



EQUIPAMENTO PARA IMPACTO HORIZONTAL

Gabriel **Bonventre**¹; Mauricio Rossi **Bordin** ²; Tiago Bassani Hellmeister **Dantas**³

Nº 20222

RESUMO – Com a constante busca pela redução de custos de fabricação e de embalagem, faz-se necessário avaliar o adequado desempenho dos conjuntos produto-embalagem frente às etapas de transporte e distribuição. Tal avaliação pode ser feita de duas maneiras: testes reais em campo ou ensaios em laboratório. Esta última opção permite melhor controle das condições de teste e, principalmente, a repetição dos ensaios sem as variações que podem ocorrer nos testes em campo. Os principais ensaios para esse tipo de avaliação são: vibração, compressão e impacto. Dentre os ensaios de impacto aplicáveis às unidades paletizadas estão o impacto em plano horizontal e o impacto em plano inclinado. Desta forma, o projeto em questão visa avaliar qual equipamento atende melhor o laboratório, tendo em vista pontos importantes como o espaço disponível e o custo necessário para construção, além da praticidade de se realizar o teste.

Palavras-chaves: Impacto, plano horizontal, plano inclinado, embalagem, transporte e distribuição.

1. Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Mecânica, FEM / Unicamp, Campinas-SP; gabrielbonventre@hotmail.com.

2. Co-orientador: Pesquisador do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, Campinas-SP; Mauricio@ital.sp.gov.br.

3. Orientador: Pesquisador do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, Campinas-SP; tiago@ital.sp.gov.br.



ABSTRACT – *The constant search for manufacturing and packaging costs reduction makes necessary to evaluate the adequate performance of the product-packaging sets through transport and distribution. Such evaluation is done in two ways: real field tests or laboratory tests. This last option allows better control of the test conditions and, mainly, the repetition of the tests without the variations that may occur in the field tests. The main tests for this type of evaluation are: vibration, compression and impact. Among the impact tests applied to palletized units are the impact on the horizontal plane and the impact on the inclined plane. Thus, the project in question aims to assess which equipment best suits the laboratory, considering important points such as the available space and the cost necessary for construction, in addition to the practicality of carrying out the test.*

Keywords: Impact, horizontal impact test, inclined impact test, package, transport and distribution.

1 INTRODUÇÃO

A otimização das embalagens, em termos de redução de custo e utilização de material, é uma busca constante por parte de seus usuários. Entretanto, é importante que essa otimização seja sempre guiada pela manutenção da proteção ao produto que essa embalagem oferece, eliminando ou reduzindo os danos provenientes das etapas de transporte e distribuição das mesmas.

Com esse objetivo, usuários e fabricantes de embalagem realizam ensaios de desempenho em seus conjuntos produto-embalagem, de forma a garantir que as modificações propostas, além dos benefícios econômicos, propiciem também o melhoramento, ou pelo menos a manutenção, da proteção esperada ao produto, de forma que este chegue ao usuário final de forma íntegra e funcional.

Atualmente existem diversos protocolos de ensaios realizados em laboratório com esse propósito. Os ensaios em laboratório auxiliam os desenvolvedores na avaliação de desempenho e oferecem uma rápida resposta, quando comparados aos ensaios em campo, com transportes reais. Na avaliação de desempenho frente às etapas de transporte e distribuição, os principais parâmetros a serem considerados são: vibração, compressão e impacto. Este último pode ainda ser dividido em duas categorias: impactos ligados ao manuseio de embalagens (queda livre) e impactos provenientes da movimentação mecanizada, principalmente de unidades paletizadas (choques horizontais).

Para a simulação de choques em unidades paletizadas, os principais equipamentos utilizados são os de impacto em plano inclinado e impacto em plano horizontal. Os equipamentos são

compostos por uma base móvel, sobre a qual a amostra é colocada, uma estrutura de percurso, geralmente um sistema de trilhos percorrido pela base móvel, e uma base sísmica no final do percurso, a qual é impactada pela amostra. As Figuras 1 e 2 ilustram esses tipos de equipamentos. O equipamento ainda possui um registrador de velocidade de impacto e também podem ser utilizados acelerômetros para registro dos níveis de impacto aos quais a amostra é submetida no ensaio.

