

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização em Construção Civil

Pedro Bretas Magalhães Cruz

ANÁLISE DAS CONFORMIDADES DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE
GUARDA- Corpos de acordo com a NBR 15575-4 :2013

Belo Horizonte
2020.

Pedro Bretas Magalhães Cruz

**ANÁLISE DAS CONFORMIDADES DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE
GUARDA- Corpos de acordo com a NBR 15575-4:2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Especialização em Construção Civil do departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Profa. Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Belo Horizonte, 2020.

C957a

Cruz, Pedro Bretas Magalhães.

Análise das conformidades do desempenho estrutural de guarda-corpos de acordo com a NBR 15575-4:2013 [recurso eletrônico] / Pedro Bretas Magalhães Cruz. - 2020.

1 recurso online (33 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Sidnea Eliane Campos Ribeiro.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

Anexo: f. 33.

Bibliografia: f. 31-32.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Guarda-corpo. 3. Normas técnicas (Engenharia). 4. Deformações e tensões. I. Ribeiro, Sidnea Eliane Campos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691

Ficha catalográfica: Biblioteca Profº Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: PEDRO BRÊTAS MAGALHÃES CRUZ

MATRÍCULA: 2017666497

RESULTADO

Aos 19 dias do mês de junho de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ANÁLISE DAS CONFORMIDADES DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE GUARDA-CORPOS”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 70

CONCEITO: C

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof.ª. Dr.ª. Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Assinatura

Nome

Prof.ª. Dr.ª. Danielle Meireles de Oliveira

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUIDO"

Belo Horizonte, 19 de junho de 2019

Coordenador do Curso
Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior
Coordenador do Curso

RESUMO

O presente trabalho busca avaliar dois guarda-corpos de acordo as diretrizes da nova norma de desempenho NBR 15575-4:2013, e qualificar os ensaios de carga executados nos mesmos quanto a qualidade e produtividade. Evidencia-se a alta demanda por obras civis nos últimos anos, porém em alguns casos muitas construções são executadas sem a fiscalização e determinação de quesitos necessários para a obtenção qualidade dessas obras, o que pode prejudicar o consumidor final, por isso a nova norma desempenho faz-se necessária. Os ensaios de carga (esforço estático horizontal, esforço estático vertical e de resistência a impactos) para ambas os guarda-corpos foram realizados in loco de acordo com a norma NBR 14.718:2000. Avaliou-se os resultados das deformações decorrentes dos ensaios e os parâmetros de projeto de cada guarda-corpo de acordo com as diretrizes da norma desempenho. Pode-se concluir, que ambos os guarda-corpos não atendem a norma desempenho, apresentaram deformações residuais e instantâneas superiores aos limites de deformações de acordo com a norma desempenho, além de suas dimensões serem inferiores a exigida pela norma. Os ensaios de carga de esforço estático horizontal para ambos os guarda-corpos, demonstrou que foram executados com má qualidade e baixa produtividade, devido aos resultados contraditórios e insatisfatórios, carecendo de maior treinamento dos profissionais para realizá-los.

Palavras-chave: Guarda-corpos. Norma de desempenho. Ensaio de carga. Deformações.

ABSTRACT

The present work seeks to evaluate two guardrails according to the guidelines of the new performance standard NBR 15575-4:2013, and to qualify the load tests carried out on them in terms of quality and productivity. There has been a great demand for civil works in recent years, but in some cases many works are carried out without inspection and determination of the necessary requirements to obtain the quality of these works, which can harm the final consumer, which is why the new performance standard becomes if necessary. Load tests (horizontal static effort, vertical static effort and impact resistance) for both guardrails were carried out in loco in accordance with NBR 14.718:2000. The results of the deformations resulting from the tests and the design parameters of each guardrail were evaluated in accordance with the guidelines of the performance standard. It can be concluded that both guardrails do not meet the performance standard, presented residual and instantaneous deformations greater than the deformation limits according to the performance standard, in addition to their dimensions being smaller than required by the standard. The horizontal static load tests for both guardrails showed that they were performed with poor quality and low productivity, due to contradictory and unsatisfactory results, lacking greater training of professionals to carry them out

Keywords: *Guardrails. Performance standard. Load tests. Deformations.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo da aplicação de esforços no peitoril dos guarda- corpos.	
Figura 2 – Esquema ilustrativo do movimento pendular, demonstrando o saco de couro constituído de bolas de vidro submetido a uma distância de 5mm a 15 mm do guarda- corpo	7
Figura 3 – Esquema ilustrativo demonstrando os possíveis pontos para a aplicação de impactos nos painéis de guarda-corpos	7
Figura 4 – Edifício Michigan	12
Figura 5– Foto do ensaio de resistência a impactos, demonstrando o protótipo do guarda-corpo constituído painel vidro e gradil de alumínio.....	14
Figura 6– Foto do ensaio de resistência a impactos evidenciando o movimento pendular, o saco de couro constituído de bolas de vidro submetido a uma distância de 5mm a 15 mm do guarda-corpo	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Posição de aplicação do esforço de acordo com a extensão do guarda-corpo	5
Tabela 2 - Valores para aplicação dos esforços de acordo com o tipo de guarda-corpo	5
Tabela 3 - Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço.	10
Tabela 4 – Características e especificações do guarda-corpo 1	16
Tabela 5- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face externa) do guarda-corpo 1, utilizando-se pré-carga	16
Tabela 6– Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face interna) do guarda-corpo 1, utilizando-se pré-carga	16
Tabela 7- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face externa) do guarda-corpo 1, utilizando-se carga de uso.....	17
Tabela 8- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face interna) do guarda-corpo 1, utilizando-se carga de uso.....	17
Tabela 9 - Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna) do guarda-corpo 1, utilizando-se carga de segurança	17
Tabela 10- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático vertical do guarda-corpo 1	18
Tabela 11- Dados obtidos do ensaio de resistência a impactos do guarda-corpo1.	18
Tabela 12 – Características e especificações do guarda-corpo 2	18
Tabela 13 – Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa) do guarda-corpo 2, utilizando-se pré-carga.....	19
Tabela 14– Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face interna) do guarda-corpo 2, utilizando-se pré-carga	19
Tabela 15- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face externa) do guarda-corpo 2, utilizando-se carga de uso.....	20
Tabela 16- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face interna) do guarda-corpo 2, utilizando-se carga de uso.....	20
Tabela 17- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal(face interna) do guarda-corpo 2, utilizando-se carga de segurança	20
Tabela 18 - Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático vertical do guarda-corpo 2	21
Tabela 19– Dados obtidos do ensaio de resistência a impactos do guarda-corpo2	21
Tabela 20– Excentricidade accidental do guarda-roupa 1 e 2 de acordo com a norma desempenho.....	22
Tabela 21– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa-pré-carga) do guarda corpo 1.....	23
Tabela 22– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço	

estático horizontal (face interna-pré-carga) do guarda corpo 1.....	23
Tabela 23- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face externa-carga de uso) do guarda corpo 1	24
Tabela 24- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face interna-carga de uso) do guarda corpo 1	24
Tabela 25- Comparação dos limites de deformação de acordo com a normadesempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face interna-carga de segurança) do guarda corpo 1	24
Tabela 26- Comparação dos limites de deformação de acordo com a normadesempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático vertical (carga de segurança) do guarda corpo 1	24
Tabela 27– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face externa-pré-carga) do guarda corpo 2	25
Tabela 28– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face interna-pré-carga) do guarda corpo 2	26
Tabela 29- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face externa-carga de uso) do guarda corpo 2	26
Tabela 30- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face interna-carga de uso) do guarda corpo 2	26
Tabela 31- Comparação dos limites de deformação de acordo com a normadesempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático horizontal (face interna- carga de segurança) do guarda corpo 2	26
Tabela 32- Comparação dos limites de deformação de acordo com a normadesempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforçoestático vertical (carga de segurança) do guarda corpo 2	26

