



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 06, pp. 57072-57075, June, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.24848.06.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DA COMPRESSÃO DA CAIXA DE PAPEL ONDULADO: UM ESTUDO DE CASO NUMA EMPRESA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Vagner Rodrigues Lima*¹ and Moysés Mendes de Lima^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental - PPG.EGPSA, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM. Manaus/AM, CEP 69020-030.

²Departamento de Ciência da Computação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

ARTICLE INFO

Article History:

Received 09th March, 2022

Received in revised form

26th April, 2022

Accepted 03rd May, 2022

Published online 28th June, 2022

Key Words:

Caixa de Embalagem, Resistência, Compressão, *McKee*, Lógica *Fuzzy*.

*Corresponding author:

Vagner Rodrigues Lima

ABSTRACT

As embalagens de papel ondulado, comumente chamadas de embalagens de papelão, despontam entre as mais utilizadas na indústria e comércio em geral. Tais embalagens consolidaram-se como recurso preferido no tocante ao transporte e comercialização de produtos uma vez que possuem alta resistência mecânica e geometria projetada para garantir alto desempenho. Desta forma, é necessário garantir a qualidade de uma embalagem até o cliente final. Neste sentido, a fórmula de *McKee* é um dos mecanismos de cálculo mais conhecidos entre os projetistas da atualidade para o cálculo da resistência ao empilhamento de embalagens associando às definições dos parâmetros de compressão. Assim, neste trabalho, propomos um modelo computacional baseado em Lógica *Fuzzy* que visa acelerar o processo de tomada de decisão sobre a qualidade da caixa considerando os parâmetros que compõem o cálculo teórico de resistência à compressão desenvolvido por *McKee*. Nossa abordagem se mostrou eficaz uma vez que foi possível validar a qualidade da caixa com o uso da Lógica *Fuzzy*.

Copyright © 2022, Vagner Rodrigues Lima and Moysés Mendes de Lima. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Vagner Rodrigues Lima and Moysés Mendes de Lima. "Aplicação da lógica fuzzy para análise de qualidade da compressão da caixa de papel ondulado: um estudo de caso numa empresa do polo industrial de manaus", *International Journal of Development Research*, 12, (06), 57072-57075.

INTRODUCTION

A caixa de embalagem em papel ondulado é o principal meio e recurso para armazenar e transportar mercadorias dos mais variados segmentos (Tobi Fadiji et al., 2018). A aplicação e o uso de caixa de embalagem já ultrapassaram os 100 anos, isso ocorre devido ao baixo custo de manufatura, baixo peso, fácil montagem e desmontagem, além de boa performance de acolchoamento e a possibilidade de reutilização com a reciclagem (Jing Chen et al., 2011). Em nossos dias, um dos grandes desafios é garantir a qualidade da caixa de embalagem desde a sua fabricação até o seu destino final protegendo sempre o produto contido dentro dela, pois como bem sabemos muitos são os agentes externos que podem comprometer a resistência mecânica da caixa, tais como: umidade relativa, manuseio, transporte, tempo de armazenamento e padrão de empilhamento (Selke et al., 2016). Neste sentido, a resistência mecânica da caixa à compressão tem um importante papel, pois quando corretamente projetada e adequadamente dimensionada pode impulsionar a cadeia logística de suprimento e distribuição dos produtos finais em virtude do baixo nível de avarias (Benjamin Frank et al., 2013). Diversos modelos já foram elaborados contemplando especificações do material de papel

ondulado associando a resistência à compressão (este visto e analisado em laboratório) além da resistência ao empilhamento (Javier de la Fuente et al., 2018). Neste sentido, uma forma de garantir a qualidade da caixa é através da realização de testes de compressão, ruptura e de coluna, conforme discutidos em (Tomasz Garbowski et al., 2021). Discutir e analisar como ocorre as falhas nas caixas e como modelar isso requer uma atenção e entendimento de como as caixas precisam ser testadas em laboratório de tal forma que possa obter um modelo de teste que mais represente as condições de situações reais de uso no cotidiano (Benjamin Frank et al., 2013). Desta forma, neste trabalho propomos um modelo computacional para validar a qualidade da caixa de embalagem baseando-se nos dados que estão disponíveis em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, para isso utilizaremos as afirmações e inferências dos especialistas da área (Maryam Gallaba et al., 2018).