Nos desenvolvimentos iniciais dos ensaios de choque, o mais utilizado era o equipamento de plano inclinado, dada sua facilidade de montagem e funcionamento. Atualmente, com a evolução das tecnologias, o equipamento em plano horizontal tem sido mais utilizado; além de possibilitar maior controle e variação dos parâmetros de ensaio, em geral trata-se também de um equipamento mais compacto e mais adequado aos laboratórios de ensaio.



Figura 1. Exemplo de equipamento de impacto – plano inclinado.

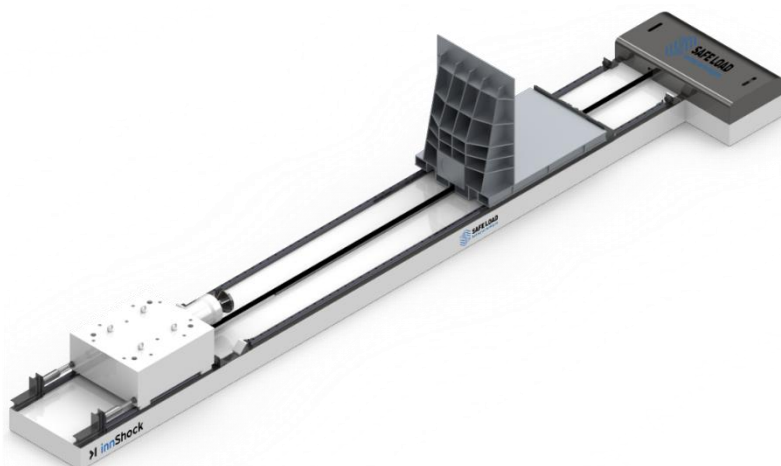


Figura 2. Exemplo de equipamento de impacto – plano horizontal.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Apresentação das normas e parâmetros de projeto

Inicialmente fez-se o levantamento das principais normas utilizadas para o ensaio de impacto em plano inclinado e horizontal. Dentre elas estão a ASTM D880 – “Standard Test Method for Impact Testing for Shipping Containers and Systems”, ASTM D4169 – “Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems” e ISTA 3E – “Similar Packaged-Products in Unitized Loads for Truck Shipment”.

O principal parâmetro avaliado nestas normas foi a velocidade de impacto. As velocidades de impacto estabelecidas variam entre 0,91 m/s e 2,5 m/s. Com base nesses valores, foram realizados os cálculos cinemáticos e estruturais, parcialmente apresentados a seguir.

2.2 Cálculos cinemáticos e dinâmicos

Os cálculos cinemáticos iniciais foram realizados considerando-se um plano horizontal (Figura 3), a Equação de Torricelli (1) e desconsiderando perdas por forças de resistência ao movimento (tais como a força devido ao atrito ou devido ao desalinhamento dos trilhos). Com base na velocidade de impacto, na massa da amostra e na força do cilindro, definiu-se a distância a ser percorrida pela base móvel e conseqüentemente o comprimento a ser considerado no projeto de construção do equipamento, como pode ser visto na Equação 2.

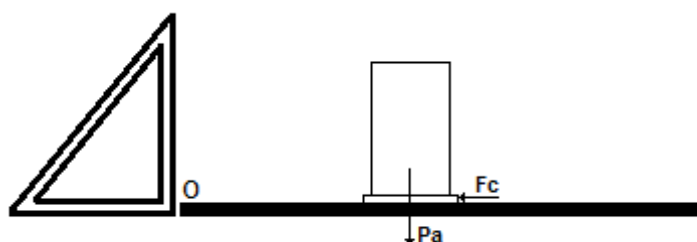


Figura 3. Desenho esquemático das forças presentes no equipamento de plano horizontal, desconsiderando forças de resistência ao movimento.

A Equação de Torricelli pode ser escrita como:

$$V = \sqrt{V_0^2 + 2 * \Delta S * a} \quad (1)$$

Onde:

V – Velocidade de impacto;

V_0 – Velocidade inicial;

a – aceleração da amostra;

ΔS – Distância percorrida.

$$V = \sqrt{2 * \Delta S * \frac{F_c}{m}} \quad (2)$$

Onde:

V – Velocidade de impacto;

ΔS – Distância percorrida;

F_c – Força do cilindro;

m – Massa da carga unitizada.