SÙMARIO

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1: ENSAIOS DE VERIFICAÇÃO DE CARGA EM GUARDA- CORPOS DE ACORDO COM ABNT	12
1.1 Esforço estático horizontal	13
1.2 Esforço estático vertical	15
1.3 Resistência a impactos	16
1.4 ABNT NBR 15575-4:2013.....	17
1.5 Desempenho estrutural.....	19
1.5.1 Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais externas	19
1.5.2 Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas.....	21
CAPÍTULO 2 : METODOLOGIA DA PESQUISA	22
2.1 Relato de pesquisa.....	22
2.2 Metodologia de obtenção de dados.....	23
2.3 Resultados obtidos	26
2.3.1 Guarda corpo 1	27
2.3.1.1 Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal.....	27
2.3.1.2 Ensaio de resistência de esforço estático vertical.....	29
2.3.1.3 Ensaio de resistência a impactos.....	29
2.3.2 Guarda-Corpo 2	30
2.3.2.1 Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal.....	30
2.3.2.2 Ensaio de resistência de esforço estático vertical.....	32
2.3.2.3 Ensaio de resistência a impactos.....	32
CAPÍTULO 3 : Análise de Dados	34
3.1 ABNT NBR 15575-4:2013.....	34
3.1.1 Desempenho estrutural	34
3.1.1.1 Deslocamentos, fissurações e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais externas.....	35
3.1.1.1.1 Guarda-corpo 1	35
3.1.1.1.2 Guarda-corpo 2	38
3.1.1.2 Cargas de ocupação incidentes em guarda corpos	41
Considerações finais	42
Refencias bibliográficas	44
ANEXO	46

INTRODUÇÃO

O mercado de construção civil vem se mostrando cada vez mais imprescindível no cenário econômico, devido à crescente demanda pela concepção de empreendimentos e edificações habitacionais. Para acompanhar esse avanço desenfreado muitos profissionais optam por utilizar artifícios para obterem construções com baixo custo final, o que acaba prejudicando o consumidor. Diante de tal empasse é de suma importância a utilização das Normas Brasileiras (NBRs) voltadas a construção civil, tanto relacionadas a validação adequada da infraestrutura como também para estabelecimento de critérios de avaliação dos materiais a serem utilizados.

As diretrizes estabelecidas das NBRs são desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), órgão que estabelece padrões a serem seguidos nos mais variados setores, inclusive no ramo da construção civil. As regras da ABNT servem para garantir maior qualidade nas construções, uma vez que trazem exigências em relação à segurança e conformidade de qualquer obra, totalizando em 881 normas (ORESTES, *et al.* 2003). A NBR 15575-4:2013 em vigor desde julho 2013 que estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas que compõem as edificações, teve sua primeira versão publicada pela ABNT em 2008. Sendo alvo de muitas discussões, foi revisada nos anos de 2010, 2012 e 2013, porém a mesma entrou em vigor apenas em 19 de fevereiro de 2013, válida a partir de 19 de julho do mesmo ano (REVISTA PINI, 2013).

Tal norma no quesito Sistemas de Vedação Interno e Externo (SVVIE), especificamente guarda-corpos, visa avaliar o comportamento mecânico dos mesmos, os quais devem resistir aos agentes atmosféricos, aos esforços induzidos pelos demais componentes do edifício, às vibrações e aos esforços devidos ao uso (PAGNUSSAT *et al.*, 2015). Caso os guardas-corpos não atendam às exigências previstas, pode-se levar em consideração a possibilidade da penetração de água para o interior da unidade, deformações no perfil do marco ou mau funcionamento das mesmas durante as operações de manuseio, o que evidencia a necessidade de ensaios de verificação das cargas incidentes (resistência ao esforço tático horizontal, vertical e a impactos) de acordo com as diretrizes da NBR 15575:2013.

Diante das dificuldades dos profissionais em empregar as novas adaptações da

norma NBR 15.575:2013 *in loco*, tal estudo é uma maneira de esclarecer sua aplicabilidade no quesito de Sistemas de Vedação Interno e Externo.

CAPÍTULO 1: ENSAIOS DE VERIFICAÇÃO DE CARGA EM GUARDA- CORPOS DEACORDO COM ABNT

O guarda-corpo, também denominado como parapeito ou guarda, é um tipo de aparato de proteção coletiva, para adultos, crianças e animais domésticos. Sua principal função é a de evitar acidentes e quedas graves, devido aos ambientes mais altos aos quais são instalados. Além da funcionalidade protetora, também servem como corrimão para auxiliar a locomoção em lugares que apresentam desníveis ou que são de difícil acesso. São comumente instalados em escadas, terraço, balcão, rampa, varanda, sacada, vão, já que esses espaços podem apresentar desnível de pisos ou caracterizam-se por serem ambientes mais altos (GADIOLOGI; BELTRANI, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas: 14.718(2010) todo guarda-corpo é constituído por gradil (basicamente o perfil do guarda-corpo o qual apresenta a configuração de grade) montante (designa-se pelos constituintes verticais do aparato em questão), travessa (perfil que constitui os elementos horizontais ou inclinados), peitoril (situado na parte superior do guarda-corpo, o que possibilita a pessoa apoiar-se), ancoragem (sistema utilizado para fixação estrutural do guarda-corpo), *insert* (são as estruturas fixadas ao concreto, podendo ser pinos, chumbadores fixos ou de expansão e grapas), conexão (são as partes que unem os componentes do guarda-corpo, um ao outro) e a gaxeta/guarnição (possui propriedades elásticas que garantem e auxiliam a fixação).

Segundo Fabiano *et al.* (2014) para a construção e exigências de qualidade adequadas os guarda-corpos devem se adequar as diretrizes da norma técnica NBR 14718, a qual estabelece condições mínimas de resistência e segurança exigíveis para guarda-corpos de edificações para uso privativo e coletivo. Tal norma estabelece requisitos quanto aos locais e situações onde é obrigatório a existência dos guarda-corpos, os materiais constituintes permitidos, parâmetros de escala para desenvolvimento do projeto (especificações quanto à altura mínima de 1000 mm, do gradil, da ancoragem, dentre outros aspectos) e a realização de ensaios de verificação de carga (também ditos ensaios de desempenho) para validação da qualidade e resistência dos guarda-corpos.

O teste, prova ou ensaio de carga é utilizado para averiguar o desempenho estrutural de um elemento ou quando é necessário comprovar a eficiência e resistência de um sistema de proteção. Tal técnica também aplica-se para atestar a qualidade de novas estruturas que sofreram alterações devido a usabilidade ou que foram recuperadas ou alteradas. Portanto, sempre que ocorrer alterações no projeto original torna-se indispensável a realização de um novo teste de carga (OLIVEIRA; JUNIOR, 2007).

Costa (2017) relata que a prática de execução dos testes de carga tem se tornado fundamental e cada vez mais rotineira nos canteiros de obra, visto que, o Ministério do Trabalho exige que a construtora responsável pelo empreendimento, comprove a eficiência e resistência de todas as proteções coletivas construídas. Existem vários tipos de testes de carga os quais são realizados desde o início da obra até a entrega do mesmo, cada tipo de proteção exige um determinado procedimento para comprovação da sua resistência, a qual depende de sua natureza de utilidade relacionada a sua norma específica.

Para averiguação da conformidade dos guarda-corpos quanto a resistência é imprescindível realizar três tipos de testes de carga: o esforço estático horizontal, o esforço estático vertical e a resistência a impactos. Para a realização dos ensaios de desempenho, deve ser utilizado um único protótipo, instalado nas condições previstas em projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS:14.718, 2011).

