

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

HELOISA NASCIMENTO DE ALMEIDA

QUIMIOMETRIA APLICADA À ANÁLISE DE  
EMBALAGENS PLÁSTICAS NA INDÚSTRIA  
ALIMENTÍCIA

SÃO CARLOS - SP  
Setembro 2022

HELOISA NASCIMENTO DE ALMEIDA

QUIMIOMETRIA APLICADA À ANÁLISE DE EMBALAGENS PLÁSTICAS NA INDÚSTRIA  
ALIMENTÍCIA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentada ao Departamento de  
Química da Universidade Federal de São  
Carlos, para obtenção do título de  
bacharel em Química

Orientador: Prof Dr Edenir Rodrigues  
Pereira Filho

São Carlos-SP  
2022



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - DQ/CCET**

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33518206 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 19/2022/DQ/CCET

**Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso**

**Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**HELOÍSA NASCIMENTO DE ALMEIDA**

**QUIMIOMETRIA APLICADA À ANÁLISE DE EMBALAGENS PLÁSTICAS NA  
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Universidade Federal de São Carlos - Campus São Carlos**

São Carlos, 15 de setembro de 2022

**ASSINATURAS E CIÊNCIAS**

<b>Cargo/Função</b>	<b>Nome Completo</b>
Orientador	Prof. Dr. Edenir Rodrigues Pereira Filho
Membro da Banca 1	Liziane Cardoso
Membro da Banca 2	M.Sc. Marcelo Graziani



Documento assinado eletronicamente por **Caio Marcio Paranhos da Silva, Professor(a)**, em 27/09/2022, às 08:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0828816** e o código CRC **872E690A**.

**Referência:** Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.035418/2022-90

SEI nº 0828816

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

Aos meus pais, professores e amigos!  
Em especial, à minha irmã Isadora!

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço aos meus pais por todo o suporte durante toda a minha trajetória acadêmica. Sem eles, nada disso seria possível.

À minha irmã Isadora, por ser um exemplo de pessoa a quem admiro muito e tenho a certeza de que será uma excelente profissional da Estatística.

Aos amigos que fiz durante a graduação.

Aos professores do departamento de química da UFSCar, em especial o Professor Dr. Edénir, meu orientador, que me apresentou à quimiometria durante a graduação e me orientou de maneira impecável durante a elaboração deste trabalho.

“Uma probabilidade razoável é a única certeza.”  
Samuel Howe

## RESUMO

Grande parte das embalagens utilizadas no setor alimentício são produzidas em materiais plásticos, podendo ser flexíveis ou rígidas. As embalagens rígidas como as de polietileno de alta densidade recebem destaque, pois mantêm seu formato independente das características do produto armazenado, no entanto, em determinadas condições, estão suscetíveis à deformação durante estocagem, transporte e empilhamento. Diante disso, com o intuito de avaliar uma possível diminuição no peso da embalagem visando aspectos de produtividade, ferramentas quimiométricas foram utilizadas para entender como a temperatura de armazenagem e o peso da embalagem afetam na resistência a compressão e deformação. Com a aplicação de ferramentas estatísticas como coeficiente de Pearson, análise de variância e teste de Tukey foi possível verificar que a temperatura e o peso da embalagem influenciam na média da resistência, no entanto apenas o peso é um fator estatisticamente significativo para a média da deformação.

**Palavras-chave:** Embalagens. Quimiometria. PEAD.

## ABSTRACT

Most of the packaging used in the food sector is produced in plastic materials that can be flexible or rigid. Rigid packaging such as high-density polyethylene is highlighted because they keep their shape independent of the characteristics of the stored product, however, under certain conditions, they are susceptible to deformation during storage, transport, and stacking. Therefore, in order to evaluate a possible decrease in the weight of the packaging aiming at productivity aspects, chemometric tools were used to understand how the storage temperature and the weight of the packaging affect in the resistance to compression and deformation. With the application of statistical tools such as Pearson coefficient, variance analysis and Tukey test it was possible to verify that the temperature and the weight of the packaging influence the mean of resistance, however only weight is a statistically significant factor for the mean of deformation.

**Key-words:** Packaging. Chemometrics. HDPE



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Valor bruto da produção de embalagens por setor .....	13
Figura 2 - Classificação de plásticos segundo NBR 13.230:2008 .....	16
Figura 3 - Dinamógrafo de Tração .....	19
Figura 4 - Diagrama de dispersão entre deformação e resistência .....	25
Figura 5 - Diagrama de dispersão entre Temperatura e médias da Resistência .....	26
Figura 6 - Diagrama de dispersão entre temperatura e médias da deformação .....	26
Figura 7 - Diagrama de dispersão entre peso e médias da resistência .....	27
Figura 8 - Diagrama de dispersão entre peso e médias da deformação .....	27
Figura 9 - Relação entre resistência estimada e observada.....	31
Figura 10 - Relação entre deformação estimada e observada.....	33
Figura 11 - Superfície de resposta para a resistência em função do peso e da temperatura	34
Figura 12 - Representação gráfica da deformação em função do peso da embalagem .....	34
Figura 13 - Gráfico de resíduos para o modelo da resistência .....	35
Figura 14 - Gráfico de resíduos para o modelo da deformação .....	35
Figura 15 - Gráfico de probabilidade normal para o modelo da resistência.....	36
Figura 16 - Gráfico de probabilidade normal para o modelo da deformação .....	36
Figura 17 - Box Plot Resíduos vs Temperatura para o modelo da resistência .....	37
Figura 18 - Box Plot Resíduos vs Temperatura para o modelo da deformação.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicação de polietileno de baixa e alta densidade no setor de embalagens .....	18
Tabela 2 - Combinação das amostras .....	23
Tabela 3 - Correlação entre fatores e variáveis resposta .....	28
Tabela 4 - Análise de variância para a resistência em função de peso e temperatura .....	29
Tabela 5 - Teste de Tukey para as médias de resistência em relação à temperatura .....	30
Tabela 6 - Teste de Tukey para as médias de resistência em relação ao peso .....	30
Tabela 7 - Modelo de regressão para a resistência .....	31
Tabela 8 - Análise de variância para a deformação em função de peso e temperatura .....	32
Tabela 9 - Teste de Tukey para as médias de deformação em relação ao peso.....	32
Tabela 10 - Modelo de regressão para a deformação.....	33

## LISTA DE SIGLAS

ABRE – Associação Brasileira de Embalagens

DMS – Diferença Mínima Significativa

EVA – Etileno Acetato de Vinila

NBR – Norma Brasileira

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PET – Polietileno Tereftalato