Analisando-se a Figura 3 e desconsiderando as forças de atrito, pela segunda lei de Newton a fórmula da força necessária para empurrar a base móvel se reduz a:

$$F_c = m * a \quad (3)$$

sendo a igual à aceleração obtida pela carga no teste (considerada constante). A partir da equação (2), tem-se:

$$F_c = \frac{V^2 * m}{2 * \Delta S} \quad (4)$$

Antes do dimensionamento de cada parte do equipamento, fez-se um cálculo da força que seria necessária ser aplicada na base do carrinho para que a amostra sofresse um “tombo” para trás. Essa é uma ocorrência indesejada. As forças presentes nessa situação são apresentadas na Figura 4.

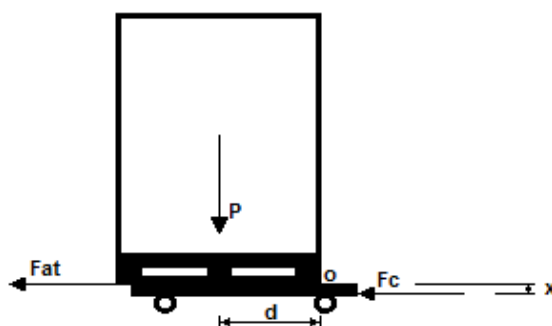


Figura 4. Desenho esquemático das forças na amostra para ocorrer um “tombo”.

Onde:

Fat – Força de atrito;

P – Força peso da amostra;

F_c – Força exercida pelo cilindro;

d – Distância da força peso até o ponto O;

x – Distância da força do cilindro até o ponto O.

Analisando-se a figura acima, considerou-se o ponto O na extremidade do palete como sendo o ponto onde ocorreria a rotação por conta da força exercida pelo cilindro na parte inferior do carrinho. Para calcular essa força mínima necessária foi preciso fazer o somatório de todos os momentos em relação ao ponto O, como mostrado na equação (5):

$$\sum M_O = 0 \rightarrow -P * d + F_c * x = 0 \quad (5)$$

Da mesma maneira é possível calcular qual seria a força necessária para que a amostra escorregasse sobre a superfície da base móvel. Através da análise da Figura 4, chegou-se à seguinte equação:

$$F_c = \mu * P \quad (6)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito entre a amostra e a base móvel. Portanto, através dessas duas equações foram elaboradas duas tabelas com valores estimados de cada componente para analisar o módulo de F_c para os dois casos mencionados.

2.3 Cálculos estruturais

Para os cálculos estruturais, foi necessário definir a máxima carga a ser suportada pela base móvel do equipamento, para a projeção desta, e também das vigas que servirão como trilho para a base móvel. Além disso, com os cálculos cinemáticos e dinâmicos, foi possível a iniciação do dimensionamento de diversas partes do equipamento, como a base móvel, trilhos e área da base sísmica de impacto.

2.3.1 Dimensionamento dos trilhos

Antes da seleção de uma viga para composição dos trilhos, foi necessário calcular os esforços cortantes e o momento fletor atuantes na mesma devido às cargas presentes, esquematizados na Figura 5.

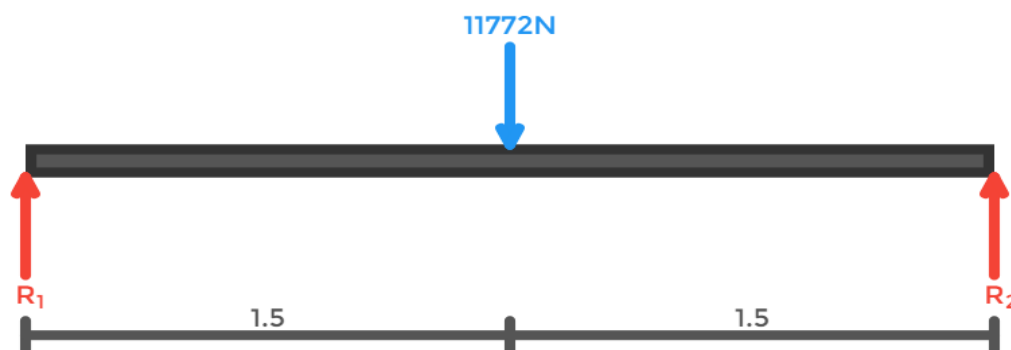


Figura 5. Força pontual em uma viga com as respectivas reações de apoio.

No caso acima, foi selecionada uma viga qualquer com 3 metros de comprimento com apoios nas extremidades. Também foi selecionada uma carga de 1200 kg totalmente concentrada exatamente no meio da viga, para obtermos o pior caso possível de momento fletor.