MATERIAIS AND METHODS

Utilizando como material de apoio e referencial técnico adotado, usamos a fórmula universal de *McKee* para o cálculo matemático da resistência à compressão. A interpretação matemática dar-se-á conforme Eq. (1):

$$RC = 5,87 \times ECT \times \sqrt{tP} \quad (1)$$

Onde:

$$RC = \text{Resistência à Compressão} \quad (2)$$

$$ECT = \text{Edge Crush Test} \quad (3)$$

$$t = \text{Espessura do Papel Ondulado} \quad (4)$$

$$P = \text{Perímetro da Caixa} \quad (5)$$

Usado uma prensa hidráulica de compressão da REGMED P6000M para realização dos testes de compressão nas caixas de embalagem. Além disso, utilizaremos um computador windows 10 com software matlab instalado para uso da lógica *Fuzzy* para propor um modelo computacional.

METODOLOGIA

O principal foco deste trabalho é a proposição de um modelo computacional, baseado em lógica *Fuzzy*, para otimizar o processo de tomada de decisão quanto ao uso de uma embalagem. Para o desenvolvimento dessa proposta, um conjunto de atividades foi definido como segue abaixo:

1. Escolher um produto de TV de *LCD*, logo em seguida mensurar e anotar o dimensional da caixa de embalagem utilizando para isso o instrumento de medição calibre de caixa ou trena métrica.
2. Definir a quantidade de caixas que deverão ser empilhadas, pode-se adotar a altura máxima para empilhamento a altura do container de 40" (2690 mm).
3. Realizar a pesagem do produto completamente embalado na sua caixa original.
4. Definir o tipo de onda do papel ondulado a ser usado.
5. Definir o valor da coluna da caixa (*Edge Crush Test*) baseado nas informações da especificação do papel ondulado disponível em cada fabricante de caixa.
6. Usar a fórmula de *McKee* Eq. (1) com os dados coletados para o cálculo de resistência a compressão da caixa para a realização da simulação.

Aplicação de Estudo de Caso: Este estudo foi elaborado, desenvolvido e aplicado nas dependências de uma empresa multinacional instalada no polo industrial de Manaus e que atua no ramo eletroeletrônico desde Outubro de 2003 na produção de monitores e televisores de sua própria marca e de terceiros. Em virtude de recorrentes devoluções de produtos com avarias de embalagem, foi necessário elaborar um processo de avaliação e validação que garantisse que uma caixa de embalagem tivesse padrões de qualidades aceitáveis. Essa análise e validação é considerado crítico devido aos altos custos envolvidos com o transporte de uma carga que em valores absolutos e a depender do produto transportado pode chegar a valores superiores a 1 milhão de real, um alto custo logístico para qualquer empresa instalada no polo industrial de Manaus.

Aplicação da lógica *Fuzzy* na resistência à compressão da caixa de embalagem: Este estudo de caso considerou uma TV de *LCD* de 32 pol. com os seguintes dados levantados conforme Tabela 1 a seguir:

Depois de levantado os dados acima aplica-se na fórmula de *McKee*, como resultado teremos:

$$RC = 5.87 \times ECT \times \sqrt{tP}$$

$$RC = 5.87 * 5,7 \frac{Kgf}{cm} * \sqrt{0,38cm * 2 * (79,4 + 13,0)cm}$$

$$RC = 280 \text{ Kgf}$$

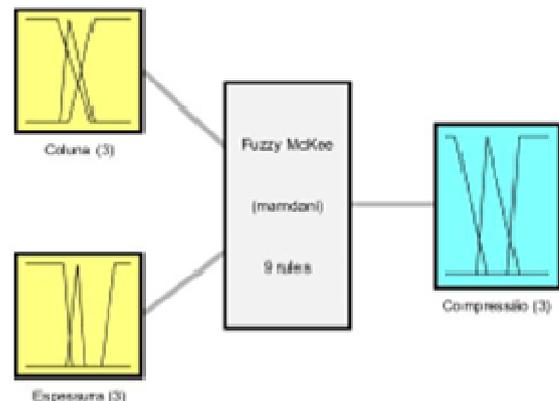
Por meios dos cálculos matemáticos da fórmula chega-se a um valor de 280 Kgf como sendo o ideal para as condições pré-determinadas na tabela 1. Além disso consta no desenho mecânico da caixa de embalagem definido pela matriz da empresa o valor de resistência a compressão como sendo 280 Kgf para uma caixa de 32" polegadas.

