios de aceitação MOD\_MAD, carregamento estático

	<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b>Verificação</b>
<b>Carga aplicada com ação da gravidade</b>	<b>300</b>	6,7042	Atende
	<b>770</b>	12,833	Atende
	<b>1000</b>	15,821	Atende
	<b>2250</b>	32,021	Não Atende
<b>Carga aplicada em 25 cm centro do vão</b>	<b>300</b>	4,4119	Atende
	<b>770</b>	11,348	Atende
	<b>1000</b>	14,613	Atende
	<b>2250</b>	32,699	Não Atende

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.3.2 Modelos numéricos de impacto

Para o estudo de impacto, utilizou-se uma carga de impacto gerada pelo corpo humano com massa de 77 kg e 100 kg, gerado por uma velocidade de 2 m/s a uma distância de impacto de 203,8 mm da estrutura.

Para os deslocamentos máximos relativos à modelagem de impacto, é apresentado o Quadro 13 com os valores retirados dos modelos numéricos.

Quadro 13: Deslocamentos de impacto – Modelagem numérica

	<b>MOD_AÇO</b>	<b>MOD_MAD</b>
<b>Impacto</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>
<b>77 kg à distância de 20,38 cm</b>	11,65	17,534
<b>100 kg à distância de 20,38 cm</b>	11,875	17,953

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o modelo MOD\_AÇO, com uma massa de 77 kg e distância de impacto de 203,8 mm, a uma velocidade de 2 m/s, o deslocamento máximo que ocorreu na estrutura foi de 11,65 mm. Quando a massa do corpo foi alterada para 100 kg, o deslocamento máximo na estrutura foi de 11,875 mm. Ambas as análises duraram cerca de 2,3 horas.

Com isso, observa-se que variando a massa, o deslocamento gerado na estrutura não se altera em grande escala, 0,225 mm, em torno de 1,93%, sendo possível concluir que para a avaliação de impacto o que se torna mais importante é a distância do impacto e a velocidade do corpo.

Para o MOD\_MAD, os resultados obtidos na modelagem apresentaram um deslocamento de 17,534 mm para o modelo em que a massa do cilindro era de 77 kg, distância de impacto de 203,8 mm a uma velocidade de 2 m/s. Para o modelo com massa de 100 kg, distância de impacto e velocidade de respectivamente 203,8 mm e 2m/s, sendo que o deslocamento verificado na estrutura foi de 17,953 mm. As modelagens tiveram uma análise de, aproximadamente, 30 horas.

Com a análise do impacto do MOD\_MAD, pode-se, novamente, afirmar que os fatores mais relevantes para as análises são a velocidade do impacto e a distância percorrida.

Mesmo assim, é possível analisar nos modelos numéricos de impacto, que os deslocamentos encontrado foram maiores que os modelos de impacto estáticos, mas não houve a ruptura do sistema, sendo que os guarda-corpos analisados são capazes de absorver a força de impacto gerada pelo corpo.

Todas as análises de impacto ficam com os deslocamentos abaixo dos critérios de aceitação determinados pelas normas AS/NZS 4.994.1 de 401 mm e EN 13374 de 100 mm (AS/NZS, 2009 e DIN, 2013).

#### 4.4. Resultados experimentais

##### 4.4.1 Ensaios experimentais estáticos de guarda-corpos segundo a NBR 14718

Os registros dos deslocamentos nas estruturas dos ensaios experimentais estáticos segundo a NBR 14718 realizados em campo estão apresentados no Quadro 14 para o MOD\_AÇO e no Quadro 15 para o MOD\_MAD.

Em que:

$\delta_0$  = deslocamento inicial (em mm)

$\delta_1$  = deslocamento instantâneo (pré-carga) (em mm)

$\delta_2$  = deslocamento com aplicação da carga de 100kg, (em mm)

$\delta_3$  = deslocamento com aplicação da carga de 150kg/m, (em mm)

$\delta_4$  = deslocamento residual, (em mm)

Sendo considerado como:

- Deslocamento sob carga de uso, 100 kg: ( $\delta_2 - \delta_1$ )
- Deslocamento sob carga de uso exigida pelo MTE, 150 kg/m: ( $\delta_3 - \delta_1$ )
- Deslocamento residual: ( $\delta_4 - \delta_1$ )

Quadro 14: Medições realizadas no MOD\_AÇO

(continua)

Carregamento estático segundo a NBR 14718				
	Carga (N)	Leitura	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)
Ensaio 1	0	$\delta_0$	0	0
	400	$\delta_1$	4,14	2,53
	1000	$\delta_2$	11,77	7,21
	3150	$\delta_3$	37,09	22,20
	0	$\delta_4$	6,58	4,23
Ensaio 2	0	$\delta_0$	0	0
	400	$\delta_1$	5,6	3,02
	1050	$\delta_2$	15,52	6,67
	3070	$\delta_3$	30,87	16,11
	0	$\delta_4$	0,45	0,14

Quadro 14: Medições realizadas no MOD\_AÇO  
(conclusão)

<b>Carregamento estático segundo a NBR 14718</b>				
	<b>Carga (N)</b>	<b>Leitura</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b><math>\delta_{TI}</math> (mm)</b>
Ensaio 3	<b>0</b>	$\delta_0$	0	0
	<b>400</b>	$\delta_1$	4,31	2,49
	<b>950</b>	$\delta_2$	9,72	9,59
	<b>3100</b>	$\delta_3$	28,89	22,21
	<b>0</b>	$\delta_4$	4,7	1,14
Média	<b>0</b>	$\delta_0$	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	<b>400</b>	$\delta_1$	<b>4,68</b>	<b>2,68</b>
	<b>1000</b>	$\delta_2$	<b>12,34</b>	<b>7,82</b>
	<b>3000</b>	$\delta_3$	<b>32,28</b>	<b>20,17</b>
	<b>0</b>	$\delta_4$	<b>3,91</b>	<b>1,84</b>

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 15: Medições realizadas no MOD\_MAD  
(continua)

<b>Carregamento estático segundo a NBR 14718</b>				
	<b>Carga (N)</b>	<b>Leitura</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b><math>\delta_{TI}</math> (mm)</b>
Ensaio 1	<b>0</b>	$\delta_0$	0	0
	<b>300</b>	$\delta_1$	9,86	5,44
	<b>1000</b>	$\delta_2$	44,2	24,4
	<b>2250</b>	$\delta_3$	80,20	48,82
	<b>0</b>	$\delta_4$	20,61	11,89
Ensaio 2	<b>0</b>	$\delta_0$	0	0
	<b>300</b>	$\delta_1$	22,08	12,57
	<b>900</b>	$\delta_2$	38,91	22,30
	<b>2250</b>	$\delta_3$	75,68	55,22
	<b>0</b>	$\delta_4$	41,08	24,34
Ensaio 3	<b>0</b>	$\delta_0$	0	0
	<b>300</b>	$\delta_1$	32,20	18,70
	<b>1000</b>	$\delta_2$	55,85	31,55
	<b>2250</b>	$\delta_3$	79,76	44,88
	<b>0</b>	$\delta_4$	34,43	20,48

Quadro 15: Medições realizadas no MOD\_MAD  
(conclusão)

<b>Carregamento estático segundo a NBR 14718</b>				
	<b>Carga (N)</b>	<b>Leitura</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b><math>\delta_{TI}</math> (mm)</b>
<b>Média</b>	<b>0</b>	<b><math>\delta_0</math></b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>300</b>	<b><math>\delta_1</math></b>	<b>21,38</b>	<b>12,24</b>
	<b>1000</b>	<b><math>\delta_2</math></b>	<b>46,32</b>	<b>26,08</b>
	<b>2250</b>	<b><math>\delta_3</math></b>	<b>78,55</b>	<b>49,64</b>
	<b>0</b>	<b><math>\delta_4</math></b>	<b>32,04</b>	<b>18,9</b>

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise dos resultados experimentais, foi realizada a leitura dos deslocamentos, a uma distância determinada do montante, conforme detalhado no Item 3.4.3.2, de modo que foi possível retirar o valor dos deslocamentos.

Os valores a serem comparados com o prescrito na NBR 14718 (ABNT, 2008b) serão os valores registrados nas leituras realizadas nos relógios, pois em alguns casos, estes já ultrapassaram o valor máximo estabelecido pela norma.

Com isso, os resultados de deslocamentos para os ensaios experimentais e a verificação dos critérios de aceitação para o MOD\_AÇO são apresentados no Quadro 16.