PS – Poliestireno

PU – Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinila

QME – Quadrado médio do erro

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  – Nível de significância

$r$  – Coeficiente de correlação de Pearson

$q$  – Amplitude total studentizada

$n$  – Número de observações por tratamento

$Y$  - Variável dependente

$\beta_0$  – Intercepto

$\beta_k$  – Coeficiente angular da  $k$ -ésima variável

$K$  – Número de variáveis independentes

$\varepsilon$  – Termo de erro

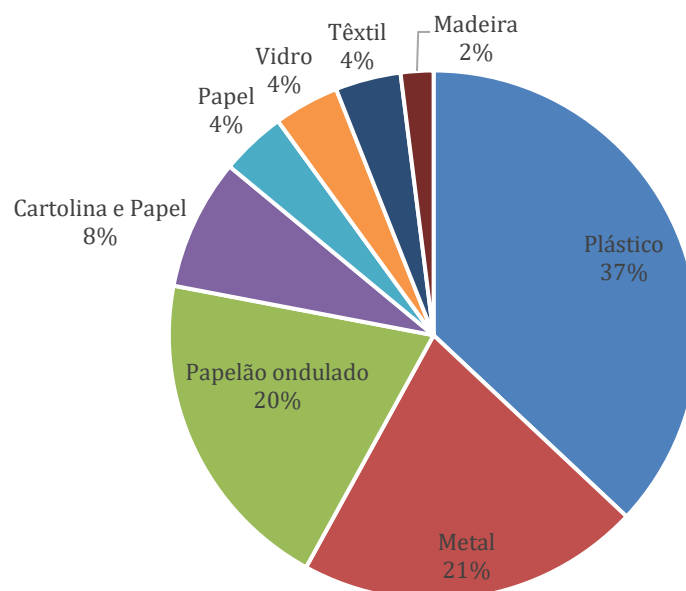
# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	ESTRUTURA DO POLIETILENO .....	16
2.1.1	Polietileno de Baixa Densidade .....	17
2.1.2	Polietileno de Alta Densidade .....	17
2.1.3	Análise de Compressão de Embalagens Rígidas .....	18
2.2	QUIMIOMETRIA .....	19
2.3	TESTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (r).....	19
2.4	TABELA ANOVA E TESTE DE TUKEY .....	20
2.5	MODELOS DE REGRESSÃO .....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
3.1	PREPARO DAS AMOSTRAS .....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
4.1	ESTATÍSTICA COMPARATIVA – ANOVA .....	28
4.1.1	Análise de Variância - Resistência.....	29
4.1.2	Análise de Variância – Deformação.....	32
4.2	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS MODELOS.....	33
4.3	ANÁLISE DIAGNÓSTICA.....	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>
	<b>ANEXO A – Tabela de TUKEY a 5% de probabilidade</b> .....	<b>42</b>
	<b>ANEXO B – Valores críticos para o teste de Cochran</b> .....	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Materiais plásticos são amplamente utilizados na indústria de embalagens, pois possuem grande variedade e versatilidade para atender aos diversos critérios necessários de conservação de produtos. Segundo a ABRE (Associação Brasileira de Embalagens), o valor bruto de produção de embalagens atingiu a marca de R\$ 111 bilhões no ano de 2021, um montante cerca de 31% maior em relação ao ano de 2020. Dentre os diversos materiais, o setor de embalagens plásticas é o que mais contribuiu para este aumento, com uma participação de 37%, seguido pela indústria de embalagens em papel (32%), como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Valor bruto da produção de embalagens por setor



Fonte: ABRE

Na indústria alimentícia, uma das principais funções da embalagem é garantir a segurança alimentar dos consumidores ao proteger o alimento contra agentes externos que possam causar perda de nutrientes e alterações de cor, textura, sabor e aroma. Além disso, a embalagem deve auxiliar no transporte e manuseio do produto desde a manufatura até o consumidor final. (EBNESAJJAD, 2012). De maneira geral, um material plástico que se destina a esta aplicação deve possuir resistência mecânica adequada para o maquinário, empilhamento, armazenamento e transporte.

As embalagens plásticas podem ser classificadas em rígidas, semi-rígidas e flexíveis. Cada uma delas possui características especiais para proteger o produto acomodado. Dentre estas, as embalagens rígidas, aquelas que possuem formato fixo independente do produto, recebem destaque por sua vasta aplicação. (OLIVEIRA, GARCIA e QUEIROZ, 2008).

Segundo Oliveira, Garcia e Queiroz (2008), a escolha de um material plástico para aplicação no setor de embalagens deve atender alguns requisitos importantes, essenciais para preservação e estabelecimento do prazo de validade do produto, como a permeabilidade de vapores de água, gás e gordura, temperatura de armazenamento na fábrica, custo do material, rigidez, estabilidade e resistência mecânica. Diante destes requisitos, um dos maiores desafios da indústria de embalagens para alimentos é a obtenção de materiais que contenham todas as características físicas de robustez e resistência e ainda assim sejam leves para garantir facilidade de armazenamento e transporte.

Diante da importância das embalagens plásticas no mercado brasileiro, este trabalho tem como objetivo a aplicação de ferramentas quimiométricas para a investigação da qualidade de embalagens rígidas de polietileno de alta densidade empregadas no setor alimentício. Visando aspectos de produtividade, o objetivo do estudo é garantir uma embalagem leve, mas que possua a resistência necessária em diferentes temperaturas. Assim podendo ser utilizada para que o produto se mantenha bem acomodado em diferentes regiões e não sofra danos durante a estocagem visto que, em muitos casos, a embalagem plástica contribui para suportar a carga de empilhamento. Para isso, foi proposto um estudo estatístico e um modelo de regressão para identificar as melhores condições de trabalho.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Os plásticos, materiais quimicamente pertencentes à classe dos polímeros, são usados em grande escala na indústria de embalagens dos mais variados tipos, desde alimentos a remédios e cosméticos. Os polímeros são, em definição, macroestruturas formadas por pequenas unidades chamadas monômeros. Define-se como grau de polimerização o número de unidades estruturais repetidas para formar o material final. (MENDES, 2009).

Na indústria, uma das principais características desejadas para um polímero é a resistência mecânica. Neste quesito, os polímeros podem ser classificados em termoplásticos, termofixos e elastômeros. Os materiais termoplásticos são aqueles que apresentam, predominantemente, estruturas lineares com cadeias conectadas por interações fracas, como as de Van Der Waals, que eventualmente possuem ramificações. Estes materiais podem ser moldados e remoldados a uma determinada temperatura e pressão devido à viscosidade que apresentam nestas condições. Segundo Mendes (2009), polímeros termoplásticos podem ser solubilizados em solventes orgânicos adequados, de forma que o processo de moldagem pode ser repetido diversas vezes. Desta forma, a reciclagem destes materiais é possível, já que não há alterações em sua estrutura química durante o processo de fusão e moldagem.

Dentre os polímeros termoplásticos, destacam-se o Polietileno Tereftalato (PET) e o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) como polímeros muito recicláveis. Em seguida, Policloreto de Vinila (PVC), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e Polipropileno (PP), como polímeros recicláveis e o Poliestireno (PS) como não reciclável. No Brasil, a norma NBR 13.230:2008 determina como os materiais termoplásticos utilizados em embalagens devem ser identificados de forma a facilitar a separação para posterior reciclagem de acordo com sua composição. A classificação dos plásticos de acordo com esta norma é mostrada na Figura 2.



Figura 2 - Classificação de plásticos segundo NBR 13.230:2008



Fonte: Pleion

Os polímeros termofixos, como o Poliuretano (PU) e o Etileno Acetato de Vinila (EVA), possuem ligações cruzadas entre as cadeias de sua estrutura. Desta forma, ao adquirir uma conformação dificilmente voltam a fundir-se, isso porque o movimento de cadeias nestes materiais se torna restrito devido às ligações primárias. Assim a remoldagem destes polímeros é dificultada. De acordo com Mendes (2009), o aquecimento de polímeros termofixos resulta na decomposição do material antes mesmo que este atinja seu ponto de fusão. Esta característica, torna os materiais termofixos mais resistentes à variação de temperatura quando comparados aos materiais termoplásticos, isso porque sua temperatura de fusão é maior que a de degradação.

Finalmente, os elastômeros são materiais que apresentam características intermediárias entre os termoplásticos e os termofixos. Apesar de apresentarem alta elasticidade, não são adequados para processos de fusão e remoldagem como os termoplásticos, por isso sua reciclagem é dificultada.

## 2.1 ESTRUTURA DO POLIETILENO

O polietileno é um termoplástico bastante usado na indústria de embalagens para produtos alimentícios por ser um material atóxico e reciclável. É obtido a partir da polimerização de moléculas de eteno que juntas formam a macroestrutura polimérica. A obtenção do gás eteno se dá a partir do craqueamento do petróleo bruto, ainda nas refinarias, onde a nafta é destilada originando o gás que servirá de matéria prima para o polímero. (VIEIRA, 2009).

As condições reacionais e o sistema catalítico empregado durante o processo de produção do polímero conferem a ele características que determinam sua estrutura e funcionalidade. A forma como os monômeros estão organizados ao longo da cadeia polimérica determina o grau de cristalinidade do material, de forma que quanto maior a organização molecular de longo alcance, maior será a cristalinidade do polímero. O polietileno é um material semicristalino, ou seja, ao longo de sua estrutura há regiões cristalinas e amorfas. Por conta do grau de organização das moléculas, as regiões cristalinas apresentam maior densidade frente às regiões amorfas e neste quesito o Polietileno pode ser classificado em: Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e Polietileno de Alta Densidade (PEAD). (PATEL, 2016).

### **2.1.1 Polietileno de Baixa Densidade**

O polietileno de baixa densidade é um polímero semicristalino com cerca de 55% de cristalinidade e temperatura de fusão entre 110 e 115°C. A obtenção deste material ocorre sob altas temperaturas e pressão na presença de oxigênio. Durante o processo, há a formação de ramificações ao longo da cadeia polimérica que podem ser tão longas quanto a cadeia principal. Em virtude da quantidade de ramificações, o PEBD apresenta menor organização molecular de longo alcance, portanto menor grau de cristalinidade e conseqüentemente, menor densidade. (VIEIRA, 2009).