Como a carga pontual está exatamente na metade da viga, por questões de simetria as reações R_1 e R_2 (nos apoios) são iguais e, portanto:

$$R_1 + R_2 = 11772 \text{ N} \quad (7)$$

Com a determinação das forças de reação, fez-se um gráfico de momento fletor que atua na viga e, a partir dele, foi obtida a máxima carga que a viga suporta antes de sofrer alguma deformação plástica.

2.3.2 Dimensionamento no Creo Parametric 5.0.

O Creo Parametric é um software 3D utilizado para diversos tipos de dimensionamento, desde modelagens mais simples, como um cubo, até modelagens mais complexas, como uma máquina industrial. Com isso, fez-se uma estimativa de algumas partes do equipamento a fim de se obter algumas imagens e desenhos detalhados dessas partes, além da montagem do conjunto.

2.3.2.1 Vigas

A partir desse software 3D, fez-se o dimensionamento de algumas vigas para posteriormente serem incluídas na montagem do equipamento com as outras partes dimensionadas (com três metros de comprimento, como visto anteriormente).

2.3.2.2 Base móvel

Para as dimensões do carrinho, considerou-se que a unidade paletizada possui dimensões geralmente limitadas a 1200 x 1200 mm; assim, a base móvel deve ter dimensões no mínimo iguais

ou maiores que essas. Considerou-se então uma base móvel com dimensões de 1400 x 1400 x 50 mm (Figura 6), com dimensões e resistência suficientes para a sustentação da carga.

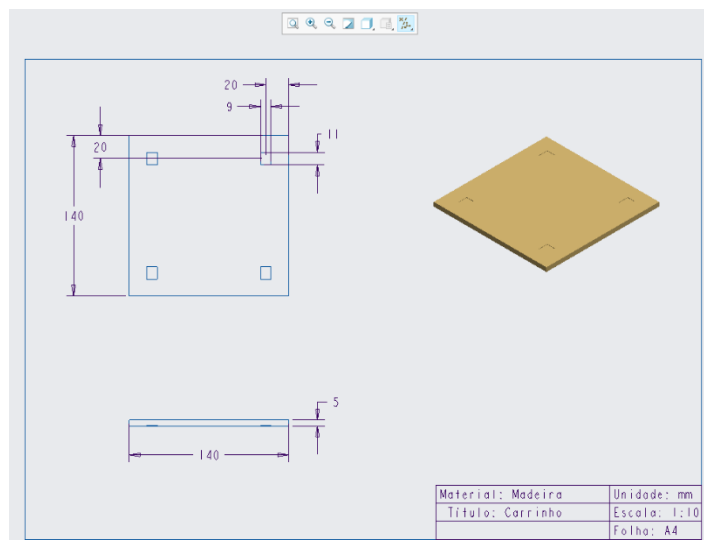


Figura 6. Detalhamento da base móvel sem rodízios.

2.3.2.3 Base sísmica

A Figura 7 apresenta as dimensões da base do equipamento. Comparando a largura da base sísmica com a largura do carrinho, verifica-se que a base possui medidas maiores e assim o ensaio acabará sendo realizado em toda a parte frontal da amostra. Todas as medidas são passíveis de mudanças, bem como a forma da base.

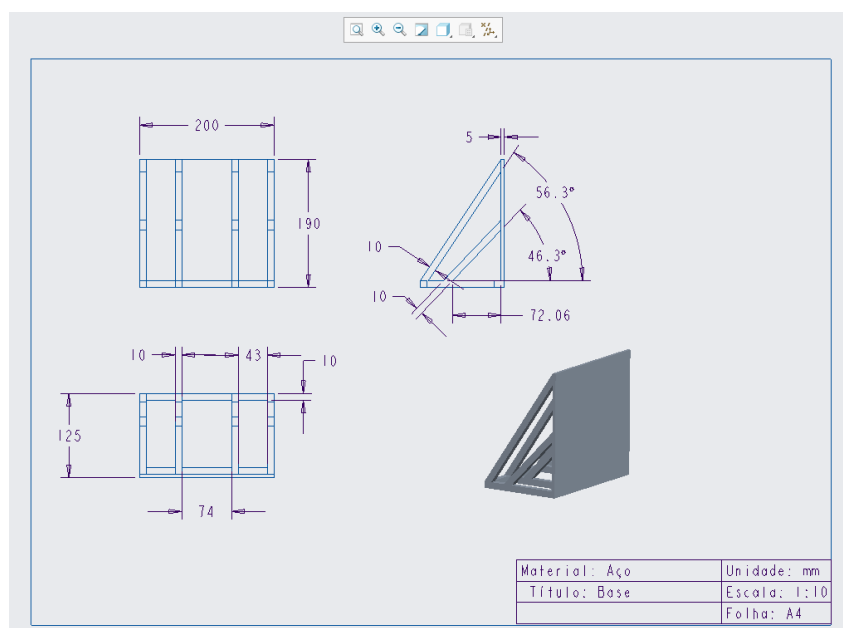


Figura 7. Detalhamento da base sísmica.