Quadro 16: Critérios de aceitação MOD\_AÇO, carregamento estático segundo a NBR 14718

<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b>Verificação</b>	
<b><math>\delta_1</math></b>	<b>400</b>	4,68	Atende
<b><math>\delta_2 - \delta_1</math></b>	<b>1000</b>	7,66	Atende
<b><math>\delta_3 - \delta_1</math></b>	<b>3000</b>	27,6	Não Atende
<b><math>\delta_4 - \delta_1</math></b>	<b>0</b>	-0,77	Atende

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, assim como no modelo numérico, no modelo experimental o guarda-corpo, MOD\_AÇO não atendeu à aplicação de carga de 3000 N, carga exigida pelo MTE, sendo que os deslocamentos foram maiores que o permitido - em torno de 38%.

Para o deslocamento residual, quando retirada a aplicação da carga e aguardado os 3 minutos para a leitura do deslocamento, o resultado apresentou-se negativo, ou seja, o deslocamento, quando aplicada a pré-carga, foi maior que o deslocamento residual. Pode-se

afirmar, com isso, que a pré-carga é elevada para a acomodação da estrutura e preenchimento de folgas para o modelo metálico.

De modo similar foi analisado a estrutura MOD\_MAD, com os dados apresentados no Quadro 17. Para o MOD\_MAD, observa-se que nos modelos experimentais, a estrutura não atendeu aos critérios de aceitação em nenhuma etapa de aplicação de carga. Na pré-carga, a estrutura deslocou em torno de 205,43% a mais que o permitido pela NBR 14718 (ABNT, 2008b). Seguindo as aplicações das cargas, os valores foram ultrapassados em torno de 24,70% para a carga dos 1000 N, 185,85% para a carga de 1500 N/m, nesse caso 2250 N.

Quadro 17: Critérios de aceitação MOD\_MAD, carregamento estático segundo a NBR 14718

Carga (N)		$\delta_{TS}$ (mm)	Verificação
$\delta 1$	300	21,38	Não Atende
$\delta 2 - \delta 1$	1000	24,94	Não Atende
$\delta 3 - \delta 1$	2250	57,17	Não Atende
$\delta 4 - \delta 1$	0	10,66	Não Atende

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse caso, o deslocamento inicial já atingiu patamares altos de, 21,38 mm. Observou-se, durante os ensaios, que não ocorreu plastificação da estrutura, a montagem dos guarda-corpos continha folgas referentes à furação na madeira para as ligações com parafusos, de acordo com o diâmetro das brocas disponíveis no mercado e folgas necessárias para o encaixe da chapa com os montantes, o que significa que o guarda-corpo estava com folgas na sua montagem, capazes de deslocar a estrutura com a movimentação dessa.

#### 4.4.2 Ensaios experimentais estáticos instantâneos de guarda-corpos

O Quadro 18 e o Quadro 19 apresentam os registros dos deslocamentos nas estruturas dos ensaios experimentais estáticos instantâneos para o MOD\_AÇO e MOD\_MAD, respectivamente.

Como no ensaio estático segundo a NBR14718, neste caso, também foi realizada a leitura dos deslocamentos, a uma distância determinada do montante, conforme detalhado no Item 3.4.3.2, de modo que foi possível retirar o valor dos deslocamentos.

Quadro 18: Medições realizadas no MOD\_AÇO, carregamento estático instantâneo

	<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b><math>\delta_{TI}</math> (mm)</b>
<b>Ensaio 1</b>	<b>770</b>	6,54	4,63
	<b>1000</b>	8,98	6,34
	<b>3000</b>	28,80	21,86
<b>Ensaio 2</b>	<b>770</b>	6,67	6,61
	<b>1000</b>	8,22	5,73
	<b>3000</b>	27,15	18,02
<b>Ensaio 3</b>	<b>770</b>	5,37	5,25
	<b>1000</b>	8,34	5,82
	<b>3000</b>	25,87	17,22
<b>Média</b>	<b>770</b>	<b>6,19</b>	<b>5,50</b>
	<b>1000</b>	<b>8,51</b>	<b>5,96</b>
	<b>3000</b>	<b>27,27</b>	<b>19,03</b>

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 19: Medições realizadas no MOD\_MAD, carregamento estático instantâneo

	<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b><math>\delta_{TI}</math> (mm)</b>
<b>Ensaio 1</b>	<b>770</b>	12,86	7,09
	<b>1000</b>	13,89	7,69
	<b>2250</b>	31,34	17,56
<b>Ensaio 2</b>	<b>770</b>	9,81	5,45
	<b>1000</b>	15,05	8,28
	<b>2250</b>	32,89	18,51
<b>Ensaio 3</b>	<b>770</b>	10,81	6,00
	<b>1000</b>	15,09	8,30
	<b>2250</b>	31,16	17,90
<b>Média</b>	<b>770</b>	<b>11,16</b>	<b>6,18</b>
	<b>1000</b>	<b>14,68</b>	<b>8,09</b>
	<b>2250</b>	<b>31,79</b>	<b>17,99</b>

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores a serem comparados com o prescrito na NBR 14718 (ABNT, 2008b) serão os valores registrados nas leituras realizadas nos relógios, pois em alguns casos, estes já ultrapassaram o valor máximo estabelecido pela norma.

Com isso, os resultados de deslocamentos para os ensaios experimentais e a verificação dos critérios de aceitação para o MOD\_AÇO são apresentados no Quadro 20 e para o MOD\_MAD no Quadro 21.

Quadro 20: Critérios de aceitação MOD\_AÇO, carregamento estático instantâneo

<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b>Verificação</b>
<b>770</b>	6,19	Atende
<b>1000</b>	8,51	Atende
<b>3000</b>	27,27	Não Atende

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 21: Critérios de aceitação MOD\_MAD, carregamento estático instantâneo

<b>Carga (N)</b>	<b><math>\delta_{TS}</math> (mm)</b>	<b>Verificação</b>
<b>770</b>	11,16	Atende
<b>1000</b>	14,68	Atende
<b>2250</b>	31,79	Não Atende

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, novamente, o MOD\_AÇO e o MOD\_MAD não atenderam à aplicação de carga de 1500 N/m, carga exigida pelo MTE, sendo que os deslocamentos foram maiores que o permitido - em torno de 26,66% e 37,09%, respectivamente.

#### 4.4.3 Ensaios experimentais de impacto

Quanto aos ensaios experimentais de impacto, o Quadro 22 apresenta os resultados encontrados a partir da integração numérica pelo Matlab.

Embora os deslocamentos para a distância de 77,52 cm sejam em torno de 46 mm para o MOD\_MAD a 50 mm para o MOD\_AÇO, mesmo nesse caso, a estrutura foi capaz de absorver o impacto.

Os guarda-corpos ensaiados foram inspecionados após a realização dos ensaios e não houve nenhum dano ou ruptura desse.



Quadro 22: Ensaio experimental de impacto

Estrutura		(d=203,8 mm; m=77,4kg)		(d=775,2 mm; m=77,4kg)	
		$\delta_{TS}$ (mm)	Média $\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	Média $\delta_{TS}$ (mm)
MOD_AÇO	Ensaio 1	8,65	7,92	46,29	50,60
	Ensaio 2	7,26		43	
	Ensaio 3	7,837		62,52	
MOD_MAD	Ensaio 1	15,17	11,78	49,03	46,00
	Ensaio 2	12,92		49,47	
	Ensaio 3	7,26		39,50	

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram realizadas análises a partir de imagens e medições em uma régua para comprovar as medições realizadas por acelerômetros e integrações numéricas.

A Figura 48, demonstra um impacto na estrutura realizado pelo saco de testes de massa de 77,4 kg, sendo que esse encontra-se na posição inicial distante a, aproximadamente, 20,38 cm da estrutura. Nesse momento, é possível ler na régua um valor de deslocamento inicial de 27,6 cm. No momento em que o saco de testes encosta nos travessões, é possível verificar a posição final marcada na régua de 28,3 cm. Realizando a subtração dos dois valores, tem-se a variação de 0,7 cm, ou seja, 7 mm, valor aproximado a dois deslocamentos encontrados pela integração numérica dos sinais de aceleração, conforme Quadro 22.

Figura 48: Impacto MOD\_AÇO, distância de 20,38 cm



Fonte: Elaborada pela autora.

Percebe-se que, por esse método não é possível ter uma precisão tal qual encontrada pelo método dos acelerômetros e sistemas de aquisição de dados, pode-se comprovar que as integrações numéricas dos sinais de aceleração, realizadas pelo Matlab, estão coerentes com valores dos deslocamentos medidos em campo.