Por ser um material transparente, flexível, estável, resistente a impactos e apresentar uma boa barreira a vapor de água é largamente empregado como filme na indústria de embalagens de alimentos líquidos e sólidos.

### **2.1.2 Polietileno de Alta Densidade**

O processo produtivo deste polímero ocorre a pressões e temperaturas mais brandas, desta forma origina-se um material pouco ramificado e altamente cristalino, cerca de 80% de cristalinidade. A alta cristalinidade implica numa maior densidade devido ao empacotamento das cadeias poliméricas, desta forma a fusão deste polímero ocorre em temperaturas mais elevadas quando comparado ao PEBD. Além disso, segundo Vieira (2009), a forma como as cadeias poliméricas estão orientadas ao longo da estrutura do polímero influencia fortemente em suas propriedades mecânicas. Materiais altamente orientados apresentam um maior empacotamento das cadeias, assim, maior rigidez e resistência.

Normalmente, por apresentar alta resistência mecânica, à queda e ao empilhamento, o PEAD é empregado em embalagens rígidas como potes, tampas de garrafa e engradados. A Tabela 1 mostra uma comparação entre a aplicação de PEBD e do PEAD no setor de embalagens.

Tabela 1 - Aplicação de polietileno de baixa e alta densidade no setor de embalagens

Segmento	PEBD	PEAD
Alimentício	Pacotes de arroz, feijão, açúcar e sacos de pão	Frascos de suco, leite e iogurte
Utilidades	Sacolas para supermercado	Caixas para garrafas de cerveja e refrigerantes, potes em geral, bacias e sacolas de supermercado

Fonte: Instituto de embalagens

### 2.1.3 Análise de Compressão de Embalagens Rígidas

Durante o desenvolvimento de uma embalagem plástica é necessário avaliar se suas propriedades mecânicas são adequadas para a aplicação final levando em conta aspectos como: a proteção do produto acondicionado, resistência para os processos automáticos em linha e integridade durante o processo de estocagem.

Para as embalagens plásticas rígidas é possível realizar testes para avaliar a resistência à compressão. O ensaio consiste em medir a resistência oferecida pela embalagem quando submetida à uma força crescente aplicada pela aproximação de dois planos paralelos de um dinamógrafo de tração, equipamento mostrado na Figura 3 que é capaz de registrar o efeito de uma força aplicada sobre um objeto, tornando possível avaliar sua direção e intensidade a qualquer momento. (OLIVEIRA, GARCIA e QUEIROZ, 2008).

Para o estudo em questão foram analisadas a resistência e a deformação no limite da linearidade seguindo o procedimento interno da empresa. Segundo Oliveira, Garcia e Queiroz (2008), o limite da linearidade compreende o ponto em que a curva da Resistência vs Deformação se desvia da tendência linear observada até então. A partir deste ponto a reação da embalagem à deformação tende a um nível constante. O limite da linearidade é importante para estudos de desempenho mecânico de embalagens submetidas à compressão estática como, por exemplo, durante o armazenamento quando a embalagem contribui para suportar a carga de empilhamento.

Figura 3 - Dinamógrafo de Tração



Fonte: Instron

## 2.2 QUIMIOMETRIA

A quimiometria corresponde a uma área interdisciplinar que engloba conceitos matemáticos e estatísticos associados a conhecimentos químicos para a tomada de decisões a partir da análise de um conjunto de dados. A partir de ferramentas quimiométricas é possível inferir quais fatores afetam diretamente na variável resposta, além de planejar condições ótimas para se obter o máximo proveito de um experimento, poupando tempo e recursos financeiros. (PEREIRA FILHO, 2015).

## 2.3 TESTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ( $r$ )

O coeficiente de correlação de Pearson é um teste estatístico capaz de medir a relação linear entre duas variáveis contínuas, podendo assumir valores entre -1 e 1. O sinal indica a direção, positiva ou negativa, da correlação e o valor, a força da relação entre as variáveis. Quanto mais próximo de zero, mais fraca é a interação. (BRITTO FIGUEIREDO FILHO e DA SILVA JÚNIOR, 2009).

Para o estudo em questão foram adotados os seguintes parâmetros, de acordo com Dancey e Reidy (2006).

$|r| > 0,7$  correlação forte

$0,4 < |r| < 0,7$  correlação moderada

$0 < |r| < 0,4$  correlação fraca

## 2.4 TABELA ANOVA E TESTE DE TUKEY

A análise de variância (ANOVA) é uma ferramenta estatística utilizada para comparar a variância entre as médias de três ou mais tratamentos. Para isso, define-se duas hipóteses:

- $H_0$ : Não existe diferença significativa entre a média dos grupos
- $H_1$ : A média de pelo menos um grupo é significativamente diferente

A conclusão da tabela ANOVA pode ser feita através da análise do valor p:

Com nível de significância  $\alpha$ , define-se que, para:

- valor-p  $< \alpha$  rejeita-se  $H_0$ , portanto a diferença entre algumas das médias é estatisticamente significativa.
- valor-p  $> \alpha$  não se rejeita  $H_0$ , portanto não há evidências de que exista diferença estatisticamente significativa entre as médias.

A rejeição da hipótese nula, indica apenas que há diferença entre as médias da variável em estudo. Para identificar as diferenças entre médias que contribuem para a rejeição da hipótese nula deve-se realizar um teste de comparações múltiplas. O teste de Tukey pode ser utilizado para identificar todas as possíveis diferenças entre pares de médias. (S. WITTE e S. WITTE, 2013).

O teste envolve o cálculo de um valor crítico chamado DMS (Diferença mínima significativa). Se a diferença absoluta entre qualquer par for igual ou maior que o DMS a hipótese nula de que não há diferença entre as médias pode ser rejeitada para este par específico. O DMS é calculado como:

$$DMS = q \sqrt{\frac{QME}{n}}$$

Onde:

q - amplitude total studentizada (tabelado)

QME - quadrado médio do resíduo

n - número de observações por tratamento

O procedimento para aplicação do teste consiste em calcular o valor de DMS, calcular as estimativas de contraste entre os pares de médias e compará-los em módulo com o DMS.

Se  $|m_1 - m_2| \geq \text{DMS}$  as médias dos tratamentos testados apresentam diferença significativa a nível  $\alpha$  de probabilidade.

## 2.5 MODELOS DE REGRESSÃO

A regressão linear é definida como um conjunto de ferramentas para estimar o valor de uma variável dependente em função de uma ou mais variáveis independentes, além de servir como base para entender a relação estatística entre elas. (B. GUIMARÃES). A equação que descreve a relação de dependência linear observada entre as variáveis é:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Onde:

Y - Variável dependente

$\beta_0$  – Intercepto

$\beta_k$  – Coeficiente angular da k-ésima variável

K – Número de variáveis independentes

$\varepsilon$  – Termo de erro

A adequação do modelo pode ser testada a partir da análise da ANOVA de Regressão, de forma que se o valor p for menor que o nível de significância estabelecido a regressão é considerada significativa. Além disso, é necessário verificar se as suposições para a aplicação da análise de variância são atendidas, isto pode ser feito a partir da análise dos resíduos, isto é, a diferença entre os valores observados e os valores ajustados pelo modelo proposto. O modelo supõe que os erros não observáveis são independentes, possuem distribuição normal e são homocedásticos (possuem todos a mesma variância). (BUSSAB e MORETTIN, 2010)

A independência dos erros pode ser verificada a partir de um gráfico de resíduos em função da ordem das observações, de forma que pontos distribuídos de maneira não aleatória indicam desvio da hipótese de independência dos erros. A normalidade pode ser checada através de um gráfico de probabilidade normal, se os pontos obtidos estiverem próximos a uma reta não há indícios de desvio da hipótese de normalidade.