1.1 Esforço estático horizontal

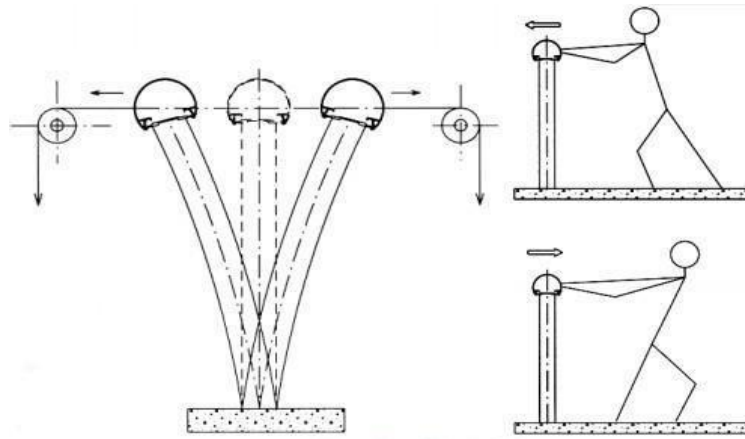
Neste caso, a norma NBR 14.718, para o ensaio de esforço estático horizontal em qualquer tipo ou modelo de guarda-corpo, deve-se adequar as seguintes diretrizes:

(...) não deve apresentar ruptura em qualquer um de seus componentes, não deve ocorrer afrouxamento ou destacamento de componentes e dos elementos de fixação, a deformação sob carga (deslocamento do peitoril) não deve superar $L/250$, sendo L o vão considerado para ensaio e a deformação residual deve ser limitada a $L/1000$ ou 3 mm, sendo L o vão considerado para ensaio (NBR, 2001, p. 5).

Para executar o ensaio de esforço estático horizontal é necessário que haja um conjunto de massas, com roldanas e cabos de aço ou dinamômetro e um relógio comparador para a leitura das deformações (NBR: 14.718, 2001).

Os esforços devem aplicados no peitoril, em ambas as faces, tal aplicação deve considerar toda a extensão dos guarda-corpos, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema ilustrativo da aplicação de esforços no peitoril dos guarda-corpos.



Fonte: NBR: 14.718, p.7

Na Tabela 1 está descrito a o local onde deve-se aplicar o esforço/carga de acordo com a extensão do guarda-corpo.

Tabela 1– Posição de aplicação do esforço de acordo com a extensão do guarda-corpo.

Comprimento	Posição da aplicação do esforço
Até 1 000 mm	Em seu ponto central
Superior a 1 000 mm	Em pontos equidistantes, não superiores a 1
Montantes intermediários	No vão de maior extensão, distribuídos em
Sem montantes intermediários ou com	Devem ser aplicados entre os montantes com

Fonte:NBR:14.718, p. 7-8.

Antes de iniciar-se o ensaio, o relógio para leitura das deformações no peitoril deve ser instalado, realizar a leitura inicial em milímetros, antes da aplicação da carga (NBR: 14.718). Diante da Tabela 2, tem-se os valores para aplicação dos esforços de acordo com o tipo de guarda-corpo.

Tabela 2 - Valores para aplicação dos esforços de acordo com o tipo de guarda-corpo.

Guarda-corpo	Esforço/Carga (N/m)
Privativo	- 1000
Comum	- 1 670
Coletivo	- 1 670

Fonte: NBR: 14.718, p. 11.

Nas três classificações de guardas-corpos descritos na Tabela 2 deve-se manter os esforços/cargas durante um tempo de 15 minutos em ambas as faces, após decorridos os 15 min anota-se a deformação instantânea, decorridos 5 minutos alívio da carga, anota-se a deformação residual, em ambos os casos em milímetros. Vale ressaltar que durante a atuação da carga e ao término do ensaio devem ser anotadas eventuais movimentações, deterioração ou ruptura do guarda-corpo (NBR:14.718).

1.2 Esforço estático vertical

Segundo a NBR:14.718 (2010) o esforço estático vertical segue as mesmas diretrizes quanto a não ocorrência de rupturas, desfrouxamento ou destacamento de componentes de fixação, deformação quando a carga for submetida e aos limites permissíveis das deformações durante ou após a execução do ensaio.

Para execução do esforço estático horizontal são necessários dois cutelos de aço, de seção plana de 50 mm, de comprimento mínimo igual à largura do peitoril, dispositivo de aço que assegure a distribuição uniforme de carga, célula de carga ou equipamento equivalente, para aplicação do esforço, relógio comparador para leitura das deformações e apoio de madeira compensada de 200 mm x 40 mm x 24 mm (NBR: 14.718, 2001).

Para este ensaio as cargas/esforços devem ser aplicadas no peitoril do guarda-corpo, a qual deve-se considerar a extensão dos guarda-corpos, conforme já explicitado na Tabela 1. A magnitude das cargas/esforços a serem aplicados nos diferentes tipos de guarda-corpos segue a descrição da Tabela 2 do ensaio de esforço estático horizontal.

1.3 Resistência a impactos

De acordo com a NBR:14.718 (2010) para um guarda-corpo atender aos quesitos da resistência a impactos de acordo com a 14.718:2010 o mesmo não pode apresentar ruptura ou destacamento das fixações, não deve ocorrer quedado painel ou de perfis (no caso de guarda-corpos do tipo gradil) e a ruptura de qualquer componente não deve implicar risco de queda do agente causador do impacto durante ou após a execução do ensaio. Sendo tolerados:

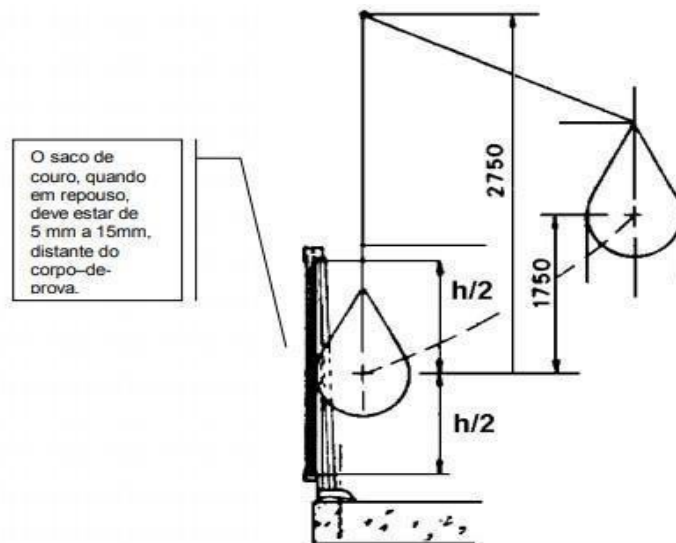
Afrouxamento de fixações, deformações nos perfis constituintes do guarda-corpo e no peitoril, inclusive ruptura do painel, desde que o mesmo permaneça no guarda-corpo (NBR, 2001, p. 6).

O guarda-corpo ao ser submetido pelo ensaio que não atender a qualquerum dos requisitos da referente norma não encontra-se apto para ser utilizado e deve ser rejeitado.

Ainda segundo a NBR (2001) para a execução do ensaio de resistência a impactos são necessários um saco de couro contendo em seu interior bolas de vidro, com massa total de 40 kg e um sistema de suporte e roldanas, para que, ao cair, o saco de couro descreva um movimento pendular. Na Figura 2 pode-se observar um esquema ilustrativo demonstrando o saco de couro constituído de bolas de vidro submetido a uma distância de 5mm a 15 mm do guarda-corpo. O saco de couro deve ser solto em movimento pendular a uma altura de 1750 mm em relação ao ponto de aplicação do impacto.

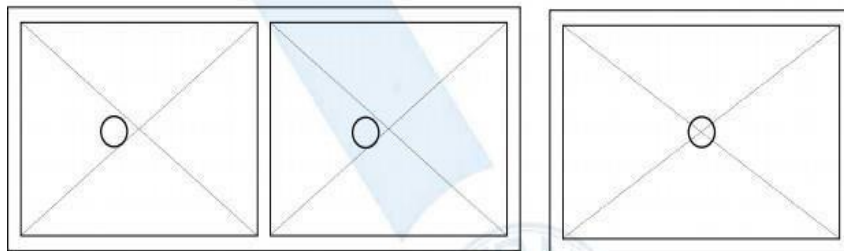
O guarda-corpo deve ser submetido a um impacto de 700 J, aplicado no centro geométrico do painel, com tolerância máxima de 50 mm, formado ao redor do centro de gravidade do corpo-de-prova, seja esse de vidro, do tipo gradil ou de qualquer outro material, conforme demonstrado na Figura 3 (NBR:14.718, 2001).

Figura 2 – Esquema ilustrativo do movimento pendular, demonstrando o saco de couro constituído de bolas de vidro submetido a uma distância de 5mm a 15mm do guarda-corpo.