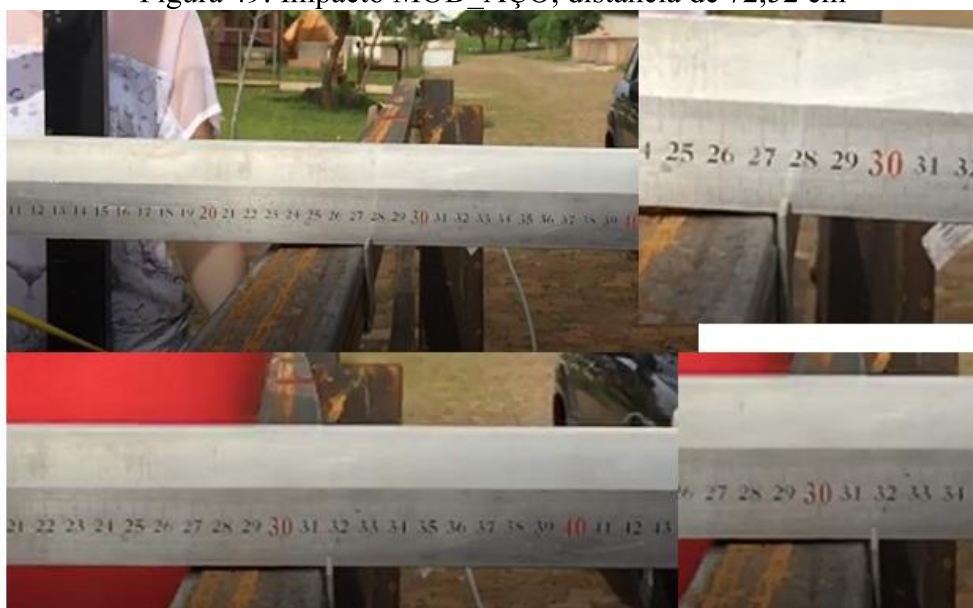
De modo semelhante, a Figura 49, apresenta os deslocamentos para a distância de impacto de 72,52 mm, medidos na régua metálica na posição inicial de 27,7 cm e posição final de 31,8 cm, com uma variação de 4,1 cm, aproximadamente, 41mm, comprovando os valores da integração numérica dos sinais de aceleração realizada no programa computacional.

Para os guarda-corpos de madeira, MOD\_MAD, também foi possível a análise das imagens. A Figura 50 demonstra o impacto realizado pelo saco de testes de 77,4 kg a uma distância de impacto de 20,38 cm. A posição inicial verificada na régua metálica é de, aproximadamente, 30,7 cm e a posição final é de, aproximadamente, 32 cm, um deslocamento aproximado de 13 cm.

A Figura 51 representa o impacto gerado pelo saco de testes no MOD\_MAD, porém nessa imagem, a uma distância aproximada de 77,52 cm da estrutura de guarda-corpos. Nesse caso, pode-se visualizar uma posição inicial na régua metálica de 30,8 cm e a posição final de 35,9 cm, representando um deslocamento aproximado de 51 mm.

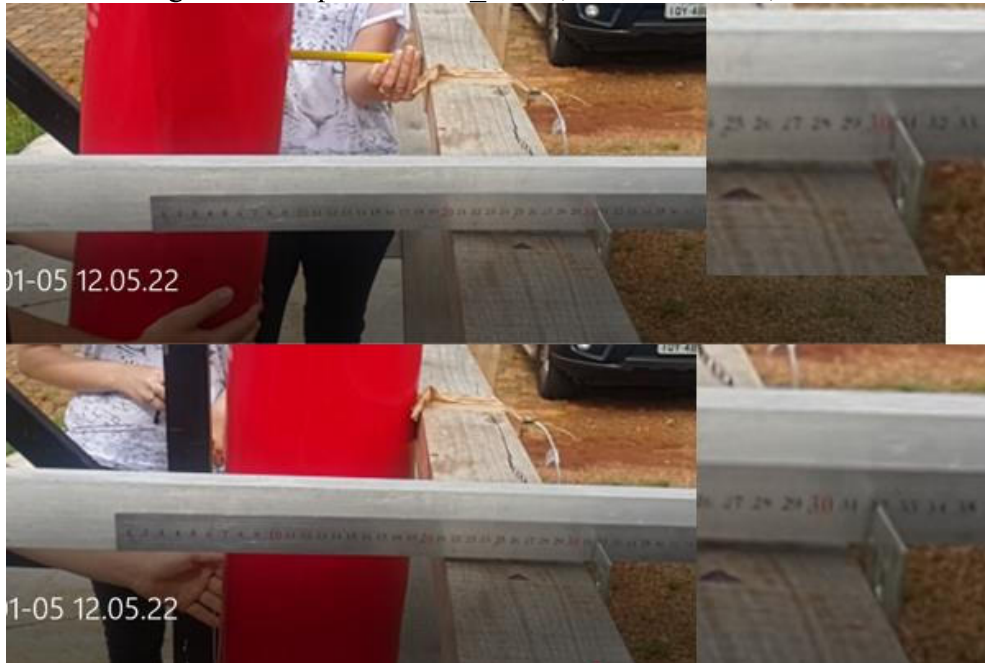
Comparando os valores de deslocamentos vistos nos vídeos e os obtidos por integração dos sinais de aceleração, pode-se afirmar que foram muito semelhantes.

Figura 49: Impacto MOD\_AÇO, distância de 72,52 cm



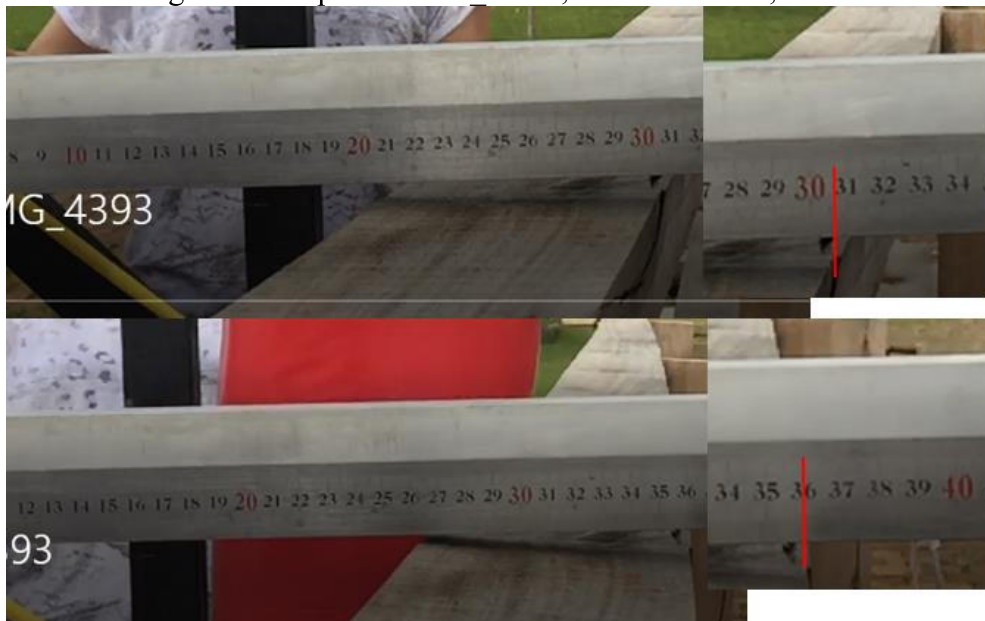
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 50: Impacto MOD\_MAD, distância de 20,38 cm



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 51: Impacto MOD\_MAD, distância de 72,52 cm



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.5. Comparação modelos numéricos e modelos experimentais

##### 4.5.1 Comparação modelos numéricos estáticos e ensaios experimentais estáticos segundo a NBR 14718

A comparação entre os modelos numéricos estáticos e modelos experimentais, é apresentada nos Quadro 23 e 24 para o carregamento estático segundo a NBR 14718, com as medições relativas à distância de instalação dos relógios.