Tabela 1. Dados do Produto de TV de LCD de 32 pol

Itens levantados	Componente	Especificação
Dimensional da Caixa	Comprimento	794mm
	Largura	130mm
	Altura	513mm
Container para Transporte	Altura	2690mm
Quantidade de Caixas Empilhadas	Valor	5
Peso do Produto Embalado	Peso Bruto	7 Kg
Fator de Segurança	Coefficiente	10
Tipo de Onda da Caixa	Espessura da Chapa	3,8mm
Teste de ECT	Coluna da Caixa	5,7 Kgf/cm

Fonte: Autor (2022).

Para aplicação da lógica *Fuzzy* na avaliação da compressão da caixa de embalagem foram adotadas as variáveis que compõem a fórmula de *McKee*. Pois, é uma fórmula que garante um bom desenvolvimento de embalagem quando usado da maneira correta. Assim, definimos as variáveis de entrada para *McKee* que serão 2 parâmetros: Coluna da Caixa, Espessura do Papel Ondulado. O modelo difuso é representado na figura 1. Já os valores desses 2 parâmetros estão representados nas tabelas 2 e 3. Essas tabelas significam os valores numéricos de cada parâmetro com os termos linguísticos.



Fonte: Autor (2022).

Figura 1. Modelo Difuso para *McKee*

A Coluna da Caixa obtida através do teste de ECT – *Edge Crush Test* expressado em (kgf/cm) é definida pelo conjunto *Fuzzy* com os seguintes termos: Ruim (R), Bom (B), Ótimo (O). O termo “R” representa os valores considerados baixos para uso na especificação da coluna da caixa. Enquanto, o termo “O” significa um valor recomendado para a definição da coluna da caixa o que é excelente do ponto de vista da resistência mecânica. Os conjuntos *Fuzzy* estão relacionados às classes correspondentes de 1 à 3, com os seguintes dados levantados conforme Tabela 2 a seguir. Já o conjunto *Fuzzy* da coluna da caixa representado graficamente é ilustrado na Figura 2.

A Espessura do Papel Ondulado em milímetros (mm) depende exclusivamente do tipo de onda (B, C e BC) é definida pelo conjunto *Fuzzy* com os seguintes termos: Ruim (R), Bom (B), Ótimo (O). O termo “R” representa o valor considerado baixo para uma espessura de onda. Pois, é uma das ondas com a menor resistência. Já o termo “O” significa uma onda com dupla camada considerada o tipo de onda mais resistente perdendo apenas para a onda tripla que não é aplicada nos produtos de TV’s de *LCD*. Os conjuntos *Fuzzy* estão relacionados às classes correspondentes de 1 à 3 com os seguintes dados levantados conforme Tabela 3 a seguir. Já o conjunto *Fuzzy* da Espessura do Papel Ondulado da caixa representado graficamente é ilustrado na Figura 3.

Tabela 2. Coluna da Caixa

Parâmetros da Coluna			
Classificação	1	2	3
Coluna (Kgf/cm)	0 ~ 10,5	5,5 ~ 11	7 ~ 17
Valor	Baixo	Médio	Alto
Linguístico	R	B	O

Tabela 3. Espessura do Papel Ondulado

Parâmetros da Espessura do Papel Ondulado			
Classificação	1	2	3
Espessura (mm)	0 ~ 3.4	3 ~ 4.4	5.5 ~ 7.7
Valor	Baixo	Médio	Alto
Linguístico	R	B	O

Fonte: Autor (2022).