Por fim, a homoscedasticidade sugere que os erros possuem variância parecida. Esta suposição pode ser testada a partir de box plots dos resíduos separados por fatores, ou ainda pelo teste de Cochran. A aplicação do teste consiste

no cálculo da estatística  $C$ , definida como a razão entre a maior variância e a soma de todas as variâncias, e na comparação do valor obtido com o valor tabelado, de forma que se  $C_{\text{Calculado}} < C_{\text{Tabelado}}$  os dados são homocedásticos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a relação da temperatura e peso da embalagem na resistência e na taxa de deformação realizou-se um experimento em triplicata contemplando todas as possíveis combinações dos fatores, totalizando 60 amostras. Neste caso, peso e temperatura representam os fatores em 4 e 5 níveis, respectivamente, totalizando 20 combinações possíveis, conforme descrito na Tabela 2.

- Pesos diferentes ordenados de forma crescente (P1, P2, P3 e P4)
- Temperaturas diferentes ordenadas de forma crescente (T1, T2, T3, T4 e T5)

Tabela 2 - Combinação das amostras

Tratamento	Temperatura (°C)	Peso (g)
1	T1	P1
2	T1	P2
3	T1	P3
4	T1	P4
5	T2	P1
6	T2	P2
7	T2	P3
8	T2	P4
9	T3	P1
10	T3	P2
11	T3	P3
12	T3	P4
13	T4	P1
14	T4	P2
15	T4	P3
16	T4	P4
17	T5	P1
18	T5	P2
19	T5	P3
20	T5	P4

Fonte: Elaborada pelo autor

Por questões de confidencialidade, os valores apresentados ao longo do trabalho foram codificados para preservar as informações da empresa, de forma a não apresentar interferências nas conclusões do estudo estatístico.



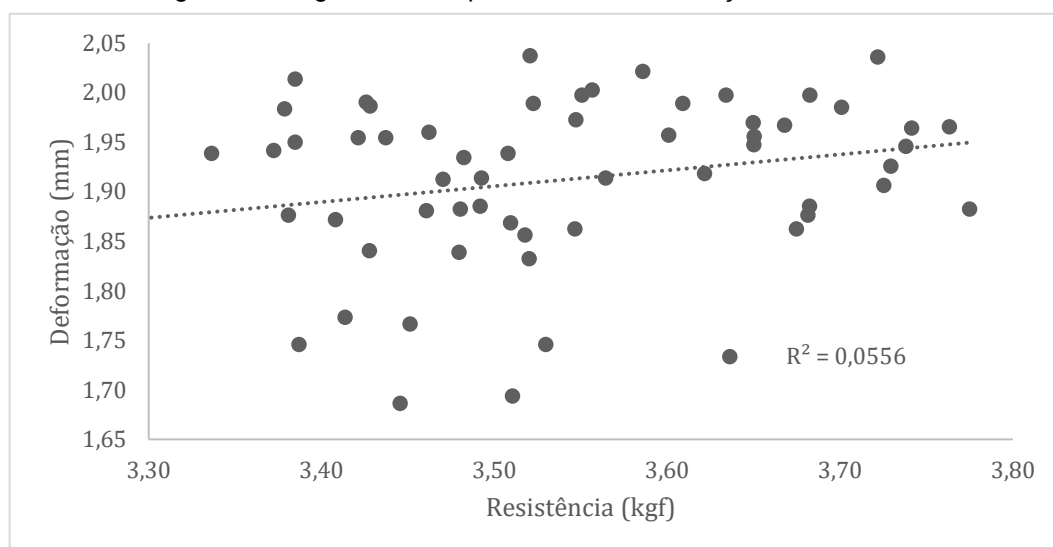
### 3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

As embalagens foram separadas de acordo com o peso e preenchidas com a mesma quantidade de produto. Posteriormente foram aleatoriamente alocadas, de três em três, em estufas com umidade constante e temperaturas de T1 a T5. Após um dia sob condições de temperatura e umidade controladas, as embalagens foram retiradas das estufas e com o auxílio de um estilete realizou-se um pequeno furo no material para evitar o estouro durante a análise. Por fim, foram analisadas para determinação da resistência à compressão e deformação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por se tratar de uma análise com duas variáveis resposta, é preciso entender se há algum tipo de correlação entre elas antes de realizar os testes estatísticos. Analisando o diagrama de dispersão entre as duas variáveis, apresentado na Figura 4, parece não haver nenhuma correlação linear aparente entre as duas respostas.

Figura 4 - Diagrama de dispersão entre deformação e resistência

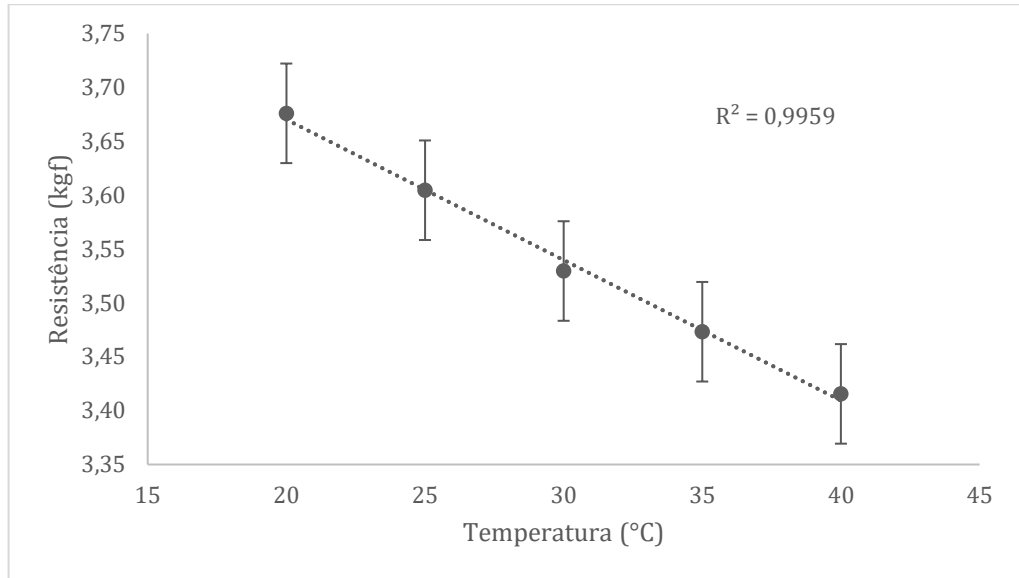


Fonte: elaborada pelo autor

O coeficiente de correlação de Pearson, apresentado na seção 2.3, é uma ferramenta útil para analisar a relação entre a variabilidade de uma variável sobre a outra. Neste caso, o valor obtido para  $r$  foi de 0,24 e o coeficiente de determinação  $R^2$ , mostrado na Figura 3 é de 0,0556. Desta forma, parece não haver correlação entre a resistência e a deformação, indicando que uma variável não interfere na outra, portanto, podem ser estudadas e avaliadas de forma separada.

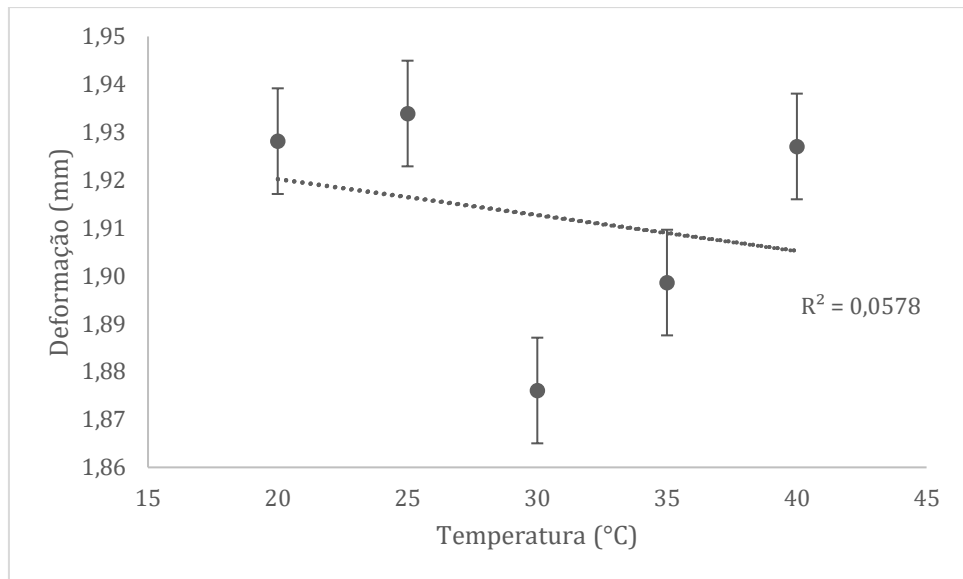
Para um estudo com variáveis quantitativas contendo mais de três grupos, o teste estatístico comparativo mais indicado é a ANOVA, conforme descrito na seção 2.4. Porém, antes de realizar o teste é interessante verificar como os fatores afetam cada uma das variáveis resposta. Como visto anteriormente, o diagrama de dispersão é uma ferramenta útil para identificar correlações entre variáveis. As Figuras 5 e 6 mostram a relação da temperatura com a resistência e a deformação e as Figuras 7 e 8, a relação do peso com a resistência e a deformação, respectivamente.