Fonte: NBR, 2001, p. 12

Figura 3 – Esquema ilustrativo demonstrando os possíveis pontos para a aplicação de impactos nos painéis de guarda-corpos



Fonte: NBR, 2001 pg. 12

Após a aplicação do impacto, o guarda-corpo deve ser inspecionado, devendo ser anotadas as eventuais movimentações, deterioração dos sistemas de fixação e ruptura (NBR: 14.718, 2001).

1.4 ABNT NBR 15575-4:2013

O Brasil vem apresentando nos últimos tempos um alta expansão no setor de construção civil, de maneira acelerada, pois muitas construtoras visam o lucro econômico e carecem na qualidade das edificações. Para mitigar esse malefício perante as construções, foi publicada em 19 de fevereiro de 2013 a Norma de desempenho em edificações habitacionais - ABNT NBR 15575: 2013, a qual engloba técnicas para promover melhorias na qualidade das construções habitacionais (MARQUES, 2015).

Vale ressaltar que a norma 15575:2013 estava para ser promulgada desde 2008, onde contemplava apenas edifícios habitacionais de até cinco pavimentos e entraria em vigor em 2010. A norma priorizava requisitos que auxiliavam no desenvolvimento de novas tecnologias para suprir a deficiências técnicas de alguns sistemas construtivos, porém foi cancelada pela não aceitação das construtoras (ABREU, 2009).

De acordo com Marques (2015) a mesma norma obteve modificações e foi sancionada em 2013, caracterizando-se como a primeira legislação brasileira que propõe que um edifício deve atender as expectativas do cliente quanto a quesitos de qualidade, conforto e segurança. Segundo Bôas (2013) o maior fator que a norma determina como mudança é a segmentação das responsabilidades. Avalia-se que grande parte dos problemas das construções civis, são evidenciadas após o termino da obra, quando os próprios moradores percebem as falhas na construção. Para reverter os erros era necessário um longo e demorado processo judicial, com a norma 15575:2013 em vigor todos os sistemas são documentados, o que facilita a reivindicação por melhorias e qualidade.

A norma 15575:2013, categorizada como norma de desempenho é composta pelos requisitos gerais (estabelece os requisitos e critérios de desempenho do sistema estrutural, segurança contra incêndio, no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, acústico, luminoso, durabilidade, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico e adequação ambiental), para os sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações internas e externas, sistemas de coberturas e os sistemas hidrosanitários.

De acordo com o presente estudo e a norma em questão o guarda-corpo para edificações (ABNT NBR 14718:2001) enquadra-se nos sistemas de vedações internas e externas (SVVIE), já que é caracterizado como parte da edificação habitacional que limita verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas, as paredes ou divisórias internas.

Perante a norma de desempenho para os SVVIE, NBR 15575-4:2013, são necessárias avaliações quanto ao desempenho estrutural, segurança contra incêndio, uso e operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, conforto antropodinâmico e adequação ambiental.

Diante da funcionalidade e objetividade dos guarda-corpos do estudo em questão são fundamentais avaliações quanto ao desempenho estrutural correlacionado aos deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais externos e as cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos (NBR, 2013).

1.5 Desempenho estrutural

De acordo com NBR (2013) os requisitos do desempenho estrutural dos SVVIE de acordo com a norma 15575:2013 exprimem que a estabilidade e resistência estrutural dos sistemas de vedação devem apresentar nível de segurança considerando as combinações de ações passíveis que ocorrem durante a vida útil da edificação habitacional. Nos painéis estruturais pré-fabricados devem ser realizados testes submetidos às mesmas condições presentes na obra, com a altura prevista para o pé direito e largura mínima de 1,20 m, ou de 5 vezes a espessura para paredes monolíticas.

Segundo a NBR (2013) a resistência de painéis ou trechos de paredes estruturais deve ser verificada a partir de 3 ensaios de carga, os quais devem ser considerados apenas se produzirem esforços de compressão em painéis e trechos de parede. Para os ensaios é necessário considerar o desvio acidental da carga vertical no topo da parede ou do painel, que é expresso pela Equação 1.

$$E(a) = \frac{b}{30} \geq 1 \text{ cm (1)}$$

De acordo com a Equação 1, o parâmetro b refere-se a espessura da parede ou do painel. Este modelo de ensaio aplica-se a sistemas destinados a edificações habitacionais que contenham no máximo 5 pavimentos.

1.5.1 Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais externas

É fundamental limitar os deslocamentos, fissurações e falhas a valores aceitáveis, para assegurar o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação habitacional.

Para os sistemas de vedação verticais externos (SVVE), (também compreende-se os não estruturais) é fundamental realizar a verificação analítica ou os ensaios de

cargas laterais uniformemente distribuídas, visando simular as ações horizontais devidas ao vento, sendo que o corpo-de-prova deve ser constituído por uma parte que represente o SVVE original, constituído pelas mesmas fixações e vinculações presentes no projeto original (NBR, 2013).

Diante da realização da verificação analítica ou dos ensaios de cargas, os SVVIE devem enquadrar-se aos limites de deslocamentos instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}) descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço.

Sistema de vedação	Cargas	Critério
SVVIE com função estrutural	Cargas verticais: $S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk} + S_{wk}^*$	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2500$
SVVIE com ou sem função estrutural	Cargas permanentes e deformações impostas: $S_d = S_{gk} + S_k$	Não ocorrência de falhas, tanto nas paredes como nas interfaces da parede com outros componentes
SVVE (paredes de fachadas) com ou sem função estrutural	Cargas horizontais: $S_d^* = 0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$	$d_h < h/500^*$ $d_{hr} < h/2500^*$ $d_h < h/350^*$ $d_{hr} < h/1750^*$

S_{wk}^* : Desconsiderar no caso de alívio da compressão;

S_d^* : No caso de ensaios de tipo considerar $S_d^* =$

$0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$; $d_h < h/500^*$: SVVE com função

estrutural;

$d_{hr} < h/2500^*$: SVVE com função estrutural; $d_h < h/350$

: SVVE com função de vedação; $d_{hr} < h/1750^$:

SVVE com função de vedação.

Fonte: NBR, 2013, p. 9.

De acordo com a Tabela 3 e as equações específicas de cada posição de carga aplicada tem-se que h é a altura do elemento parede, d_h é o deslocamento horizontal instantâneo, d_{hr} é o deslocamento horizontal residual, S_{gk} é a sollicitação característica devida a cargas permanentes, S_{ek} é o valor característico da sollicitação devida à deformação específica do material, S_{qk} é o valor característico da sollicitação devida a cargas acidentais ou sobrecargas de uso e S_{wk} é o valor característico da

solicitação devida ao vento (NBR, 2013).

A associação de Normas Brasileiras (2013) declara que para os ensaios de averiguação do desempenho dos guarda-corpos é imprescindível mencionar na documentação se houve ou não a ocorrência de fissuras, deslocamentos ou falhas que possam repercutir no estado limite de serviço, considerando prejuízo ao desempenho, ou no estado limite último, considerando prejuízo da segurança estrutural. As fissuras no corpo das fachadas ou qualquer descolamento entre placas não deve ser detectável a olho nu por um indivíduo localizado a 1,00 m ou com ângulo igual ou inferior a 60° da superfície do protótipo em análise, caso haja descolamentos ou fissuras possíveis de serem visualizadas a olho nu não é permitido que ultrapassem uma área de 0,10 m² ou área total correspondente a 5% do pano de fachada em análise.

1.5.2 Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas

De acordo com a norma de desempenho os guarda-corpos e parapeitos de janelas devem resistir à ação das cargas a serem aplicadas, sendo que o esforço aplicado deve ser através dos ensaios de esforço estático horizontal, esforço estático vertical e resistência a impactos, descritos no capítulo 1. Para estes ensaios é fundamental que os mesmos atendam os requisitos da ABNT NBR 14718 (NBR, 2013).

O projeto deve estabelecer os detalhes executivos e as cargas de uso previstas para casos especiais, bem como atender às dimensões estabelecidas na ABNT NBR 14718.

Portanto, todos os requisitos previamente citados devem alcançar um nível mínimo de desempenho, atendendo assim às premissas do projeto e aos níveis previstos na norma de desempenho, o que garantirá maior vida útil aos guarda-corpos como também satisfação aos clientes devido ao fornecimento de uma obra habitacional com qualidade.