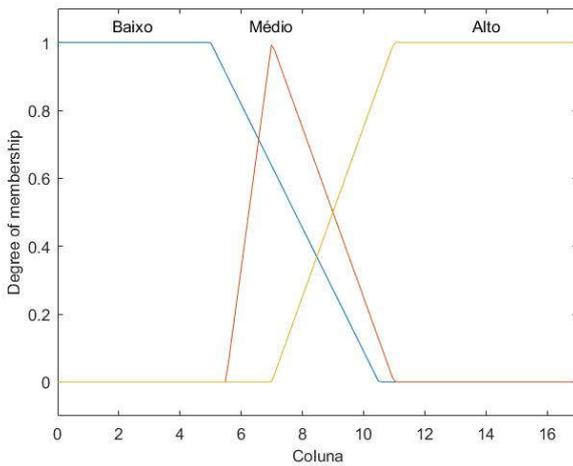
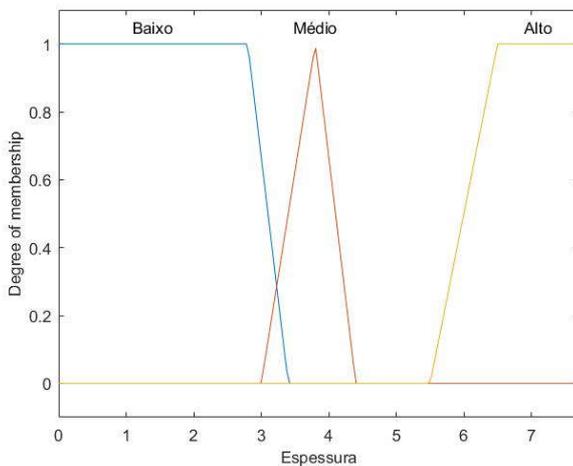


Figura 2. Forma da variável da Coluna da Caixa



Fonte: Autor (2022).

Figura 3. Forma da variável da Espessura do Papel Ondulado

Baseado nas funções de pertinência disponibilizadas das variáveis de entradas, serão geradas 9 regras de inferência para a compressão obtida por *McKee*; a variável de saída compressão da caixa de embalagem é descrita em termos dos três parâmetros linguísticos: Inadequado (I), Bom (B), Adequado (O). Os dados seguintes foram levantados conforme consta nas Tabelas 4 e 5 a seguir. Importante frisar que esta tabela é obtida pela opinião dos especialistas com base no conhecimento e experiência no desenvolvimento de caixa de embalagem. A fórmula usada para a obtenção da regra foi:

$$R = (N^t), \text{ Onde: } R = \text{número de regras} / N = \text{número de inferências} / t = \text{número de variáveis}$$

Portanto: $R = (3^2) \text{ logo } R = 9.$

Tabela 4. Regras de Inferência Para *McKee*

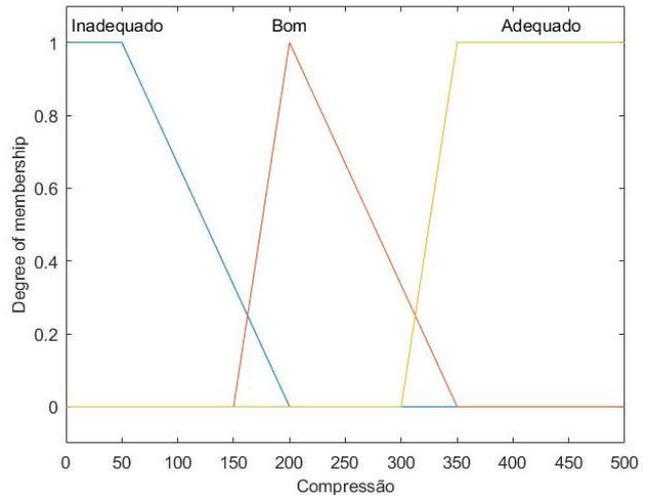
Item	Coluna (Kgf/cm)	Tipo de Onda (mm)	Compressão da Embalagem por <i>McKee</i>
1	Baixo	Baixo	Inadequado
2	Baixo	Médio	Inadequado
3	Baixo	Alto	Inadequado
4	Médio	Baixo	Inadequado
5	Médio	Médio	Adequado
6	Médio	Alto	Adequado
7	Alto	Baixo	Bom
8	Alto	Médio	Adequado
9	Alto	Alto	Adequado

Tabela 5. Regras de Inferência Para Compressão/Qualidade da Caixa

Item	Compressão (Kgf)	Compressão da Caixa
1	0 ~ 200	Inadequado
2	150 ~ 350	Bom
3	300 ~ 500	Adequado

Fonte: Autor, (2022).