Figura 5 - Diagrama de dispersão entre Temperatura e médias da Resistência



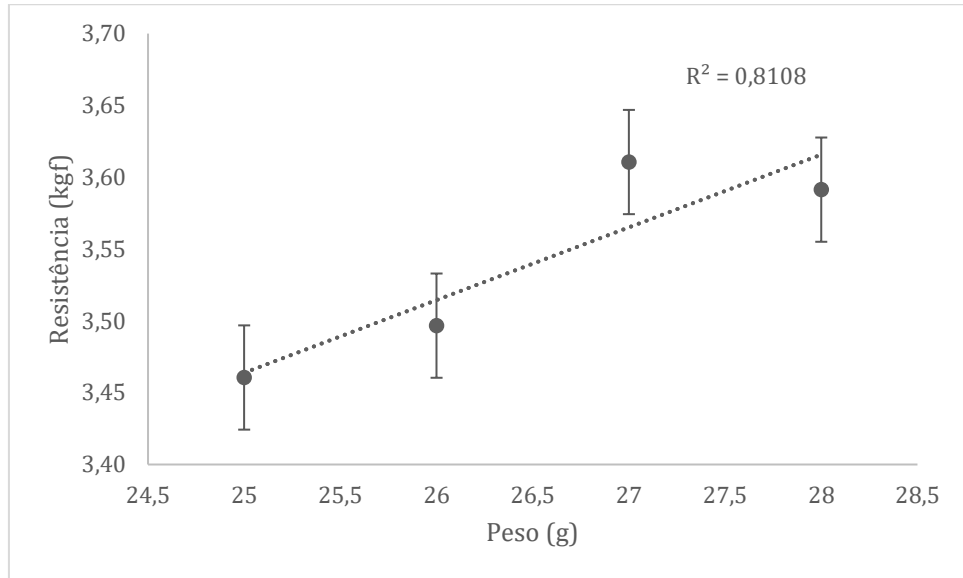
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 6 - Diagrama de dispersão entre temperatura e médias da deformação



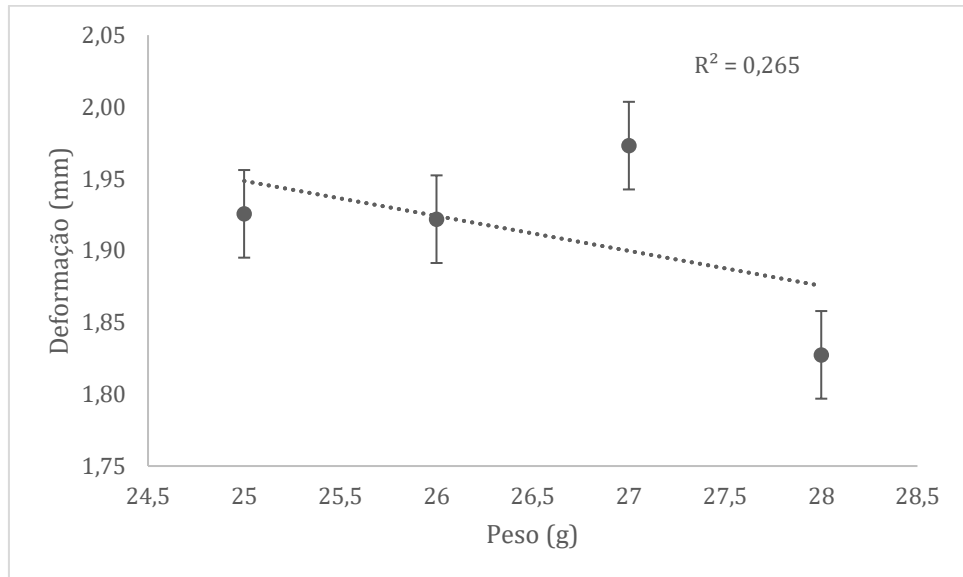
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 7 - Diagrama de dispersão entre peso e médias da resistência



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 8 - Diagrama de dispersão entre peso e médias da deformação



Fonte: elaborada pelo autor

Através da análise dos diagramas de dispersão (Figuras 4 e 5), observa-se que a temperatura parece ter um forte efeito negativo sob a resistência, ou seja, para maiores temperaturas observa-se menores resistências. No entanto, a temperatura parece não ter correlação com a deformação. Ao analisar o diagrama de dispersão Peso x Resistência (Figuras 6) observa-se também alguma correlação, no entanto positiva e mais fraca. A Figura 7 sugere que não há correlação entre peso e deformação.

Novamente, pode-se aplicar o teste de correlação de Pearson, para verificar a existência e a direção das correlações entre as variáveis resposta e os fatores. A Tabela 3 apresenta os valores do coeficiente (r) para cada fator em relação às variáveis resposta.

Tabela 3 - Correlação entre fatores e variáveis resposta

	Resistência	Deformação
Temperatura	-0,75	-0,05
Peso	0,46	-0,33

Fonte: elaborada pelo autor

A partir do teste de correlação, observa-se que, de fato, a temperatura tem um forte efeito negativo sob a resistência, no entanto parece não interferir na taxa de deformação. O peso, por outro lado, parece apresentar efeito moderado positivo e fraco negativo para a resistência e a deformação, respectivamente.

Desta forma, a partir destas observações, cada variável resposta pode ser estudada separadamente em relação aos dois fatores.

#### 4.1 ESTATÍSTICA COMPARATIVA – ANOVA

Para a estatística de teste, define-se as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : Não há diferença nas médias populacionais
- $H_1$ : Há diferença nas médias populacionais, ou seja, as diferenças são estatisticamente significativas

Com nível de significância ( $\alpha$ ) = 0,05, define-se que, para:

- valor-p < 0,05 rejeita-se  $H_0$ , portanto a diferença entre algumas das médias é estatisticamente significativa
- valor-p > 0,05 não se rejeita  $H_0$ , portanto não há evidências de que exista diferença estatisticamente significativa entre as médias.

Ou seja, se o p-valor for menor ou igual ao nível de significância definido acima, a hipótese nula ( $H_0$ ) é rejeitada e, portanto, há evidências de que as médias da população apresentam diferenças significativas. No entanto, se o p-valor for maior que o nível de significância não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula e pode ser que não haja diferença entre as médias.

#### 4.1.1 Análise de Variância - Resistência

Os testes de correlação realizados anteriormente, indicaram que peso e temperatura afetam a resistência do material. Desta forma, construiu-se uma tabela ANOVA fator duplo com repetição, visto que há mais de uma observação para um mesmo grupo. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de variância para a resistência em função de peso e temperatura

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Temperatura	0,513	4	0,128	40,314	$1,575 \cdot 10^{-13}$	2,606
Peso	0,237	3	0,079	24,860	$3,035 \cdot 10^{-9}$	2,839
Interação	0,029	12	0,002	0,771	0,675	2,003
Dentro	0,127	40	0,003			
Total	0,90622	59				

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir das hipóteses definidas, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , conclui-se que a temperatura e o peso têm influência na média da resistência, ou seja, há diferença entre as médias para alguns grupos. No entanto, não há interação entre estes dois fatores (valor-p = 0,675)

A fim de determinar quais tratamentos possuem médias estatisticamente diferentes aplicou-se o teste de Tukey, descrito na seção 2.4. O valor de q tabelado para 5 médias e 43 graus de liberdade do resíduo a 5% de probabilidade é de 4,04 e o DMS obtido a partir do q tabelado, QME de 0,003 e 12 observações por tratamento foi de 0,06. Desta forma, para  $|q \text{ calculado}| \geq 0,06$  pode-se concluir que as médias diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%. Os resultados do teste são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teste de Tukey para as médias de resistência em relação à temperatura