Quadro 23: Comparação modelos numéricos e modelos experimentais MOD\_AÇO, carregamento estático segundo a NBR 14718

	Carga (N)	Modelos numéricos		Modelos experimentais		Variação	
		$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$	$\delta_{TI}$
Carga aplicada com ação da gravidade	400	6,70	4,37	4,68	2,68	30,11%	38,66%
	1000	13,18	8,77	7,66	5,14	41,90%	41,41%
	3000	34,49	23,44	27,6	17,49	19,98%	25,39%
Carga aplicada em 25 cm centro do vão	400	4,40	2,80	4,68	2,68	6,36%	4,21%
	1000	11,00	7,00	7,66	5,14	30,33%	26,55%
	3000	32,97	20,97	27,6	17,49	16,29%	16,60%

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 24: Comparação modelos numéricos e modelos experimentais MOD\_MAD, carregamento estático segundo a NBR 14718

	Carga (N)	Modelos numéricos		Modelos experimentais		Variação	
		$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$	$\delta_{TI}$
Carga aplicada com ação da gravidade	300	6,67	3,52	21,38	12,24	221%	248%
	1000	15,72	8,49	24,94	13,84	59%	63%
	2250	31,76	17,30	57,17	37,40	80%	116%
Carga aplicada em 25 cm centro do vão	300	4,36	2,27	21,38	12,24	390%	438%
	1000	14,47	7,53	24,94	13,84	72%	84%
	2250	32,40	16,83	57,17	37,40	76%	122%

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

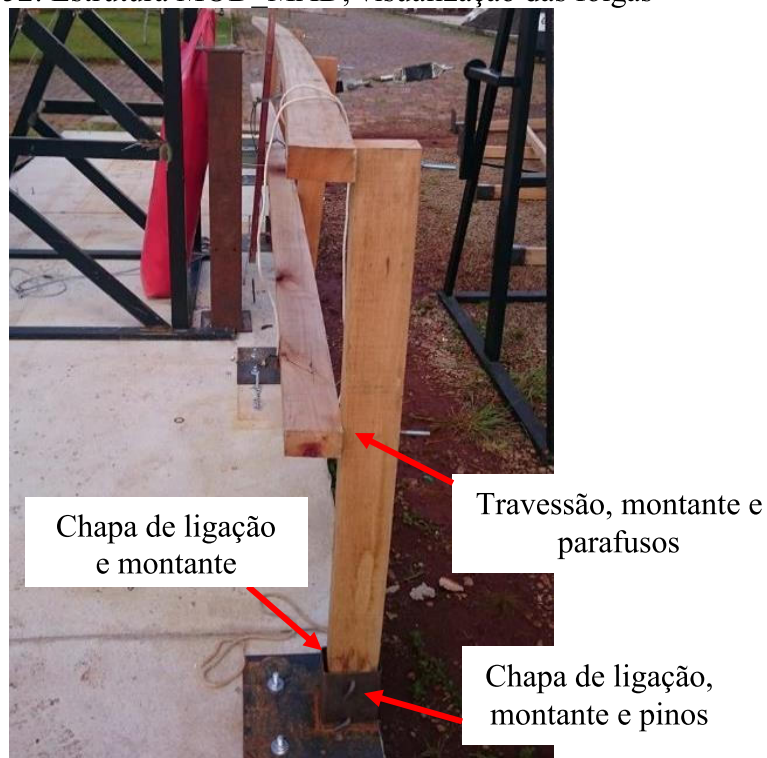
Observa-se que, para os modelos numéricos para o MOD\_AÇO, foi possível uma maior aproximação entre o modelo numérico e modelo experimental. Sendo que, para as duas análises realizadas, a que mais se aproximou do carregamento real da estrutura foi a análise realizada a partir de uma carga aplicada em 25 cm do centro do vão.

Para essa análise, percebe-se que a variação entre os modelos foi entre 0,12 mm e 5,37 mm, de modo que, analisando as porcentagens, a variação ficou entre 4,21% e 30,33%.

Já para a comparação entre o modelo numérico e o modelo experimental da estrutura MOD\_MAD, houve uma aproximação menor do que a análise para o MOD\_AÇO. Embora as diferenças entre os valores tenham variado em torno de 5,35 mm e 25,41mm, quando analisados em porcentagens, esses valores foram mais altos, entre 59% e 438%.

Essas diferenças entre o numérico e o experimental podem ser justificadas pelo fato de que, no modelo experimental, MOD\_MAD foi necessário deixar uma folga na estrutura para a montagem, em função dos diâmetros disponíveis no mercado de brocas para furação e para a fabricação dos pinos de ligação e chapas metálicas para a ligação com o montante. A Figura 52, ilustra as folgas identificadas na estrutura MOD\_MAD.

Figura 52: Estrutura MOD MAD, visualização das folgas



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.5.2 Comparação modelos numéricos estáticos e ensaios experimentais estáticos instantâneos

A comparação entre os modelos numéricos estáticos e modelos experimentais, ensaio estático estáticos instantâneos, é apresentada nos Quadro 25 e 26, com as medições relativas à distância de instalação dos relógios.

Quadro 25: Comparação modelos numéricos estáticos e modelos experimentais MOD\_AÇO, carregamento estático instantâneo

	Carga (N)	Modelos numéricos		Modelos experimentais		Variação	
		$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$	$\delta_{TI}$
Carga aplicada com ação da gravidade	770	10,70	7,09	6,19	5,50	42,12%	22,45%
	1000	13,18	8,77	8,51	5,96	35,46%	32,04%
	3000	34,49	23,44	27,27	19,03	20,94%	18,82%
Carga aplicada em 25 cm centro do vão	770	8,46	5,39	6,19	5,50	26,86%	2,02%
	1000	11,00	7,00	8,51	5,96	22,62%	14,80%
	3000	32,97	20,97	27,27	19,03	17,29%	9,24%

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 26: Comparação modelos numéricos estáticos e modelos experimentais MOD\_MAD, carregamento estático instantâneo

	Carga (N)	Modelos numéricos		Modelos experimentais		Variação	
		$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	$\delta_{TS}$	$\delta_{TI}$
Carga aplicada com ação da gravidade	770	12,74	6,85	11,16	6,18	12,46%	9,79%
	1000	15,72	8,49	14,68	8,09	6,63%	4,66%
	2250	31,76	17,30	31,79	17,99	0,11%	3,98%
Carga aplicada em 25 cm centro do vão	770	11,24	5,85	11,16	6,18	0,74%	5,50%
	1000	14,47	7,53	14,68	8,09	1,41%	7,42%
	2250	32,40	16,83	31,79	17,99	1,87%	6,89%

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, para os modelos numéricos para o MOD\_AÇO e MOD\_MAD, foi possível uma maior aproximação entre o modelo numérico e modelo experimental, com este ensaio estático.

Sendo que, para as duas análises realizadas, a que mais se aproximou do carregamento real da estrutura foi a análise realizada a partir de uma carga aplicada em 25 cm do centro do vão.

Para essa análise, percebe-se que a variação entre os modelos foi entre 0,11 mm e 5,7 mm para o MOD\_AÇO, e entre 0,08 mm e 1,16 mm para o MOD\_MAD de modo que, analisando as porcentagens, a variação ficou entre 2,02% e 26,86%, para o MOD\_AÇO e para, o MOD\_MAD, as porcentagens de variação ficaram ente 0,74% e 7,42%.

Essas aproximações maiores, podem justificarem-se pelo fato de que, no modelo experimental, foram contidas as folgas na estrutura antes do ensaio e, também, o carregamento com medições de deslocamentos instantâneos, simula de uma forma mais adequada a análise estática.

#### 4.5.3 Comparação modelos numéricos e ensaios experimentais de impacto

Para a comparação entre os modelos numéricos e experimentais para a carga gerada pelo impacto, as modelagens numéricas realizadas foram com um corpo de 77 kg e outro com 100 kg, a uma distância de 208,3 mm. Já o modelo experimental ensaiado apresentava um corpo sólido de 77,4 kg e foi ensaiado a distâncias aproximadas das determinadas no modelo numérico.

Para a comparação do modelo numérico com o corpo sólido de 100 kg, não foi possível a comparação com o experimental, pois não havia disponível esse peso para realizar o ensaio, para a comparação do impacto de 600 J, gerado por um corpo de 77 kg a uma distância de 775,2 mm, não foi possível a determinação dos numéricos devido ao tempo gerado pela modelagem.

O Quadro 27, apresenta os resultados de deslocamentos para os modelos numéricos e os ensaios experimentais de impacto para o MOD\_AÇO e MOD\_MAD.