CAPÍTULO 2: METODOLOGIA DA PESQUISA

2.1 Relato de pesquisa

Os guarda-corpos analisados pertencem ao edifício Michigan, empreendimento desenvolvido pela Construtora Lage. A Construtora Lage foi fundada em 2000, atuante no cenário imobiliário das cidades de Belo Horizonte e de Itabira, a qual desenvolve a construção de empreendimentos com qualidade e alto padrão de acabamento.

O edifício Michigan está localizado no bairro Sion na cidade de Belo Horizonte - MG, possui dois níveis de garagem, guarita, 2 elevadores, laje técnica para ar condicionado e jardim frontal com muro de vidro. A área comum é composta por salão de festas, espaço gourmet, piscina com raia, espaço kids e academia. São 2 apartamentos por andar, com acabamento de alto padrão, 4 quartos sendo 2 suítes e 2 semi-suítes, 3 vagas de garagem, banhos e cozinha em granito. A Figura 4 evidencia o edifício Michigan.

Figura 4 – Edifício Michigan



Fonte: Acervo do autor, 2018.

Os guarda-corpos do edifício a serem analisados estão localizados nas áreas externas: nas varandas (guarda-corpo 1) e próximo a rampa da garagem (guarda-corpo 2). Ambos os guarda-corpos são constituídos por perfis de alumínio, chapas de vidros, os inserts, pinos, chumbadores e as grapas de fixação são de aço inoxidável. Os guarda-corpos variam em suas dimensões, o guarda-corpo 1 possui dois módulos de 1,145 m cada (total de 2,30 m), enquanto que o guarda-corpo 2 possui dois módulos de 1,10 m cada (total de 2,20 m). Através do Anexo 1, tem-se o projeto dos guarda-corpos presentes nas varandas do edifício.

O presente estudo fundamenta-se em uma pesquisa do tipo quantitativa, a qual de acordo com Gil (2010) busca traduzir em números as opiniões e informações para serem classificadas e analisadas, que são expressas através de técnicas estatísticas ou análises matemáticas. Sendo classificada com uma pesquisa do tipo explicativa, a qual tem por objetivo o registro de determinados fatos, buscando-o analisa-los e interpreta-los. Assim, têm-se o estudo em questão como um experimento realizado em campo, pois os ensaios de carga foram realizados no edifício Michigan, através de protótipos análogos aos guarda-corpos instalados nas áreas externas do edifício.

2.2 Metodologia de obtenção de dados

Os ensaios de carga, especificamente o esforço estático horizontal, o esforço estático vertical e a resistência a impactos, foram realizados *in loco* de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 15575-4:2013 e dos métodos de ensaios NBR 14718:2008, realizados em 22 de fevereiro de 2018 para o guarda-corpo 1 e em 28 de março de 2018 para o guarda-corpo 2.

Os ensaios *in loco* foram realizados com o intuito avaliar o esforço estático vertical, esforço estático horizontal, e de impacto, com a aplicação de carga de impacto por metro linear de guarda-corpo. Determinou-se a pré-carga, carga de uso e carga de segurança, sendo que a carga de segurança foi considerada 1,7 vezes a carga de uso, tal fato corrobora a ideia de que mesmo que o guarda-corpo seja danificado, não pode permitir que uma pessoa caia. Avaliar o desempenho dos guarda-corpos com cargas extras, é fundamental para validar a segurança em casos em que há diversas pessoas apoiando-se ao mesmo tempo, podendo assim evitar acidentes.

Em ambos os guarda-corpos os ensaios foram realizados em

quadruplicata, onde foram aplicadas pré-cargas, cargas de uso e cargas de segurança em suas faces externas (sentido fora para dentro) e internas (sentido dentro para fora). As deformações foram mensuradas através do relógio medidor de deformações e comparadas aos valores limites estabelecidos pela NBR:14718:2008. Realizou-se as medições das deformações nos três ensaios de carga, após decorridos 15 min da aplicação das cargas anotou-se as deformações instantâneas e decorridos 5 min do alívio das cargas, aferiu-se a deformação residual, em ambos os casos em milímetros.

De acordo com as diretrizes e especificações apresentadas do ensaio de resistência aos impactos dos guarda-corpos, o mesmo foi executado em campo, podendo ser evidenciado diante das Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Foto do ensaio de resistência a impactos, demonstrando o protótipo do guarda-corpo constituído por painel de vidro e gradil de alumínio.



Fonte: Acervo do autor.

A Figura 6 demonstra a montagem do protótipo semelhante ao projeto original para que o ensaio seja executado.

Figura 6 – Foto do ensaio de resistência a impactos evidenciando o movimento pendular, o saco de couro constituído de bolas de vidro submetido a uma distância de 5mm a 15 mm do guarda-corpo.



Fonte: Acervo do autor.

Diante da Figura 7, evidencia-se o saco de couro constituído por bolas de vidro contendo a massa total de 40 kg, porém o saco não foi suspenso por um sistema de roldanas, tal fato não interfere no procedimento, já que o objetivo é que o saco seja dispensado a uma altura de 1 750 mm em relação ao ponto de aplicação, realizando o movimento pendular.

Diante de visualizações a olho nu e através dos resultados das deformações, avaliou-se a conformidade de acordo com as diretrizes da norma desempenho para guarda-corpos (NBR 15575-4:2013) para uma análise da possibilidade de obtenção da melhoria da qualidade e desempenho dos ensaios de cargas nos guarda-corpos presentes no edifício Michigan.

2.3 Resultados obtidos

Diante da realização dos ensaios de carga: o esforço estático horizontal, o esforço estático vertical e a resistência a impactos, obteve-se os dados de deformação instantânea e residual para o guarda-corpo 1 (localizado nas varandas) e o guarda-corpo 2 (localizado próximo a garagem).

2.3.1 Guarda-corpo 1

As especificações do guarda-corpo 2 encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características e especificações do guarda-corpo 1.

Especificações do guarda-corpo 1	
Local do ensaio	Varanda
Uso	Privativo
Modelo	Alumínio e vidro
Fabricante	Alumínio: perfil e vidro: divinal
Dimensões	02 módulos – (1,145 m + 1,145m) – Total: 2,30 m
Fixação	Não especificado
Data do ensaio	22/02/2018

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

2.3.1.1 Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal

Em relação ao ensaio de resistência ao esforço estático horizontal realizado nas faces externas e internas (sentido fora para dentro e sentido dentro para fora, respectivamente) do guarda-corpo 2, tem-se os valores das deformações e deformações residuais ocorridas durante a aplicação da pré- carga de 200 N/m, os quais encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa) do guarda-corpo 1, utilizando-se pré-carga.

Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal Pré – Carga – Face externa do guarda-corpo 1				
	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	1,46	7 mm	-	-
2	1,94		-	
3	2,19		-	
4	1,20		-	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 6– Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna) do guarda-corpo 1, utilizando-se pré-carga.

Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal Pré – Carga – Face interna do guarda-corpo 1	
--	--

	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	0,98	7 mm	-	-
2	1,74		-	
3	0,74		-	
4	0,35		-	

Fonte: Acervo do autor.

A aplicação da carga de uso durante o ensaio de resistência ao esforço estático horizontal foi de 400 N/m (por ser guarda-corpo do tipo privativo), sendo aplicado em ambas as faces (interna e externa) do guarda-corpo 1, situado na varanda. Os valores das deformações e deformações residuais ocorridas durante a aplicação da carga de uso em ambas as faces do guarda-corpo, estão demonstradas nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa) do guarda-corpo 1, utilizando-se carga de uso.

Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal Carga de uso – Face externa do guarda-corpo 1				
	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	3,20	20 mm	0,26	3 mm
2	4,20		0,24	
3	4,66		0,24	
4	3,55		0,20	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 8- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna) do guarda-corpo 1, utilizando-se carga de uso.

Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal Carga de uso – Face interna do guarda-corpo 1				
	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	3,06	20 mm	0,13	3 mm
2	3,74		1,00	
3	2,30		0,18	
4	1,00		0,49	

Fonte: Acervo do autor.