2.3.2.4 Esquema final

A Figura 8 apresenta o esquema final do equipamento montado.

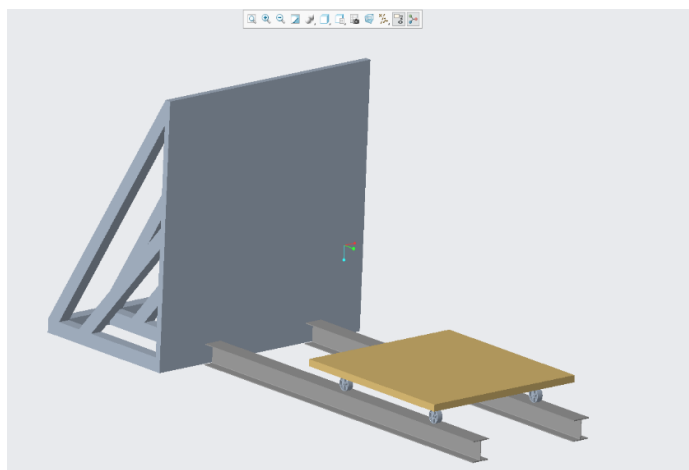


Figura 8. Montagem do equipamento com as modelagens feitas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise dos parâmetros de especificação do equipamento

Com base no procedimento 3E (2019) da International Safe Transit Association – ISTA, o equipamento em questão deve possibilitar impactos com uma velocidade de no mínimo 1,2 m/s. A Tabela 1 apresenta diferentes velocidades para o referido procedimento da ISTA e também para diferentes níveis do procedimento D4169 da American Society for Testing and Materials – ASTM. Nesse caso, a amostra pode ser categorizada em um dos três níveis de acordo com a fragilidade do produto que está sendo testado e do objetivo do ensaio.

Na Tabela 1 pode ser observado também que a velocidade máxima escolhida foi de aproximadamente 2,5 m/s; além desse valor, os ensaios não apresentam resultados que possam ser úteis no desenvolvimento de embalagens.

Tabela 1. Dados teóricos estudados para um plano horizontal.

Plano Horizontal						
	V teórica (m/s)	Distância percorrida (m)	Aceleração (m/s ²)	Aceleração em função de g	Massa da amostra (kg)	Força do cilindro (N)
V _{máx}	2.5	1.5	2.083	0.212g	1200	2500
ISTA V _{mín}	1.2	1.5	0.480	0.049g	1200	576

ASTM N1	1.75	1.5	1.021	0.104g	1200	1225
ASTM N2	1.22	1.5	0.496	0.051g	1200	595
ASTM N3	0.91	1.5	0.276	0.028g	1200	331

3.1.1 Tombamento e escorregamento

Para fins de cálculo, considerou-se uma amostra de 1200 kg (com centro de massa exatamente na metade do conjunto) a uma distância de 0,6 m (metade do comprimento de um palete convencional) e uma base móvel com uma espessura de 5 cm (Tabela 2).

Tabela 2. Dados estimados para tombamento da amostra.

Tombamento	
Peso (Kg)	1200
Distância x (m)	0.05
Distância d (m)	0.6
Fc (N)	141264

Pode-se notar que, para que ocorra tombamento, seria necessária uma força de pelo menos 141.264 N, o que, para o projeto, está muito além da força que será utilizada para execução do ensaio, uma vez que, para a velocidade de impacto máxima estipulada (2,5 m/s), a força necessária está em torno de 2500 N.

Para o caso de escorregamento, poderá ser opcionalmente utilizado um mecanismo na base móvel atrás da amostra a fim de travar seu movimento e, assim, eliminar quaisquer chances de escorregamento.

3.1.2 Momento fletor

A Figura 9 apresenta o gráfico de momento fletor da viga da esquematizada na Figura 5.