Contrastes	q calculado	Conclusão
T1 - T2	0,07	Difere
T1 - T3	0,15	Difere
T1 - T4	0,20	Difere
T1-T5	0,26	Difere
T2-T3	0,07	Difere
T2-T4	0,13	Difere
T2-T5	0,19	Difere
T3-T4	0,06	Difere
T3-T5	0,11	Difere
T4-T5	0,06	Difere

Fonte: elaborada pelo autor

O mesmo procedimento foi aplicado para as médias da resistência em relação ao peso. O valor de q tabelado para 4 médias e 42 graus de liberdade do resíduo a 5% de probabilidade é de 3,79 e o DMS obtido a partir do q tabelado, QME de 0,003 e 15 observações por tratamento foi de 0,05. Desta forma, para  $|q \text{ calculado}| \geq 0,05$  pode-se concluir que as médias diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%. Os resultados do teste são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Teste de Tukey para as médias de resistência em relação ao peso

Contrastes	q calculado	Conclusão
P1-P2	0,04	Não difere
P1-P3	0,15	Difere
P1-P4	0,14	Difere
P2-P3	0,11	Difere
P2-P4	0,09	Difere
P3-P4	0,02	Não difere

Fonte: elaborada pelo autor

Assim, a média da resistência apresenta diferença estatisticamente significativas entre todas as temperaturas e só não difere entre os pares P1-P2 e P3-P4.

Para entender o quanto o peso e a temperatura estão relacionados com a variável resistência, pode-se construir um modelo de regressão utilizando os fatores de maneira codificada entre -1 e 1. A Tabela 7, mostra a ANOVA de regressão, bem como os coeficientes para cada fator.

Tabela 7 - Modelo de regressão para a resistência

ANOVA					
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	0,702	0,351	98,080	$3,512.10^{-19}$
Resíduo	57	0,204	0,003		
Total	59	0,906			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	3,54	0,008	458,285	$2,4.10^{-103}$
Temperatura	-0,13	0,011	-11,945	$3,8.10^{-17}$
Peso	0,08	0,010	7,318	$9,4.10^{-10}$

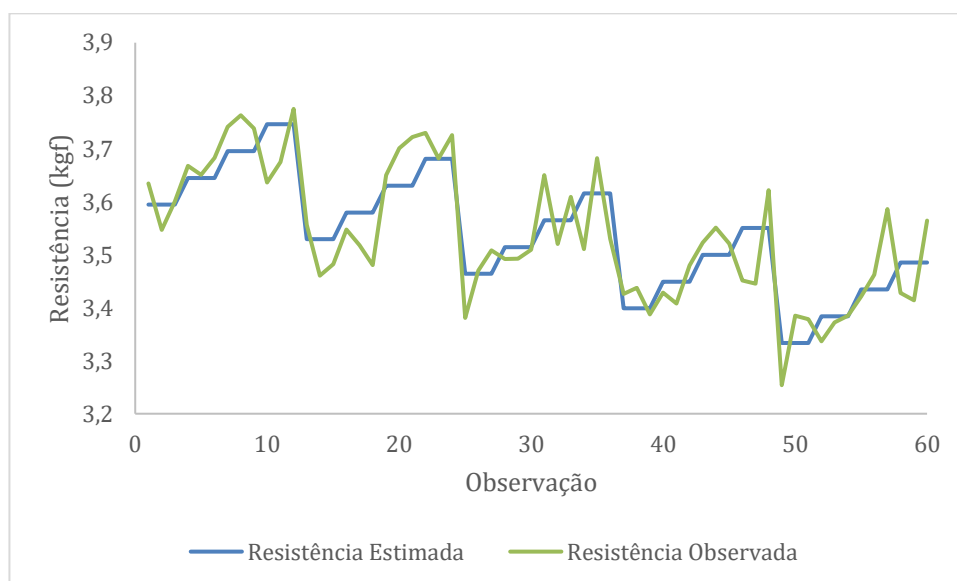
Fonte: elaborada pelo autor

Através do modelo construído pode-se definir que:

$$R = 3,54 - 0,13T + 0,08P$$

Onde T e P representam os níveis dos fatores codificados para temperatura e peso, respectivamente. Como já era previsto pelo teste de correlação de Pearson, a temperatura possui um efeito contundente e negativo sob a resistência, enquanto o peso possui efeito moderado e positivo. O modelo está bem ajustado, ou seja, a resistência observada está bem próxima da resistência estimada, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Relação entre resistência estimada e observada



Fonte: elaborada pelo autor



#### 4.1.2 Análise de Variância – Deformação

Os testes de correlação realizados anteriormente indicam que apenas o peso influencia na média da taxa de deformação. De fato, a Tabela 8 confirma esta hipótese.

Tabela 8 - Análise de variância para a deformação em função de peso e temperatura

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Temperatura	0,028	4	0,007	1,480	0,226	2,606
Peso	0,167	3	0,056	11,825	1,1.10 <sup>-5</sup>	2,839
Interação	0,033	12	0,003	0,586	0,840	2,003
Dentro	0,189	40	0,005			
Total	0,417	59				

Fonte: elaborada pelo autor

Pelo teste de Tukey para as médias da deformação em relação ao peso, o valor de q tabelado para 4 médias e 42 graus de liberdade do resíduo a 5% de probabilidade é de 3,79 e o DMS obtido a partir do q tabelado, QME de 0,005 e 15 observações por tratamento foi de 0,07. Desta forma, como mostrado na Tabela 9, para  $|q \text{ calculado}| \geq 0,07$  conclui-se que há pares de médias que diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5%.

Tabela 9 -Teste de Tukey para as médias de deformação em relação ao peso

Contrastes	q calculado	Conclusão
P1-P2	0,00	Não difere
P1-P3	0,05	Não difere
P1-P4	0,10	Difere
P2-P3	0,05	Não difere
P2-P4	0,09	Difere
P3-P4	0,15	Difere

Fonte: elaborada pelo autor

Desta forma, a média da deformação apresenta diferença estatisticamente significativa entre P1, P2 e P3 em relação a P4.

Pode-se ainda propor um modelo baseado neste fator para entender como a deformação varia de acordo com o peso. A Tabela 10, mostra a ANOVA de regressão e o coeficiente para esta variável.

Tabela 10 - Modelo de regressão para a deformação

ANOVA					
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	0,048	0,023	3,507	0,037
Resíduo	57	0,378	0,006		
Total	59	0,417			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	1,911	0,010	183,379	$1,08 \cdot 10^{-80}$
Temperatura	-0,006	0,015	-0,406	0,686
Peso	-0,037	0,014	-2,617	0,011

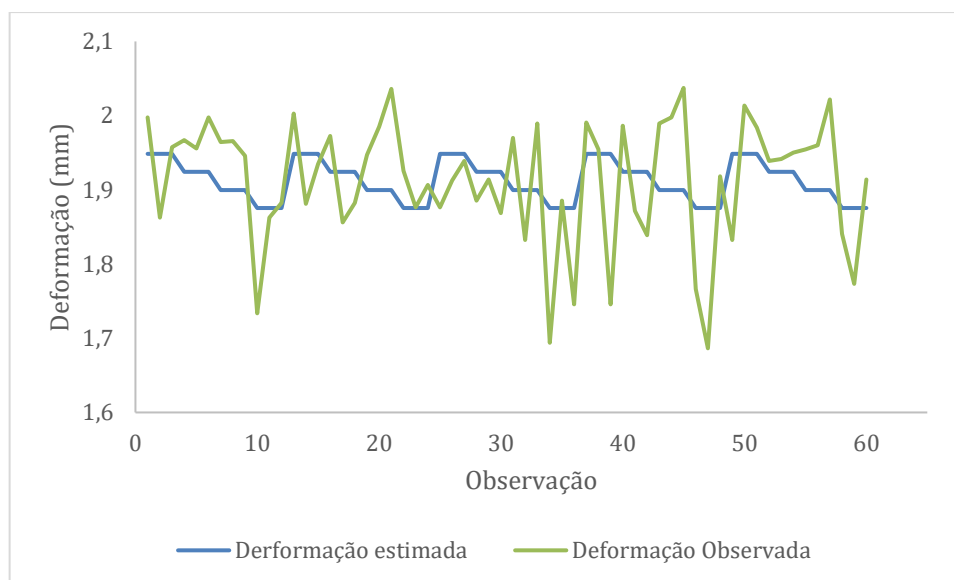
Fonte: elaborada pelo autor

Segundo o modelo, a deformação varia de acordo com a equação:

$$D = 1,91 - 0,04P$$

Onde P representa os níveis codificados para o fator peso. A relação entre os valores observados e os valores esperados para a deformação segundo o modelo são mostrados na Figura 10.