Quadro 27: Comparação modelos numéricos e modelos experimentais, carregamento de impacto

	Modelos numéricos		Modelos experimentais		Variação	
	MOD_AÇO	MOD_MAD	MOD_AÇO	MOD_MAD	MOD_AÇO	MOD_MAD
Impacto	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TS}$	$\delta_{TS}$
77 kg à distância de 20,38 cm	11,65	17,534	7,92	11,78	32,06%	32,80%
100 kg à distância de 20,38 cm	11,875	17,953	-	-	-	-
77 kg à distância de 77,52 cm	-	-	50,603	46	-	-

TS = Travessão superior

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível analisar que, com a análise de impacto, que os modelos MOD\_AÇO e MOD\_MAD apresentaram uma variação próxima a 32%.

#### 4.6. Comparação modelos de aço (MOD\_AÇO) e de madeira (MOD\_MAD)

Apesar das discrepâncias entre os modelos MOD\_AÇO e MOD\_MAD, dimensões do perfil utilizado, módulos de elasticidade do material, geometria do modelo, cargas aplicadas em função do comprimento dos travessões, foi realizada a comparação dos modelos MOD\_AÇO e MOD\_MAD, de modo que tornou-se possível a melhor visualização dos deslocamentos desenvolvidos em cada caso.

Observa-se, no Quadro 28, que quando aplicada a carga de 200 N/m e 1500 N/m nos modelos numéricos com diferentes materiais é possível ver uma certa aproximação dos valores de deslocamento, como é o caso da carga de, 400 N e 3000N para o MOD\_AÇO e 300 N e 2250 N para o MOD\_MAD.

Quadro 28: Comparação modelos numéricos de aço (MOD\_AÇO) e madeira (MOD\_MAD), carregamento estático

	Aço (MOD_AÇO)			Madeira (MOD_MAD)		
	Deslocamento máximo			Deslocamento máximo		
	Carga (N)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	Carga (N)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)
<b>Carga aplicada com ação da gravidade</b>	<b>400</b>	6,755	4,4428	<b>300</b>	6,7042	3,578
	<b>1000</b>	13,322	8,964	<b>1000</b>	15,821	8,6765
	<b>3000</b>	34,909	23,991	<b>2250</b>	32,021	17,73
<b>Carga aplicada em 25 cm centro do vão</b>	<b>400</b>	4,4472	2,8501	<b>300</b>	4,4119	2,3233
	<b>770</b>	8,5569	5,4872	<b>770</b>	11,348	5,9778
	<b>1000</b>	11,11	7,1261	<b>1000</b>	14,613	7,6984
	<b>3000</b>	33,344	21,373	<b>2250</b>	32,699	17,211

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Já para a análise experimental dos guarda-corpos de madeira, com carregamento estático segundo a NBR 14718, o Quadro 29 demonstra que os guarda-corpos de madeira (MOD\_MAD), deslocaram-se mais do que os guarda-corpos de aço (MOD\_AÇO) em praticamente todos os



carregamentos da estrutura. O mesmo ocorre com o carregamento estático com medições de deslocamentos instantâneos, conforme Quadro 30.

Quadro 29: Comparação modelos experimentais de aço (MOD\_AÇO) e madeira (MOD\_MAD), carregamento estático segundo a NBR 14718

Aço (MOD_AÇO)			Madeira (MOD_MAD)		
Distância dos relógios			Distância dos relógios		
Carga (N)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	Carga (N)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)
400	4,68	2,68	300	21,38	12,24
1000	12,34	7,82	1000	46,32	26,08
3000	32,28	20,17	2250	78,55	49,64

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 30: Comparação modelos experimentais de aço (MOD\_AÇO) e madeira (MOD\_MAD), carregamento estático instantâneo

Aço (MOD_AÇO)			Madeira (MOD_MAD)		
Distância dos relógios			Distância dos relógios		
Carga (N)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)	Carga (N)	$\delta_{TS}$ (mm)	$\delta_{TI}$ (mm)
770	6,19	5,495	770	11,16	6,18
1000	8,51	5,96	1000	14,68	8,09
3000	27,27	19,0317	2250	31,79	17,99

TS = Travessão superior; TI = Travessão inferior

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base no Quadro 27, é possível comparar os deslocamentos que ocorrem no material aço (MOD\_AÇO) com o material madeira (MOD\_MAD) para o carregamento de impacto experimental. Observa-se que, para a carga de impacto gerada pelo corpo de 77 kg, a uma distância de 203,8 mm, o deslocamento do guarda-corpo de material madeira foi maior que o deslocamento do guarda-corpo de material aço. Porém, para o ensaio experimental o impacto gerado pelo corpo a uma distância de 775,2 mm ocorreu o inverso, o deslocamento na estrutura de aço foi maior que o deslocamento na estrutura de madeira.

Para o caso da análise numérica do corpo de 100 kg a uma distância de 203,8 mm, ocorreu similar ao corpo de 77 kg com a estrutura de madeira, apresentando deslocamentos maiores que a estrutura de aço.

#### **4.7. Coeficiente de amplificação dinâmico**

Coeficiente de amplificação dinâmico seria um coeficiente capaz de majorar uma carga estática a ponto de igualar os deslocamentos gerados por ela em uma estrutura pelos deslocamentos gerados pela mesma carga em um carregamento de impacto.

Ao analisar o fator de amplificação dinâmico dos modelos numéricos, estáticos e de impacto, inicialmente, para o MOD\_AÇO com o modelo numérico de 77 kg, obteve-se um coeficiente de amplificação dinâmico em torno de 1,36. Para um modelo de 100 kg, o coeficiente de amplificação dinâmico encontrado foi de 1,07, sendo, neste caso, considerada uma distância de impacto de 203,8 mm a uma velocidade de 2 m/s, assim, com o coeficiente de amplificação dinâmico próximo a 1,0, observa-se que o deslocamento gerado no impacto de um corpo de 100 kg com o deslocamento gerado pela aplicação de uma carga estática de 100 kg, praticamente igualam-se.

Para a mesma análise do MOD\_MAD, o coeficiente de amplificação dinâmico para um corpo com uma massa de 77 kg foi de 1,54 e, para uma massa de 100 kg, o coeficiente de amplificação dinâmico foi de 1,20.

Para os modelos experimentais, o MOD\_AÇO com o modelo numérico de 77 kg, considerada uma distância de impacto de 203,8 mm a uma velocidade de 2 m/s, obteve um coeficiente de amplificação dinâmico em torno de 1,279, considerando o ensaio experimental de carregamento estático com medições instantâneas. E para o MOD\_MAD em torno de 1,056.

#### **4.8. Incertezas do estudo**

Algumas incertezas, foram verificadas ao decorrer do estudo experimental, visto que foi verificada a existência de folgas nas ligações que contribuíram para os valores dos deslocamentos, principalmente nos ensaios estáticos segundo a NBR 14718 do MOD\_MAD. Visualmente, verificou-se que o material não plastificou, apenas houve uma movimentação da estrutura como um todo.

A aplicação da carga por meio do dinamômetro, como sugere a NBR 14718 (ABNT, 2008b), traz algumas variações na aplicação da carga, pois é difícil a aplicação precisa e exata do carregamento.

Como os ensaios não ocorreram no mesmo dia, foram diferentes pessoas que ajudaram nas montagens, esse fator faz com que algumas variáveis na fixação das estruturas, montagem dos relógios, variassem conforme o dia, mesmo sendo mantido um padrão para os ensaios.

Possíveis falhas também foram verificadas no ensaio experimental de impacto. As distâncias em que o saco era levantado podiam variar de ensaio para ensaio, eram realizadas medições aproximadas com trena. Ainda, mesmo que não seja intuito do ensaio, é possível que, ao largar o saco, seja inferida uma velocidade inicial nesse, interferindo na velocidade adquirida durante o percurso normal de queda.

Quanto à velocidade, nos modelos numéricos, é atribuída uma velocidade de impacto no corpo sólido de 2 m/s, conforme estudos anteriores realizados, porém, experimentalmente, não foi possível avaliar essa velocidade e garantir que a velocidade de 2 m/s ocorra no impacto, para fins de comparação entre modelos numéricos e ensaios experimentais.

Outros problemas verificados são referentes à ocorrência em obra. Não é possível um controle em obra sobre velocidade e distância de impacto quando ocorrer alguma queda de um trabalhador. Uma queda em obra é decorrente de um acidente, não sendo planejado como um ensaio experimental.

Os protótipos ensaiados foram dimensionados por normas específicas de aço NBR 8800 (ABNT, 2008a) e de madeira NBR 7190 (ABNT, 1997), porém esses protótipos são diferentes dos usuais em obra, sendo que a estrutura sugerida é de difícil utilização em canteiro de obras devido ao peso da estrutura, à dificuldade de transporte entre pavimentos e a chapas de fixação que prejudicariam a execução da alvenaria para fechamento da periferia.