A aplicação da carga de segurança apenas na face interna do guarda-corpo 1 foi de 680 N/m (1,7 vezes o valor da carga de uso utilizada), os valores de deformações instantânea e residual devido a aplicação do esforço estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna) do guarda-corpo 1, utilizando-se carga de segurança.

Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal Carga de segurança – Face interna do guarda-corpo 1			
Deformação instantânea (mm)		NBR 14718	Deformação residual (mm)
1	4,80	150 mm	1,84
2	7,00		1,75
3	6,25		1,75
4	2,05		2,05

Fonte: Acervo do autor.

2.3.1.2 Ensaio de resistência ao esforço estático vertical

A partir do ensaio de resistência ao esforço estático vertical aplicou-se a carga de segurança de 680 N/m uma única vez no guarda-corpo 1. Os valores da deformação e deformação residuais geradas devido a aplicação da carga estão demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático vertical do guarda-corpo1.

Ensaio de resistência ao esforço estático vertical Carga de segurança – Guarda-corpo 1			
Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	0,85	0,02	8 mm

Fonte: Acervo do autor.

2.3.1.3 Ensaio de resistência a impactos

A partir do ensaio de resistência á impactos realizado uma única vez na face interna (sentido de entro para fora) do guarda-corpo 1, dispensou-se a carga energia de 600 J a uma altura de 1,5 m pré-determinada pela NBR 14718:2001 e o registro de ocorrências ao fim do ensaio encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11- Dados obtidos do ensaio de resistência a impactos do guarda-corpo 1.

Ensaio de resistência á impactos		
Registro de ocorrência durante o ensaio – Face interna guarda-corpo 1		
Energia (J)	Altura (m)	Ocorrências

600	1,5	Não ocorreram rupturas
------------	------------	------------------------

Fonte: Acervo do autor.

2.3.2 Guarda-corpo 2

As especificações do guarda-corpo 2 encontram-se descritas na Tabela 12.

Tabela 12 – Características e especificações do guarda-corpo 2.

Especificações do guarda-corpo 2	
Local do ensaio	Pilotis – Guarda-corpo próximo a rampa da garagem
Uso	Coletivo
Modelo	Alumínio e vidro
Fabricante	Alumínio: perfil e vidro: divinal
Dimensões	02 módulos – (1,10m + 1,10m) – Total: 2,20 m
Fixação	Não especificado
Data do ensaio	28/03/2018

Fonte: Acervo do autor.

2.3.2.1 Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal

Em relação ao ensaio de resistência ao esforço estático horizontal realizado nas faces externas e internas (sentido fora para dentro e sentido dentro para fora, respectivamente) do guarda-corpo 2, tem-se os valores das deformações e deformações residuais ocorridas durante a aplicação da pré-carga de 200 N/m, os quais encontram-se nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa) do guarda-corpo 2, utilizando-se pré-carga.

Ensaio de resistência ao esforço estático horizontal Pré – Carga – Face externa do guarda-corpo 2				
	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	0,66	7 mm	-	-
2	0,94		-	
3	1,01		-	
4	1,15		-	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 14 – Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna) do guarda-corpo 2, utilizando-se pré-carga.

**Ensaio de resistência ao esforço
estático horizontalPré – Carga –
Face interna do guarda-corpo 2**

	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	1,19	7 mm	-	-
2	1,60		-	
3	1,57		-	
4	1,14		-	

Fonte: Acervo do autor.

A aplicação da carga de uso durante o ensaio de resistência ao esforço estático horizontal foi de 1000 N/m (por ser guarda-corpo do tipo coletivo), sendo aplicado em ambas as faces (interna e externa) do guarda-corpo 2, situado próximo a rampa da garagem. Os valores das deformações e deformações residuais ocorridas durante a aplicação da carga de uso em ambas as faces do guarda-corpo, estão demonstradas nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa)do guarda-corpo 2, utilizando-se carga de uso.

**Ensaio de resistência ao esforço
estático horizontalCarga de uso –
Face externa do guarda-corpo 2**

	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	7,20	20 mm	0,71	3 mm
2	16,40		0,76	
3	13,95		1,85	
4	16,25		2,20	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 16- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna)do guarda-corpo 2, utilizando-se carga de uso.

**Ensaio de resistência ao esforço
estático horizontalCarga de uso –
Face interna do guarda-corpo 2**

	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	7,17	20 mm	0,39	3 mm
2	5,51		0,07	
3	9,50		0,30	
4	4,90		0,89	

Fonte: Acervo do autor.

A aplicação da carga de segurança apenas na face interna do guarda-corpo 2 foi de 1700 N/m (1,7 vezes o valor da carga de uso utilizada), os valores de

deformações instantânea residual devido a aplicação do esforço estão demonstrados na Tabela 17.

Tabela 17- Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna) do guarda-corpo 2, utilizando-se carga de segurança.

Ensaio de resistência ao esforço				
estático horizontal Carga de				
segurança – Face interna do guarda-				
corpo 2				
	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	11,21	150 mm	0,41	-
2	13,50		0,52	
3	10,55		0,30	
4	9,98		0,29	

Fonte: Acervo do autor.

2.3.1.2 Ensaio de resistência ao esforço estático vertical

A aplicação da carga de segurança apenas na face interna do guarda-corpo 2 foi de 1700 N/m, os valores de deformações e deformações residual devido a aplicação do esforço estão demonstrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático vertical do guarda-corpo 2

Ensaio de resistência ao esforço				
estático vertical Carga de segurança –				
Guarda-corpo 2				
	Deformação instantânea (mm)	NBR 14718	Deformação residual (mm)	NBR 14718
1	0,85	20 mm	0,02	8 mm

Fonte: Acervo do autor.

2.3.2.3 Ensaio de resistência a impactos

A partir do ensaio de resistência a impactos realizado uma única vez na face interna (sentido de entro para fora) do guarda-corpo 2, dispensou-se uma energia de 600 J a uma altura de 1,5 m pré-determinada pela NBR 14718 e o registro de ocorrências ao fim do ensaio encontra-se descrito na Tabela 19.

Tabela 19– Dados obtidos do ensaio de resistência a impactos do guarda-corpo 2

Ensaio de resistência á impactos

Registro de ocorrência durante o ensaio – Face interna guarda-corpo 2

Energia (J)	Altura (m)	Ocorrências
600	1,5	Colapso do vidro

Fonte: Acervo do autor,.

Capítulo 3: Análise de Dados

A análise de dados busca elucidar se os resultados obtidos dos ensaios decarga em guarda-corpos atendem a norma de desempenho especifica para esse sistema de vedação, ABNT NBR 15575-4:2013.

3.1 ABNT NBR 15575-4:2013

Diante dos dados obtidos pelos ensaios de cargas incidentes nos guarda-corpos, existentes nas varandas e próximo a garagem do edifício Michigan, além das observações visuais, possibilitou-se realizar a verificação da conformidade desses guarda-corpos como sistemas de vedações verticais externos de acordo com as diretrizes da norma 15575-4:2013. Foram averiguados o desempenho estrutural, deslocamentos, fissurações e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais externas e cargas de ocupação incidentes dos guarda-corpos em questão.

3.1.1 Desempenho estrutural

O desempenho estrutural de acordo com a norma 15575-4:2013 declara que painéis pré-fabricados estruturais (guarda-corpos) devem ser ensaiados nas mesmas condições do emprego em obra, com a altura prevista para o pé direito e largura mínima de 1,20 m. Assim, ambos os guarda-corpos ensaiados como também os originais, não atendem a tal premissa, já que o guarda-corpo 1 apresenta uma largura de 1,145 m e o guarda-corpo 2 possui largura de 1,10 m, sendo inferiores aos valores exigidos da largura mínima de 1,20 m para guarda-corpos, previsto pela premissa de projeto, item 7.1.1.2.

Para uma avaliação adequada do desempenho estrutural dos guarda-corpos a norma defende que a resistência dos mesmos devem ser verificadas a partir de 3 ensaios, os quais foram realizados para ambos os guarda-corpos em estudo, sendo estes ensaios: resistência ao esforço estático horizontal, resistência ao esforço estático vertical e o de resistência a impactos.