Figura 10 - Relação entre deformação estimada e observada

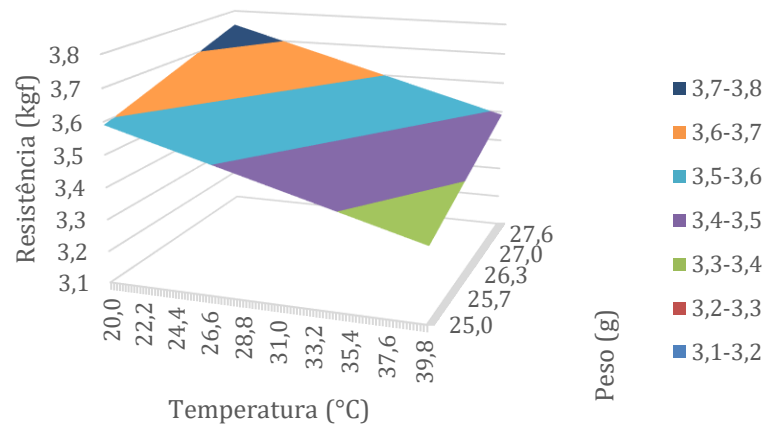


Fonte: elaborada pelo autor

## 4.2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS MODELOS

Através dos coeficientes obtidos a partir do modelo de regressão para a resistência (seção 4.1.1), foi possível obter uma superfície de resposta para a resistência em função do peso e da temperatura, apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Superfície de resposta para a resistência em função do peso e da temperatura

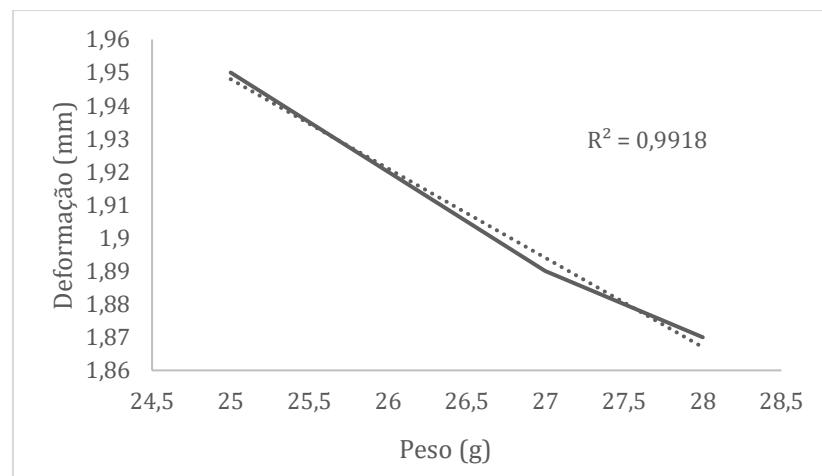


Fonte: elaborada pelo autor

É possível notar que valores mais altos de resistência são obtidos para maiores pesos e menores temperaturas. Assim como as análises prévias indicaram, a resistência possui uma correlação positiva com o peso e negativa com a temperatura. Desta forma, uma embalagem exposta a altas temperaturas não deve ter seu peso reduzido, uma vez que a combinação destes fatores em níveis alto e baixo, respectivamente, acarreta numa diminuição da resistência podendo levar a um colapso da embalagem e danos ao produto ali armazenado.

Através dos coeficientes obtidos a partir do modelo de regressão para a deformação (seção 4.1.2), foi possível obter uma reta, apresentada na Figura 12, que descreve o comportamento da deformação em função do peso da embalagem. É possível notar que embalagens mais leves sofrem maiores deformações.

Figura 12 - Representação gráfica da deformação em função do peso da embalagem



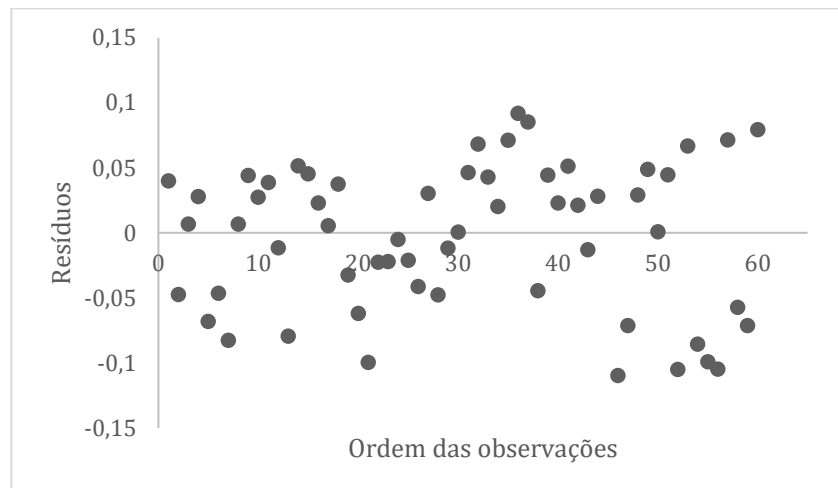
Fonte: elaborada pelo autor

### 4.3 ANÁLISE DIAGNÓSTICA

Após a realização dos testes é importante verificar se as suposições do modelo são atendidas para que a distribuição do teste obtida a partir da análise de variância e dos testes de comparação múltipla sejam validadas. O modelo supõe que os erros não observáveis são independentes, possuem distribuição normal e são homocedásticos (possuem todos a mesma variância).

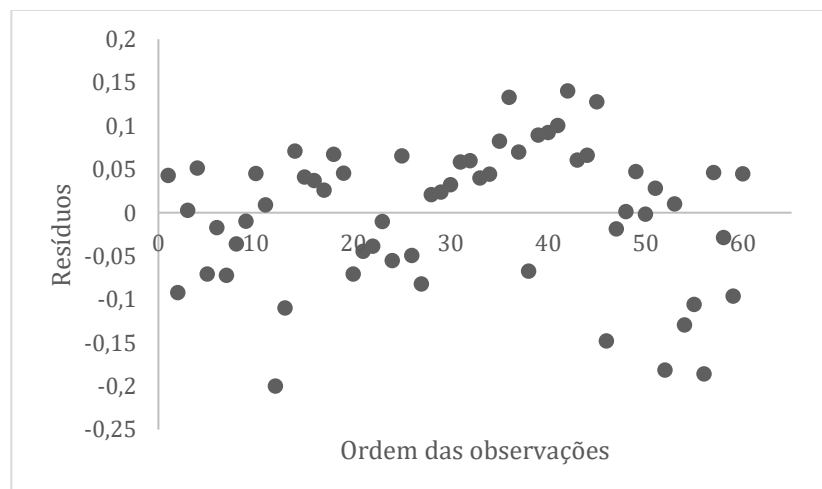
A independência dos erros pode ser verificada a partir de um gráfico de resíduos versus ordem das observações, como os mostrados nas Figuras 13 e 14. Como a distribuição apresenta um padrão aleatório, não há evidências de desvio da hipótese de independência.