#### **4.9. Análise dos resultados**

De acordo com os resultados apresentados, considera-se que os ensaios de caracterização do material realizados foram válidos para a aproximação dos resultados entre os modelos numéricos e ensaios experimentais apresentados neste trabalho. A medição das massas dos trabalhadores contribuiu na consideração de hipóteses de carregamentos para os modelos numéricos e ensaios experimentais realizados nas estruturas de guarda-corpos provisórios.

A avaliação das estruturas de guarda-corpos foi realizada a partir da análise de deslocamentos verificados em protótipos elaborados para o trabalho em aço e em madeira, com

modelos numéricos e ensaios experimentais com aplicação de carregamentos estáticos e de impacto.

Foram seguidos os critérios de aceitação segundo a NBR 14718 (ABNT, 2008b) que orienta que ensaios estáticos de estruturas de guarda-corpos para edificações, devem apresentar deslocamentos máximos de 20 mm para carga de uso. A norma citada, refere-se a estruturas definitivas de guarda-corpos, apresentando critérios mais restritivos de deslocamentos.

Ao analisar os deslocamentos gerados pelos modelos numéricos estáticos, ensaios experimentais estáticos instantâneos de guarda-corpos, para os dois modelos (MOD\_AÇO e MOD\_MAD), os modelos não atendem a prescrição da NBR 14718 (ABNT, 2008b) para o carregamento de 1500 N/m, exigido pela RTP 01.

Os deslocamentos do ensaio experimental estático de guarda-corpos segundo a NBR 14718, em que foram seguidos os procedimentos definidos pela NBR 14718 (ABNT, 2008b), o MOD\_AÇO não atende novamente ao carregamento de 1500 N/m e o MOD\_MAD não atende a nenhuma das hipóteses de carregamento realizada.

Ao analisar os deslocamentos de modo similar, caso o critério de aceitação adotado fosse a norma internacional EN 13374 (DIN, 2013), o limite de deslocamento máximo no ensaio estático seria de 55 mm, neste caso, apenas a situação de carregamento de 1500 N/m para o MOD\_MAD não seria aceitável, com um valor de 2,17 mm além do permitido, aproximadamente 4%. Os outros carregamentos atenderiam as prescrições da norma citada para as estruturas analisadas.

Com isso, considera-se inicialmente que as orientações de ensaios de guarda-corpos da NBR 14718 (ABNT, 2008b) não são adequadas para a utilização em estruturas provisórias, sendo necessário especificações em normas de referência para guarda-corpos para proteção de periferias para trabalho em altura.

Observa-se que a NBR 14718 apresenta um critério mais exigente, visto que sua abrangência é para guarda-corpos definitivos de edificações. Por outro lado, por mais que os guarda-corpos ensaiados não tenham atendido a esses critérios de aceitação, visualmente, não houve ruptura do sistema ou de seus componentes.

Além, foram verificadas folgas na estrutura conforme visualizado na Figura 52, considera-se que essas folgas da ligação contribuíram para os deslocamentos maiores do modelo MOD\_MAD, sendo necessário um cuidado maior com as ligações e interfaces dos modelos.

Comparando os deslocamentos gerados pelo impacto de um corpo com massa de 77 kg observou-se que, para os modelos numéricos, o MOD\_AÇO apresentou um deslocamento em torno de 11 mm, aproximando-se do modelo numérico estático com aplicação de um carregamento de 1000 N na estrutura. Já o MOD\_MAD apresentou deslocamentos em torno de 17 mm, superior ao deslocamento gerado pelo carregamento estático de 1000 N na estrutura, que foi de 14 mm.

Para a mesma análise, o ensaio experimental para o MOD\_AÇO apresentou deslocamentos em torno de 8 mm, aproximando-se do carregamento do ensaio estático instantâneo de guarda-corpos de 1000 N e um deslocamento inferior no caso do carregamento de 1000 N no ensaio estático de guarda-corpos segundo a NBR 14718, que foi em torno de 12 mm.

Para o MOD\_MAD os deslocamentos no ensaio de impacto foram em torno de 12 mm, abaixo dos deslocamentos para carregamento de 1000 N no ensaio estático instantâneo de guarda-corpos, próximo aos 14 mm e deslocamento inferior a todos os carregamentos aplicados no ensaio estático de guarda-corpos segundo a NBR 14718.

Com esta verificação pode-se considerar novamente a não aplicabilidade da NBR 14718, para análise de estruturas de guarda-corpos provisórios, em que os deslocamentos estáticos foram acima dos deslocamentos de um impacto gerado pelo sólido similar ao corpo humano.

Ainda, tanto para os modelos numéricos, quanto para os ensaios experimentais de impacto os sistemas projetados foram capazes de absorver um impacto de uma queda sem nenhuma ruptura local ou global do sistema, com deslocamentos abaixo do que determinam as normas internacionais AS/NZS 4.994.1(2009a) de 401 mm e a EN 13374 (DIN, 2013) de 100 mm.

Quanto ao carregamento aplicado, é possível afirmar que o carregamento de 1500 N/m, exigido pelo RTP 01, encontra-se fora dos padrões internacionais, já que nas demais normas pesquisadas, o maior carregamento não ultrapassa os 900 N. Outra análise pode ser feita ao observar a NBR 15836 que determina o uso de um manequim de 1000 N para o ensaio de cinturões tipo paraquedista (equipamentos de proteção individual) onde estes serão utilizados quando inexistir guarda-corpos na periferia (equipamentos de proteções coletivas).

Outra comparação possível é a análise dos deslocamentos gerados pelos modelos numéricos em comparação aos deslocamentos dos modelos experimentais.

Observa-se que os ensaios estáticos instantâneos aproximaram-se mais dos modelos numéricos que os ensaios estáticos segundo a NBR 14718, considerando os procedimentos de medições de deslocamentos instantâneos e logo após um minuto de aplicação da carga mais

adequados para a avaliação de estruturas provisórias para proteção de quedas de altura, conforme também é indicado no método de ensaio estático da EN 13374 (DIN, 2013) com medições de deslocamento após decorrer um minuto de aplicação da carga.

Quanto aos modelos numéricas, ao analisar as duas formas de aplicação de carga na estrutura, uma com o sólido similar ao corpo humano com atuação da força gravitacional e outra com uma carga aplicada em 25 cm do centro do travessão superior e travessão intermediário, em sua maioria os modelos com a aplicação da carga em 25 cm do centro do vão aproximaram-se mais dos modelos numéricos em vista aos modelos com a ação do corpo humano e a força gravitacional.

Os modelos numéricos e ensaios experimentais apresentaram uma aproximação adequada, quando comparados com os ensaios experimentais estáticos instantâneos e o carregamento em 25 cm do centro do travessão, com um erro máximo de 26,9% para o carregamento estático e de 32,8% para o carregamento de impacto, considerados admissíveis.

Em relação ao material utilizado, considera-se que tanto os guarda-corpos de aço (MOD\_AÇO) como os guarda-corpos de madeira (MOD\_MAD) foram capazes de suportar as solicitações em caso de carregamento estático e de impacto, neste caso, ambos foram dimensionados por normas específicas para estruturas de aço a NBR 8800 (ABNT, 2008a) e a NBR 14762 (ABNT, 2010) e de estruturas de madeira a NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo assim considera-se como adequado a sua utilização em canteiros de obras, desde que dimensionados adequadamente e inspecionados periodicamente para a avaliação de possíveis deteriorações dos sistemas e garantia das perfeitas características da estrutura.

A partir da consideração dos Coeficientes de amplificação dinâmico calculados para as estruturas desse trabalho, pode-se verificar novamente que as cargas estáticas para igualar os deslocamentos de impacto encontram-se em torno de 1000 N com uma variação de aproximadamente 20% para mais e menos, ou seja em torno de 800 N a 1200 N.

Em relação ao saco de teste que simulou o impacto do corpo humano, tal como González et al. (2015) já haviam afirmado, considera-se que este aplica uma carga maior do que seria aplicada pelo corpo humano, em função da menor capacidade de absorção de impacto do corpo humano. Ou seja, é possível afirmar que as estruturas são mais carregadas em ensaios experimentais do que em caso real de queda de um trabalhador.