Ainda, para o desempenho estrutural a norma exprime que as cargas devidas ao vento devem ser consideradas somente se produzirem esforços de compressão nos guarda-corpos, as quais foram considerados nos ensaios como pré-cargas no

ensaio de resistência ao esforço estático horizontal em ambos os guarda-corpos nas suas faces internas e externas.

Já para o ensaio de resistência ao esforço estático vertical foi necessária determinar a excentricidade accidental de cada guarda-corpo, através da

equação 1 previamente descrita no capítulo 2, $E(a) = \frac{b}{30} \geq 1 \text{ cm (1)}$. A

excentricidade accidental de cada guarda-corpo encontra-se na Tabela 20.

Tabela 20– Excentricidade accidental do guarda-roupa 1 e 2 de acordo com a norma desempenho.

	Espessura da Parede (cm)	Excentricidade accidental (cm)
Guarda-corpo 1	114,5	3,82
Guarda-corpo 2	110	3,67

Fonte: Elaborado pelo autor.

A excentricidade accidental corriqueiramente conhecida como imperfeição geométrica local, é considerada como possível imperfeição na construção do guarda-corpos as quais podem interferir no ensaio de resistência do esforço estático horizontal quando não considerado.

3.1.1.1 Deslocamentos, fissurações e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais externas

Os guarda-corpos do referente estudo enquadram-se na categoria de sistemas de vedações externa com função estrutural, o qual perante aos critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço não podem sofrer rupturas quando submetido a qualquer carga no sentido horizontal ou vertical. Também devem atender aos limites de deslocamentos (SVVE com função estrutural), sendo que o deslocamento instantâneo (dh) deve ser $dh \leq h/500$ e o deslocamento residual (dhr) deve ser $dhr \leq h/2500$.

3.1.1.1.1 Guarda-corpo 1

O guarda-corpo 1 apresenta uma altura de 1,145m, portanto nos ensaios de carga resistência ao esforço estático horizontal e vertical realizados o deslocamento instantâneo (dh) deve ser $\leq 0,0229$ metros e o deslocamento residual (dhr) deve ser $\leq 0,000458$ metros. Os limites de deslocamentos de acordo com a norma desempenho e os deslocamentos ocorridos durante os ensaios de resistência

ao esforço estático horizontal e vertical estão descritos nas Tabelas 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

Tabela 21– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa-pré-carga) do guarda corpo 1.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático horizontalPré – Carga – Face			
externa do guarda-corpo 1			
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)
1	1	0,0229 m	-
2	0,00094		-
3	0,00101		-
4	0,00115		-
			-

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 22– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna- pré-carga) do guarda corpo 1.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático horizontalPré – Carga – Face			
interna do guarda-corpo 1			
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)
1	0,00098	0,0229 m	-
2	0,00174		-
3	0,00074		-
4	0,00035		-
			-

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 23- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa-carga de uso) do guarda corpo 1.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático horizontalCarga de uso –			
Face externa do guarda-corpo 1			
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)
1	0,00320	0,0229 m	0,00026
2	0,00420		0,00024
3	0,00466		0,00024
4	0,00355		0,00020
			0,00045
			8 m

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 24- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna- carga de uso) do guarda corpo 1.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático horizontalCarga de uso –			

Face interna do guarda-corpo 1

	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,00306	0,0229 m	0,00013	0,0004 58 m
2	0,00374		0,00100	
3	0,00230		0,00018	
4	0,00100		0,00049	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 25- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna- carga de segurança) do guarda corpo 1.

Ensaio de resistência ao esforço

estático horizontal Carga de

segurança – Face interna do guarda-

corpo 1

	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,00480	0,0229 m	0,00184	0,0004 58 m
2	0,00700		0,00175	
3	0,00625		0,00175	
4	0,00205		0,00205	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 26- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático vertical (carga de segurança) do guarda corpo 1.

Ensaio de resistência ao esforço

estático vertical Carga de

segurança – Guarda-corpo

2

	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,00085	0,0229 m	0,00002	0,000458 m

Fonte: Acervo do autor.

Diante dos limites das deformações (instantâneas e residuais) calculados seguindo a normativa 15575-4:2013 e comparados aos limites de deformações (instantâneas e residuais) obtidos dos ensaios de resistência estatico horizontal e vertical, analisa-se que o guarda-corpo 1 não atende aos quesitos de deslocamentos da norma desempenho (15575-4:2013).

Tal fato pode ser corroborado através da segunda execução do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal utilizando-se carga de uso na face interna, a deformação residual, 0,00100 m, neste caso foi superior ao limite mínimo estabelecido pelo cálculo segundo a norma desempenho, $\leq 0,000458$ m.

Durante o ensaio de resistência ao esforço estático horizontal utilizando- se a carga de segurança na face interna do guarda-corpo, todas as execuções deste ensaio

resultaram em deformações residuais (0,00184 m, 0,00175 m, 0,00175 m e 0,00205 m, respectivamente), sendo superiores ao limite mínimo estabelecido pelo cálculo segundo a norma desempenho, $\leq 0,000458$.

Em relação a ocorrência de rupturas, o guarda-corpo 1 em todos os 3 ensaios de cargas de ocupação incidentes, ou seja, não sofreu ruptura diante das diferentes situações impostas nos ensaios.

3.1.1.1.2 Guarda-corpo 2

O guarda-corpo 2 apresenta uma altura de 1,10 m, portanto nos ensaios os ensaios de carga resistência ao esforço estático horizontal e vertical realizados o deslocamento instantâneo (dh) deve ser $\leq 0,022$ metros e o deslocamento residual (dhr) deve ser $\leq 0,00044$ metros. Os limites de deslocamentos de acordo com a norma desempenho e os deslocamentos ocorridos durante os ensaios de resistência ao esforço estático horizontal e vertical estão descritos nas Tabelas 27, 28, 29, 30, 31 e 32.

Tabela 27– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa-pré-carga) do guarda corpo 2.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático horizontal Pré – Carga –			
Face externa do guarda-corpo 2			
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)
1	0,00066	0,022 m	-
2	0,00094		-
3	0,00101		-
4	0,00115		-
			Limite
			-

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 28– Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna- pré-carga) do guarda corpo 2.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático horizontal Pré – Carga –			
Face interna do guarda-corpo 2			
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)
1	0,00119	0,022 m	-
2	0,00160		-
3	0,00157		-
4	0,00114		-
			Limite
			-

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 29- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face externa-carga de uso) do guarda corpo 2.

Ensaio de resistência ao esforço				
estático horizontal Carga de uso –				
Face externa do guarda-corpo 2				
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,00720	0,022 m	0,00071	0,00044 m
2	0,01640		0,00076	
3	0,01395		0,00185	
4	0,01625		0,00220	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 30- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna- carga de uso) do guarda corpo 2.

Ensaio de resistência ao esforço				
estático horizontal Carga de uso –				
Face interna do guarda-corpo 2				
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,00717	0,022 m	0,00039	0,00044 m
2	0,00551		0,00007	
3	0,00950		0,00030	
4	0,00490		0,00089	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 31- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (face interna- carga de segurança) do guarda corpo 2.

Ensaio de resistência ao esforço				
estático horizontal Carga de				
segurança – Face interna do guarda-				
corpo 2				
	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,01121	0,022 m	0,00041	0,00044 m
2	0,01350		0,00052	
3	0,01055		0,00030	
4	0,00998		0,00029	

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 32- Comparação dos limites de deformação de acordo com a norma desempenho em relação aos dados obtidos do ensaio de resistência ao esforço estático vertical (carga de segurança) do guarda corpo 2.

Ensaio de resistência ao esforço			
estático vertical Carga de segurança –			
Guarda-corpo 2			

	Deformação instantânea (m)	Limite	Deformação residual (m)	Limite
1	0,00085	0,022 m	0,000002	0,00044 m

Fonte: Acervo do autor.

Diante dos limites das deformações (instantâneas e residuais) calculados seguindo a normativa 15575-4:2013 e comparados aos limites de deformações (instantâneas e residuais) obtidos dos ensaios de resistência estatico horizontal e vertical, analisa-se que o guarda-corpo 2 não atende aos quesitos de deslocamentos da norma desempenho (15575-4:2013).