O conjunto *Fuzzy* do resultado da saída é ilustrado na Figura 4.



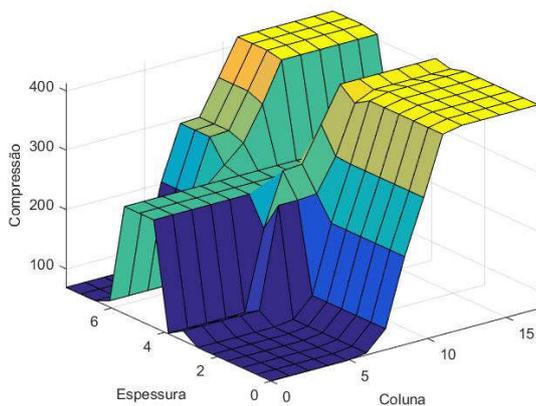
Fonte: Autor, (2022).

Figura 4. Forma da variável da saída

RESULTADOS & DISCUSSÃO

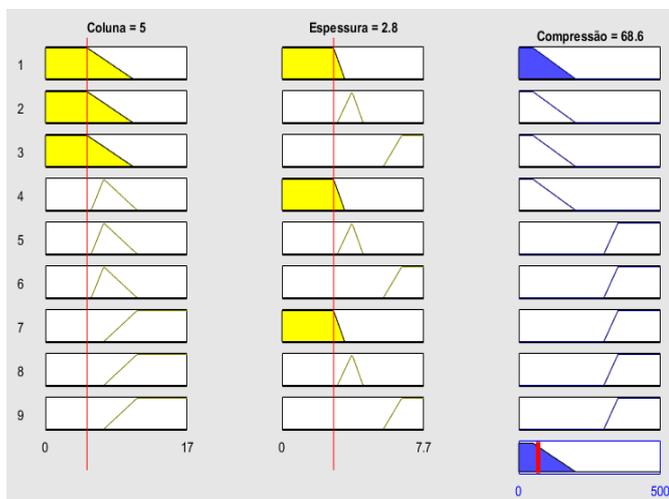
Acessando o software MATLAB pudemos usar a ferramenta para simulação da lógica *Fuzzy* e propor a implementação de forma computacional o desenvolvimento e a avaliação da qualidade da resistência à compressão da caixa de embalagem utilizando as fórmulas de *McKee*. Foi possível gerar o gráfico de superfície do sistema estudado. Inserindo-se todas as regras que formara toda a base de conhecimento do sistema e utilizando o método de Inferência de *Mamdani* e o método de defuzzificação do centro de gravidade (Centroide), obtivemos as superfícies encontradas na figura 5 como solução do sistema *Fuzzy*. Na Figura 5 interpretamos que quanto maior for o valor da coluna da caixa e da espessura do papel usado, maior será a compressão requerida, ou seja, o valor alto da coluna e da espessura da caixa contribui positivamente para uma compressão adequada da caixa lhe conferindo robustez para uma avaliação de qualidade positiva. Fazendo uma aplicação de estudo de caso para mostrar a avaliação da Compressão da Qualidade da Caixa de Embalagem, são ilustrados nas figuras 6 e 7, os resultados das aferições para diferentes resultados de cálculo de compressão para diferentes valores de Coluna e Espessura do Tipo de Onda. Realizando uma análise com a função de pertinência da saída e com os devidos grau de pertinência é possível caracterizar cada aferição

dentro do conjunto *Fuzzy* (Inadequado, Bom, Adequado) justificando uma tomada de decisão final.



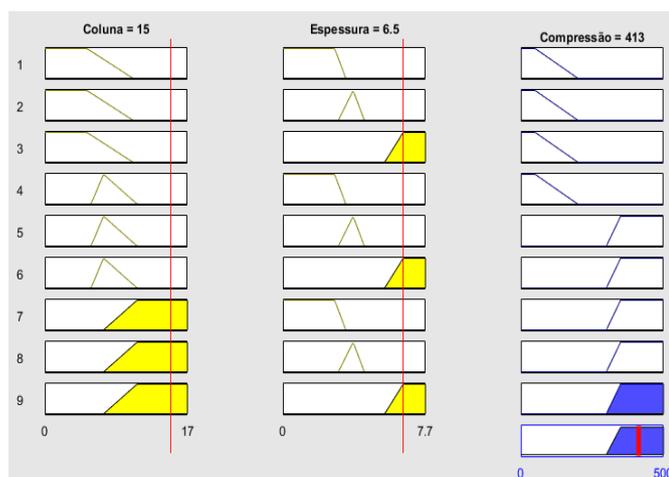
Fonte: Autor, (2022).