Ainda, considera-se que existem variáveis relativas a ocorrência de um acidente em canteiro de obras, trazendo algumas incertezas ao estudo, estima-se como irá ocorrer a queda e procura-se

simular o mais próximo possível em um ensaio experimental, porém impossível considerar exatamente os fatores que levam a ocorrência de um acidente de trabalho em um campo experimental.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1. Conclusões

Neste trabalho, foram apresentados modelos numéricos relativos a guarda-corpos para proteção de periferia utilizados para a segurança do trabalho na construção civil. O trabalho foi desenvolvido para estruturas de aço e de madeira, com variação na forma de aplicação de carga estática e aplicação do impacto de um sólido para simular a queda de um ser humano, como forma de análise dinâmica. Baseado neste estudo, na revisão bibliográfica desenvolvida e nos comentários expostos no capítulo anterior, podem-se apresentar as seguintes conclusões.

As normas seguem parâmetros similares quanto a requisitos geométricos, porém quanto a parâmetros de aplicação das ações divergem entre si, sendo que a norma brasileira deixa de apresentar maiores informações sobre métodos de modelagem, análise e dimensionamento dessas estruturas.

A partir da pesquisa sobre a massa e a altura dos trabalhadores da Construção Civil, pode-se analisar que o ideal é uma análise com uma massa aproximada de 100 kg, considerando uma majoração do valor médio encontrado, além do que também sugere a NBR 15836 – Equipamento de proteção individual contra queda de altura – Cinturão de segurança tipo paraquedista (ABNT, 2010), que indica o uso de um manequim de 100 kg para os ensaios de cinturões tipo paraquedista, para trabalho em altura. Considera-se que, quando existir guarda-corpos na periferia (equipamentos de proteções coletivas), esses devem substituir os sistemas de linha de vida com o uso de cintos de segurança tipo paraquedista (equipamentos de proteção individual).

Conclui-se, também, que a distância ideal para simular uma queda seria de 20,38 cm, para que o valor da Energia Cinética ( $E_c$ ) gerada seja igualado e suportado pelo trabalho ( $W$ ) realizado pelo impacto do corpo humano na estrutura a uma velocidade de 2 m/s.

As modelagens completas elaboradas neste estudo com elementos finitos podem ser consideradas adequadas e com um nível de refinamento de malha dos modelos para a aplicação estudada, porém exigem estudos paramétricos complementares e calibrações com maior número de ensaios experimentais, focando, principalmente, em folgas e interface de ligações dos elementos do sistema.



Vale ressaltar, ainda, que para a modelagem numérica, o fator mais importante para determinação de deslocamentos é o módulo de elasticidade do material e que os outros como tensões e fator de atrito são irrelevantes nos resultados.

Para as modelagens numéricas, os guarda-corpos não atenderam aos requisitos exigidos pela NBR 14718 (ABNT, 2008b), quando medidos os deslocamentos gerados pela aplicação de uma carga estática de 150 kg/m exigida pelo MTE. Além disso, pode-se concluir que a carga estabelecida pelo MTE, a partir da RTP 01 de 150 kg/m supera as exigências de um impacto de uma massa de 77 kg, a uma distância de 20,38 cm a uma velocidade de 2 m/s na estrutura.

Os ensaios experimentais realizados serviram como parâmetro de análise, porém é imprescindível que seja elaborado um método adequado para ensaios dessas estruturas para a construção civil, visto que, analisando experimentalmente, a estrutura, o guarda-corpo de aço não atende aos requisitos da NBR 14718 (ABNT, 2008b) para o carregamento de 150 kg/m. A estrutura de madeira ultrapassou os limites da NBR 14718 (ABNT, 2008b) para todos os carregamentos, no ensaio estático segundo a NBR 14718 (ABNT, 2008b) e para o carregamento de 150 kg/m para o ensaio estático instantâneo.

Porém, por mais que pela referida norma os guarda-corpos não atendam aos critérios de aceitação, verificou-se que os deslocamentos gerados na estrutura foram devidos a movimentação da estrutura como um todo. Os protótipos ensaiados foram dimensionados por normas específicas de aço NBR 8800 (ABNT, 2008a) e a NBR 14762 (ABNT, 2010) e de madeira NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo que, visualmente, nem no ensaio estático e nem no ensaio de impacto, houve ruptura do sistema ou de seus componentes.

Os sistemas projetados para os ensaios no presente trabalho foram capazes de absorver um impacto de uma queda sem nenhuma ruptura local ou global do sistema.

Com isso, entende-se, também, que o método de ensaio determinado pela NBR 14718 (ABNT, 2008b) é válido para guarda-corpos definitivos, não sendo adequado para a avaliação de guarda-corpos provisórios para a Construção Civil.

Conclui-se, ainda, que é necessário um dimensionamento orientado por normas regulamentadoras para a segurança do trabalho - NR e as normas de referência da ABNT, com um método de ensaio específico para guarda-corpos provisórios para a construção civil em que seja possível um controle experimental por amostragem.

## **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

O estudo foi realizado para a queda de um trabalhador nas estruturas de guarda-corpos provisórios para a Construção Civil, porém, não se tem informações sobre estudos em queda simultânea de dois ou mais trabalhadores.

Também não foram contemplados estudo e definição de um método de ensaio capaz de atender às necessidades de guarda-corpos provisórios para a Construção Civil, com ajustes nas ligações dos modelos e correção das folgas, que sejam de possível execução em obras.

Assim, instrumentar os travessões e os montantes com sensores resistivos (Strain Gages) para medir tensões pode vir a esclarecer muitas dúvidas do comportamento de guarda-corpos como sistema de proteção contra queda.

Destaque-se, ainda, que os protótipos ensaiados diferem dos utilizados nas obras, considera-se que para uma maior aproximação da realidade, seria necessário um estudo focado para guarda-corpos provisórios para uso na Construção Civil.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. F. **Elementos Finitos a Base da Tecnologia CAE**. São Paulo: Érica, 2007, p. 192 - 198.

ALVES, G. T. **Avaliação de absorção de energia de impacto**. Uma abordagem baseada em testes com estruturas similares. Tese de Doutorado, PUC-RIO, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008a.

\_\_\_\_\_. **NBR 14718**: Guarda-corpos para edificação. Rio de Janeiro: 2008b.

\_\_\_\_\_. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: 2010a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15836**: Equipamento de proteção individual contra queda de altura – Cinturão de segurança tipo paraquedista. Rio de Janeiro, 2010b.

\_\_\_\_\_. **NBR 7188/2013**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 2013.

AS / NZS, STANDARDS AUSTRALIA / NEW ZELAND STANDARDS. **AS/NZS 4994.1-2009**: Temporary Edge Protection. Part 1: General Requirements. Sydney, 2009a.

\_\_\_\_\_. **AS/NZS 4994.2-2009**: Temporary Edge Protection. Part 2: Roof edge protection – Installation and dismantling. Sydney, 2009b.

\_\_\_\_\_. **AS/NZS 4994.3-2010**: Temporary Edge Protection. Part 3: Installation and dismantling for edges other than roof edges. Sydney, 2010.

\_\_\_\_\_. **AS/NZS 4994.4**: Proteção temporária de periferia – Parte 4: Telas de proteção de perímetro, 2016.

BOBICK, T. G.; MCKENZIE, E. A.; KAU, T., Evaluation of guardrail systems for preventing falls through roof and floor holes. **Journal of safety research**, v. 41, n. 3, p. 203-211, 2010.

BRASIL. **Lei 8.213, de 24 de julho de 1991**. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 1991, p. 11. Disponível em:

<[http://www.ipism.mg.gov.br/arquivos/legislacoes/legislacao/leis/lei\\_8213.pdf](http://www.ipism.mg.gov.br/arquivos/legislacoes/legislacao/leis/lei_8213.pdf)> acesso: 07 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. **Ministério da Previdência Social**. AEPS - Anuário Estatístico do Ministério da Previdência Social (2014). Análise das Estatísticas de Acidentes do Trabalho na Construção Civil. Brasília, DF. Julho de 2014, v. 26, nº 07.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 01 – NR 01. Disposições Gerais**. 2009. Disponível em:

<[http://acesso.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF0F7810232C/nr\\_01\\_at.pdf](http://acesso.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF0F7810232C/nr_01_at.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 18 – NR 18. Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. 2015**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-18-1.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 35 – NR 35. Trabalho em Altura**. 2016. Disponível em:

<<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35/NR-35-2016.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

BRIDI, M. E.; FORMOSO, C. T.; PELLICER, E.; FABRO, F.; VIGUER CASTELLO, M. E.; ECHEVESTE, M. E. S. Identificação de práticas de gestão da segurança e saúde no trabalho em obras de construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p.43-58, jul./set. 2013.