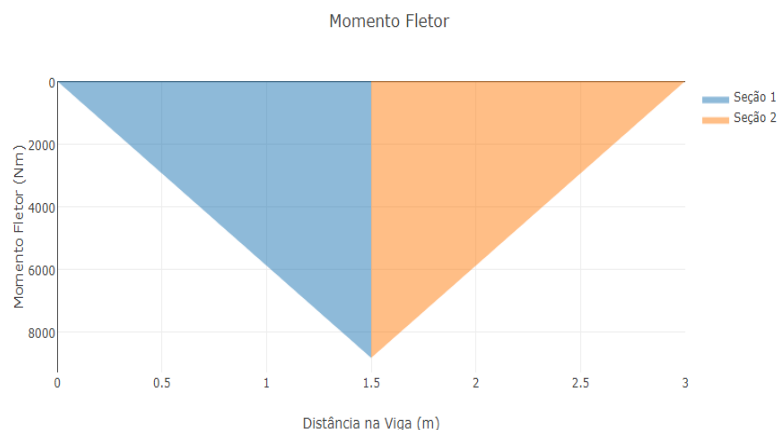


Figura 9. Momento fletor presente na viga.

A partir do pior caso tomado (como sendo na metade da viga), com a equação apresentada abaixo (8) foi possível então encontrar a carga máxima que esta pode suportar e analisar se ela é maior ou menor que a carga proposta no projeto conforme Figura 5.

$$\sigma = \frac{-M}{I}y \quad (8)$$

Onde:

σ – Tensão máxima na viga

M – Momento fletor máximo na viga

I – Momento de inércia da seção transversal da viga (tabelado)

y – Distância da linha neutra até a base superior da viga (no caso é apenas a metade da altura)

Ao encontrar a tensão máxima na viga ainda é necessária a relação abaixo:

$$\sigma_{\text{máx}} < \sigma_y \quad (9)$$

Onde σ_y é a tensão de escoamento (tensão máxima suportada pelo material antes que ocorra deformação plástica). Com isso, foi possível fazer a seleção da viga utilizada no projeto.

4 CONCLUSÃO

A construção de um equipamento de laboratório requer uma avaliação da relação custo-benefício, ou seja, é importante que o equipamento viabilize a realização dos ensaios de interesse, porém respeitando as limitações orçamentárias existentes. Desta forma, o equipamento com plano horizontal apresenta maior viabilidade, por se tratar de um equipamento mais compacto, com uma maior facilidade em relação ao dimensionamento do equipamento como um todo e que utiliza menos acessórios para a realização do ensaio, além de possuir um manuseio mais simples, uma vez que



não seria necessário uma inclinação da plataforma para a realização do teste, sendo apenas necessário o movimento da base móvel até a posição de ensaio.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Tiago e ao Maurício pela orientação para o desenvolvimento do projeto, agradeço ao ITAL pela estrutura fornecida e ao CNPq pela concessão da bolsa.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008**, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, 2008.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D880-15**: standard test method for impact testing for shipping containers and systems. West Conshohocken, 2015. 4 p.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D4169-16**: standard practice for performance testing of shipping containers and systems. West Conshohocken, 2016. 17 p.

AÇOMINAS, G. **Tabela de bitolas, perfil W**. São Paulo, Gerdau Açominas, 2008. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais>.

BRANDENBURG, R.K.; LEE, J.J.L. **Fundamentals of packaging Dynamics**. Michigan: MTS Systems Corporation, 1988. 162 p.

CREO PARAMETRIC. Versão 5.0. **PTC**, 2018.

GOODWIN, D., YOUNG, D. **Protective packaging for distribution** – design and development. Lancaster: DEStech Publications, Inc., 2011. 256 p.

INTERNATIONAL SAFE TRANSIT ASSOCIATION. **ISTA 3E 2017**: similar packaged-products in unitized loads for truckload shipment. In: _____. ISTA Resource Book 2019. East Leasing, MI: ISTA, 2019. 12 p.

INTERNATIONAL STANDARD, **ISO 2244** – Horizontal Impact Test (Horizontal or Incline Plane Test: Pendulum Test). 3. ed. Switzerland, 2000. 8 p.

VIGA Online. **Aprender Engenharia**. 2018. Disponível em: <https://www.aprenderengenharia.com.br/viga-online>. Acesso em: 04/06/2020.

"Plano Inclinado" em **Só Física**. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2020. Consultado em 07/01/2020 às 14:41. Disponível na Internet em <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/Dinamica/pi.php>