Tal fato pode ser confirmado através da segunda execução do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal utilizando-se carga de segurança na face interna, a deformação residual, 0,00052 m, neste caso foi superior ao limite mínimo estabelecido pelo cálculo segundo a norma desempenho, $\leq 0,00044$ m.

Também avalia-se que durante a execução do ensaio de resistência ao esforço estático horizontal utilizando-se a carga de uso na face interna do guarda-corpo, o resultado da deformação residual durante a quarta execução do ensaio, 0,00089 m, foi superior ao limite mínimo estabelecido pela norma desempenho, $\leq 0,00044$ m.

O ensaio de resistência ao esforço estático horizontal utilizando-se a carga de uso na face externa também refuta a ideia do guarda-corpo 1 não atender a norma desempenho, já que todos os valores de deformação instantânea (0,00071 m, 0,00076 m, 0,00185 m, 0,00220 m, respectivamente) foram superiores ao limite mínimo esperado por essas deformações, que no caso deveria ser $\leq 0,00044$ m.

Em relação a ocorrência de rupturas, o guarda-corpo 2 não sofreu ruptura no ensaio de resistência ao esforço estático horizontal e no ensaio de esforço estático vertical, porém ocorreu colapso durante a realização do ensaio de resistência a impactos.

Vale ressaltar que para os ensaios de impacto é permitido a deformação do guarda-corpo, porém não pode ocorrer colapso do vidro e nem a possibilidade da passagem de um prisma de 25 cm x 11 cm nos orifícios do vidro ou a deformação do mesmo, ou seja, o guarda-corpo deve permanecer preservado após a realização do ensaio de impacto.

3.1.1.2 Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos

De acordo com as diretrizes da norma de desempenho os guarda-corpos devem resistir a ação das cargas quando submetido aos esforços: estático horizontal, estático vertical e de resistência a impactos. A norma prevê que para a ação das cargas deve-se realizar os ensaios de verificação de cargas de ocupação de acordo com a normativa específica dos guarda-corpos, ABNT NBR14718.

Portanto os dados declarados no item 4.3 resultam dos ensaios de carga conforme o método de avaliação, premissas do projeto, protocolo de desenvolvimento dos ensaios e as ações das cargas horizontais, estáticas verticais e de impactos segundo as diretrizes da normativa de guarda-corpos para edificações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados apresentados e das análises realizadas em relação a conformidade dos ensaios de carga para guarda-corpos com a norma desempenho, pôde-se inferir que os guarda-corpos do presente estudo não encontram-se adequados para uso.

Em relação a norma desempenho, as dimensões do guarda-corpo 1 como também do guarda-corpo 2 são inferiores a dimensão mínima exigida pela norma. Além desses fatores, os mesmos não atenderam aos valores de deformações calculados como exigido pela norma NBR 15575-4: 2013.

O guarda-corpo 1 durante o ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (carga de uso – face interna) apresentou uma deformação residual 0,358% superior ao valor limite mínimo permitido.

O guarda-corpo 2 durante a execução o ensaio de resistência ao esforço estático horizontal (carga de segurança - face interna) resultou em uma deformação residual de 0,008% superior ao limite mínimo estabelecido conforme a norma desempenho. Também neste mesmo guarda-corpo, durante o ensaio de resistência ao esforço estático horizontal utilizando-se a (carga de uso - face interna) a deformação residual apresentou-se 0,045% superior ao limite mínimo de deformação permitido. Em relação ao esforço estático horizontal (carga de uso – face externa) do mesmo guarda-corpo todas as repetições do ensaio apresentaram deformações instantâneas superiores ao limite mínimo estabelecido de acordo com a norma desempenho, sendo esses percentuais 0,027%, 0,032%, 0,141%, 0,176%, respectivamente

Além da não adequação quanto aos limites mínimos de deslocamentos estabelecidos pela NBR 15575-4: 2013, o guarda-corpo 2 também sofreu colapso quando submetido ao ensaio de impacto, outro fator que não atende a norma desempenho.

Evidencia-se que o erro no projeto dos guarda-corpos em relação a dimensão exigida pela norma desempenho (1,20 m) pode ter influenciado nos resultados de deformações superiores aos estabelecidos pela norma. O guarda-corpo 1 (1,145 m) apresentou uma variação de 0,5% em relação a medida dimensão exigida pela

norma, acarretando em apenas uma deformação que não atende a norma. Enquanto que o guarda-corpo 2 (1,10) apresentou uma variação de 10% em relação a medida da dimensão exigida pela norma, gerando seis deformações que não atendem ao limite mínimo de deformação de acordo com a norma desempenho. Tal fato exprime que quando o guarda-corpo apresenta a dimensão mínima exigida pela norma ela encontra-se mais susceptível a atender os requisitos exigidos pelas mesmas.

Assim, todos os resultados de deformações para a metodologia da curva de aprendizado foram contraditórios e duvidosos. A partir dessa análise pode-se inferir que a equipe a qual realizou os ensaios não é familiarizada com os ensaios que necessitam de maior treinamento para estarem aptos a executá-los, e obterem qualidade e maior produtividade nos ensaios a serem desenvolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGOTE, L. **Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge**. New York: Springer-Verlag, 1999.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS BRASILEIRAS. 2001. **NBR 14718 - Guarda-corpos para edificação**. Disponível em: < http://funisa.com.br/wp-content/uploads/2015/12/NBR_14718_Guarda-Corpos_Edificacoes.pdf>. Acessado em 09 de Outubro de 2018.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS BRASILEIRAS. 2013. **ABNT NBR 15575-3 - 2013 Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Disponível em: < http://360arquitetura.arq.br/wp-content/uploads/2016/01/NBR_15575-4_2013_Final-Sistemas-de-veda%C3%A7%C3%B5es-verticais-internas-e-externas.pdf>. Acessado em 09 de Outubro de 2018.

BASTOS, Ercilia. **O que é a curva de aprendizagem?**. 2015. Disponível em: <<https://www.portal-gestao.com/artigos/7692-o-que-é-a-curva-de-aprendizagem.html>>. Acessado em 13 de dezembro de 2018.

BÔAS, F. V. **Câmara Brasileira da indústria da indústria de construção**. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sites/default/files/ENTREVISTA%20FABIO%20VILLAS%20BOAS.pdf>> Acessado em 06 de Dezembro de 2018.

DAR-EL, E. **Human Learning: from Learning Curves to Learning Organizations**, New York: Springer, 2000.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo:Atlas, 2010. 192 p.

OLIVEIRA, Ricardo Rocha; OLIVEIRA, Ana Maria Santana; HAMERSKI, Aracelli; MARTINI, Carlos Edebrando; DALL’OGLIO, Simone. **Metodologia para melhoria da qualidade e produtividade em obras de caráter repetitivo**. Cascavel : UNIOESTE, 1999.

MARQUES, Camila de Souza. **Análise crítica da norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013 com enafse em durabilidade e manutenibilidade**. 74 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ORESTES, M., JOHN, V., PICHI, F., SATO, N. **Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações**. Coletânea Habitare - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional, 2003.

PAGNUSSAT, J., COSTELLA, M., LANTELME, E., SOUZA, N. **Avaliação da Resistência Mecânica de Esquadrias de Alumínio de Acordo com a Norma de Desempenho**. SIBRAGEC ELAGEC . São Carlos – São Paulo, 2015.

PÓVOAS, Yêda Vieira., SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de., JOHN, Vanderley M. **Produtividade no assentamento dos revestimentos cerâmicos**. In: Simpósio brasileiro de gestão da qualidade e organização do trabalho. Anais do I SIBRAGEQ. Recife, 1999.

REVISTA PINI. **Está em Vigor a NBR 15.575 – Norma de Desempenho**. 2013. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/habitacao/esta-em-vigor-a-nbr-15575-norma-de-desempenho-292738-1.aspx>>. Acessado em 09 de Outubro de 2018.

THOMAS, Randolph., MATHEWS, Cody., WARD, James. Learning curve model of construction productivity. In: **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 2, p. 245-257, junho 1986.

ANEXO

Anexo 1