COMITÊ PERMANENTE NACIONAL SOBRE CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (Brasil) (Org.). **Norma Regulamentadora n.º 18 Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. 2015.

Disponível em: <[http://www.cpn-nr18.com.br/uploads/propostas/andamentos/nr\\_18\\_consolidado\\_em\\_04082014\\_rev\\_em\\_26\\_2\\_2014\\_reunio\\_21\\_5\\_15.pdf](http://www.cpn-nr18.com.br/uploads/propostas/andamentos/nr_18_consolidado_em_04082014_rev_em_26_2_2014_reunio_21_5_15.pdf)>. Acesso em: 31 jan. 2015.

COSTELLA, M. F.; JUNGES, F. C.; PILZ, S. E. Avaliação do cumprimento da NR-18 em função do porte de obra residencial e proposta de lista de verificação da NR-18. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 87-102, jul./set. 2014.

COSTELLA, M.F.; PILZ, S.E.; SORGATO, P.L.; BALDISSERA, A. Ensaio Estático e Dinâmico de Proteções Coletivas Contra Quedas de Altura em Canteiros de Obras. In: XV Encontro Nacional De Tecnologia do Meio Ambiente Construído, 2014, Maceió. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper\\_93.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_93.pdf)> Acesso em: 26 abri. 2014.

DIEESE - Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (2013). Estudo Setorial da Construção em 2012. São Paulo, SP. Maio, 2013.

\_\_\_\_\_. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (2016). 8º Boletim Trabalho e Construção. 2016. Disponível em:

<<http://www.dieese.org.br/boletimtrabalhoeconstrucao/pedBoletimTrabalhoConstrucao.html>>

Acesso em: 30 jan. 2017.

DIN. STANDARDS COMMITTEE BUILDING AND CIVIL ENGINEERING. EN 13374.

**Temporary edge protection systems.** Product specification. Test methods; European Standard EN 13374. 2013: Committee for Standardization. May, 2013.

DIN. STANDARDS COMMITTEE BUILDING AND CIVIL ENGINEERING. EN 1995-2:

EUROCODE 5, Part 2: **Design of Timber Structures:** Bridges. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.

EKHOLM, Kristoffer; EKEVAD, Mats; KLIGER, I. R. Modeling Slip in Stress-Laminated Timber Bridges: Comparison of Two Finite-Element-Method Approaches and Test Values. **Journal of Bridge Engineering**, v. 19, n. 9, p. 04014029, 2014.

EKHOLM, Kristoffer; KLIGER, I. R. Effect of vertical interlaminar shear slip and butt joints in narrow stress-laminated-timber bridge decks. **Engineering Structures**, v. 72, p. 161-170, 2014.

EU-OSHA, **AGÊNCIA EUROPÉIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO.** 2015. Disponível em: <<https://osha.europa.eu/pt/about-eu-osha>>. Acesso em: 28 out. 2015.

EU-OSHA, **AGÊNCIA EUROPÉIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO.** FACTS 15: Prevenção de Acidentes no Sector da Construção. Printed in Belgium, 2001.

FRANÇA, Sergio Luiz Braga; TOZE, Marco Antonio. A gestão de pessoas como contribuição à implantação da gestão de riscos: o caso da indústria da construção civil. **Revista Produção On Line**, v. VIII, n. IV, 2008.

FUNDACENTRO. **Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho.** São Paulo, 2015. Disponível em:

<<http://www.fundacentro.gov.br/institucional/estatuto>>. Acesso em 15 out. 2015.

GUIMARÃES, L. d. M; SAURIN, T. de A.; LANTELME, E.; FORMOSO, C. T. **Contribuições Para Aperfeiçoamento da NR-18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.** *Coletânea Habitare*, v. 3, p. 174-207, 2003.

\_\_\_\_\_. **Recomendação técnica de procedimentos 01: Medidas de proteção contra quedas de altura.** São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/recomendacao-tecnica-de-procedimento/publicacao/detalhe/2012/9/rtp-01-medidas-de-protecao-contra-queadas-de-altura>>. Acesso em 20 ago. 2015.

GERDAU. **Manual de aços.** Disponível em:

[http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo\\_acos\\_gerdau.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf). Acesso: 10/01/2017.

GONÇALVES L. B.; CRUZ V. M. C da. **Segurança e medicina do trabalho**. São Paulo: Yone Silva Pontes, 2010.

GONZÁLEZ, M. N. **Consideraciones respecto a los sistemas provisionales de protección de borde**. 2010. Tese de Doutorado. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España.

GONZÁLEZ M. N. et al. Comportamiento bajo cargas estáticas de sistemas provisionales de protección de borde realizados con elementos de acero/Behavior under static loads of temporary edge protection systems built with steel elements. **Materiales de Construcción**, v. 63, n. 310, p. 283-296, 2011.

GONZALEZ, M. N. et al. Comportamiento de Sistemas Provisionales de Protección de Borde de polietileno de alta densidad frente a cargas estáticas y de impacto. **Informes de la Construcción**, v. 65, n. 529, p. 99-106, 2013.

GONZÁLEZ, M. N., Cobo, A., Castaño, A., Prieto, M.I. A comparison of the resistance of Temporary Edge Protection Systems to static and dynamic loads. **Informes de la Construcción**, v. 67, n. 538, p. 10.3989/ic. 13.161, 2015.

LAN, A.; DAIGLE, R.. Development and validation of a method for evaluating temporary wooden guardrails built and installed on construction sites. **Safety science**, v. 47, n. 2, p. 215-226, 2009.

MATHWORKS Inc. Student Edition of MATLAB Version 5 for Windows, 2016.

MTE, Ministério do Trabalho e Emprego. 2015. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/2015-09-14-19-18-40/2015-09-14-19-23-50>>. Acesso em: 05 out. 2015.

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura**. G. Gilli, 1998.

OIT, **ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO**. Prevention Occupational Diseases: World Day for safety and health at work. Geneva, 2013. ISBN 978-92-2-127446-9

OSHA. Occupational safety and health administration. **Fall protection in construction**. Disponível em: <<https://www.osha.gov/SLTC/etools/construction/falls/guardrail.html>>. Acesso em: 23 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Occupational safety & health administration. 2015. Disponível em: <<https://www.osha.gov/about.html>>. Acesso em: 23 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Occupational safety and health administration. United States Department of Labour. **1926. 502: fall protection systems criteria and practices**. 2016. Disponível em: <[https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadis.show\\_document?p\\_id=10758&p\\_table=STANDARDS](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadis.show_document?p_id=10758&p_table=STANDARDS)> Acesso em: 30 jan. 2017.

\_\_\_\_\_. Occupational safety and health administration. United States Department of Labour.

**1910.23**. 2010. Disponível em:

<[https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9715](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9715)>. Acesso em: 23 set. 2015.

PEÑALOZA, G. A.; FORMOSO, C. T.; SAURIN, T. A.; Evaluation of performance requirements for Temporary Edge Protection Systems (TEPS). **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, p. 267-289, 2015.

QUEIROZ, J. S. de. **Análise transiente paramétrica de sistema poste-defensa devido ao choque de veículos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará, 2011.

RBQ. **RÉGIE DU BÂTIMENT DU QUÉBEC**. 2015. Disponível em:

<<https://www.rbq.gouv.qc.ca/en/the-rbq/our-mission-our-vision-our-values.html>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

QUÉBEC. CENTRE DE SERVICES PARTAGÉS –. **Québec Safety Code for the Construction Industry S-2.1, r. 4**. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec, Québec, 2016. Disponível em: <<http://legisquebec.gouv.qc.ca/en/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%204>> Acesso em: 20 jan. 2017.

REVISTA PROTEÇÃO, **Anuário Brasileiro de Proteção**, 2014. Disponível em:

<[http://www.protecao.com.br/materias/anuario\\_brasileiro\\_de\\_p\\_r\\_o\\_t\\_e\\_c\\_a\\_o\\_2014/brasil/A5jjJj](http://www.protecao.com.br/materias/anuario_brasileiro_de_p_r_o_t_e_c_a_o_2014/brasil/A5jjJj)> Acesso em: 13 setembro 2015.

SANTANA, V. S.; ARAÚJO, J. B.; ALBUQUERQUE, P. R.; BARBOSA, A. Acidentes de trabalho: custos previdenciários e dias de trabalho perdidos. **Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 6, p. 1004-1012, 2006.

WORKBENCH, ANSYS. **Academic Research Release**, v. 13, 2016.