Figura 5. Superfície para McKee



Fonte: Autor, (2022).

Figura 6. Resultado da Compressão por McKee variando Coluna e Espessura para valores mínimos



Fonte: Autor, (2022).

Figura 7. Resultado da Compressão por McKee variando Coluna e Espessura para valores máximos

Fazendo uma aplicação de estudo de caso para mostrar a avaliação da Compressão da Qualidade da Caixa de Embalagem, são ilustrados nas figuras 6 e 7, os resultados das aferições para diferentes resultados de cálculo de compressão para diferentes valores de Coluna e Espessura do Tipo de Onda. Realizando uma análise com a função de pertinência da saída e com os devidos grau de pertinência é possível caracterizar cada aferição dentro do conjunto *Fuzzy* (Inadequado, Bom, Adequado) justificando uma tomada de decisão final.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho propomos um sistema *Fuzzy* para determinar se a compressão da caixa de embalagem é: adequada, bom ou inadequada. Diversas empresas estão sempre em busca de aprimorar, modernizar e mudar seus métodos e processos com o objetivo único de acelerar o processo de amadurecimento do conhecimento para otimizar as tomadas de decisões. A proposta foi estabelecer uma sistemática de avaliação que fosse possível de forma rápida e prática identificar se a definição da compressão da caixa de embalagem indicada baseada na variação dos elementos que compõem a fórmula de *McKee* é ideal ou não para termos caixas de embalagem que possam resistir a toda cadeia logística garantindo a integridade física do produto dentro dela contido durante o armazenamento e transporte. Dessa forma podemos ter parâmetros para analisar e inferir se a caixa de embalagem é de boa qualidade, ou seja, se a caixa é forte, resistente e robusta o suficiente para garantir um produto que atenda cliente e consumidor final. Por meio do sistema *Fuzzy* é possível ter avaliação da qualidade da caixa de embalagem baseado no resultado da compressão obtido pela inserção de todas as regras que formara toda a base de conhecimento do sistema e utilizando o método de Inferência de *Mamdani* e o método de defuzzificação.

CONCLUSÕES

O sistema *Fuzzy* proposto foi capaz de mostrar os diferentes resultados de compressão quando simulado as diferentes condições das variáveis de entrada. Portanto, o sistema apresentado pode servir de base para tomada de decisão quanto a qualidade da caixa de embalagem após o resultado do teste de compressão.

REFERÊNCIAS

- Frank, B. (14 de 03 de 2013). Corrugated Box Compression—A Literature Survey. *PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE*, p. 24.
- Fuente, J. d. (06 de 11 de 2018). Investigation of Compression Strength of Bliss Style Corrugated Fiberboard Boxes. *Journal Applied Packaging Reseach*, p. 20.
- Garbowski, T. (30 de 12 de 2020). Estimation of the Compressive Strength of Corrugated Cardboard Boxes with Various Openings. *MDPI*, p. 20.
- Garbowski, T. (19 de 02 de 2021). Estimation of the Compressive Strength of Corrugated Cardboard Boxes with Various Perforations. *MDPI*, p. 14.
- Gallaba, M. 2018. Avaliação de risco das atividades de manutenção usando lógica *Fuzzy*. *Elsevier*, p. 10.
- Jing Chen, Y.-l. Z. 2011. An Overview of the Reducing Principle of Design of Corrugated Box Used in Goods Packaging. *Elsevier*, 7.
- Selke, S. 2016. Packaging: CorrugatedPaperboard. *Elsevier*, 6.
- Tobi Fadiji, T. M. 2018. Mechanical design and performance testing of corrugated paperboard packaging for the postharvest handling of horticultural produce. *Elsevier*, 25.