Figura 13 - Gráfico de resíduos para o modelo da resistência



Fonte: elaborada pelo autor

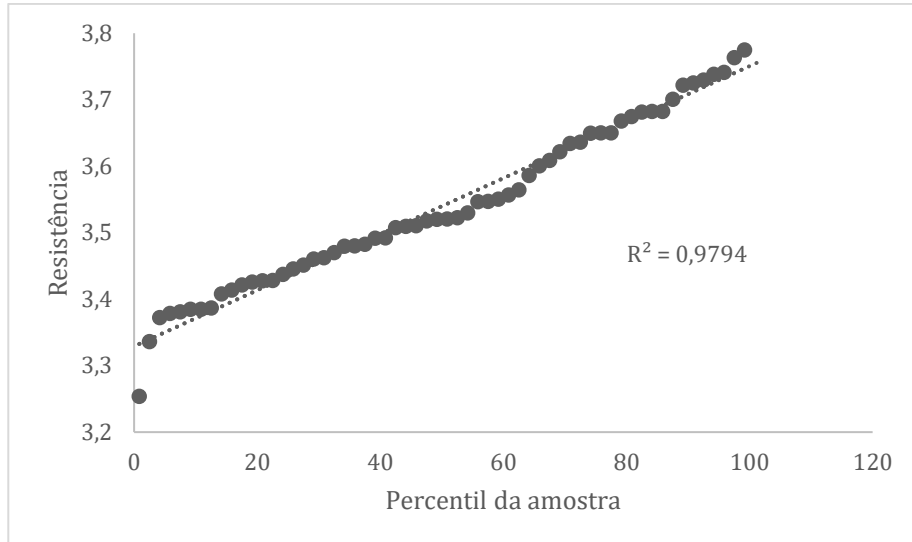
Figura 14 - Gráfico de resíduos para o modelo da deformação



Fonte: elaborada pelo autor

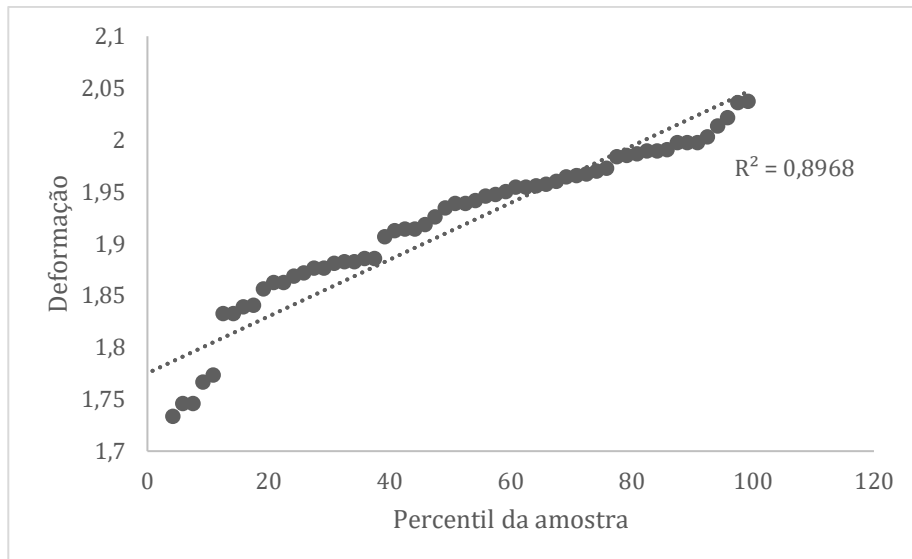
A suposição de normalidade pode ser testada através de um gráfico de probabilidade normal. As Figuras 15 e 16 não sugerem desvio da hipótese de normalidade, já que os pontos obtidos se aproximam de uma reta.

Figura 15 - Gráfico de probabilidade normal para o modelo da resistência



Fonte: elaborada pelo autor

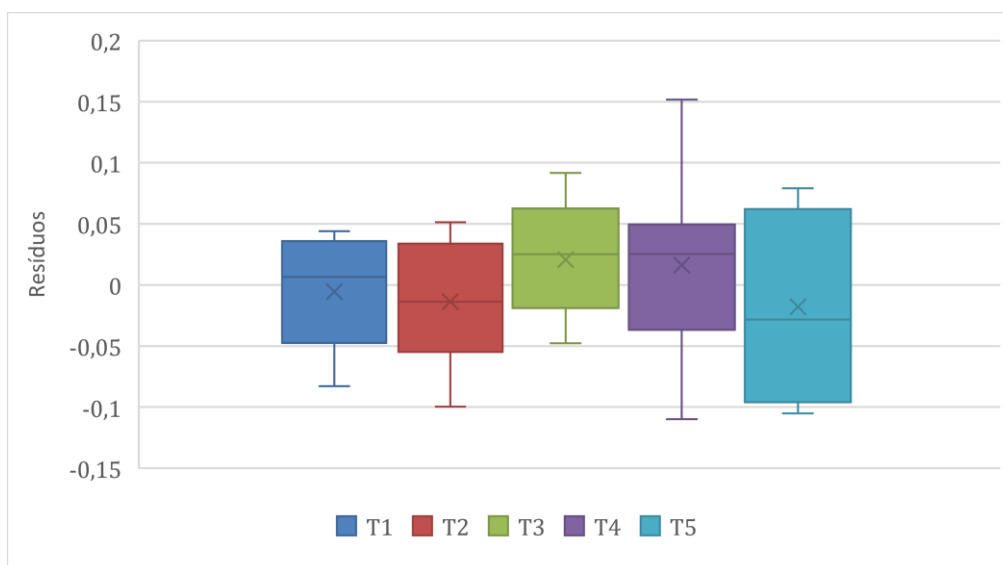
Figura 16 - Gráfico de probabilidade normal para o modelo da deformação



Fonte: elaborada pelo autor

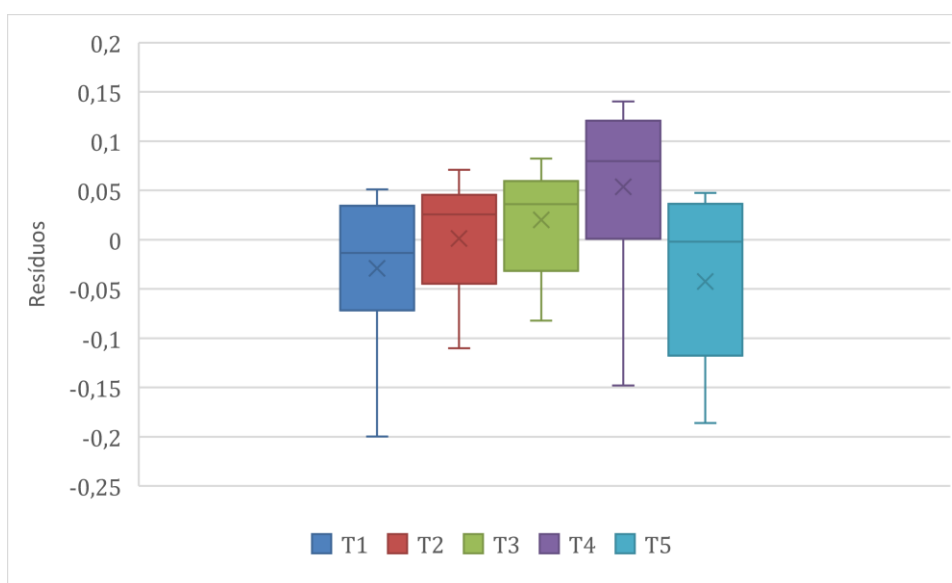
Por fim, a hipótese de homoscedasticidade supõe que os erros possuem a mesma variância, esta pode ser testada através de Box Plots dos resíduos separados por fatores, como os mostrados nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 - Box Plot Resíduos vs Temperatura para o modelo da resistência



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 18 - Box Plot Resíduos vs Temperatura para o modelo da deformação



Fonte: elaborada pelo autor

Os box plots sugerem que os resíduos dos modelos de resistência e deformação possuem variância parecida. O teste de Cochran, apresentado na seção 2.5, pode comprovar esta suposição.

A maior variância observada entre os resíduos para o modelo da resistência é de 0,01 e a soma das variâncias é igual a 0,063. A estatística para o teste de Cochran (C), calculado a partir da razão entre a maior variância e a soma das variâncias é de

0,158. Para o modelo da deformação, a maior variância observada foi de 0,017, a soma das variâncias igual a 0,091 e estatística (C) calculada foi de 0,193. Como C tabelado para 20 tratamentos com 3 réplicas é de 0,275 tem-se que  $C \text{ calculado} < C \text{ tabelado}$ , então os dados são homocedásticos.

Desta forma, todas as suposições são atendidas e os modelos propostos para resistência e deformação são válidos.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou avaliar como a temperatura de estocagem e o peso de uma embalagem de polietileno de alta densidade afetam na média da resistência a compressão e deformação.

Para isso, dois objetivos principais foram estabelecidos. O primeiro, entender como as variáveis se relacionavam e o segundo, definir quais fatores afetavam de maneira significativa as médias das variáveis respostas. O teste de correlação de Pearson serviu de base para concluir que as variáveis resposta, resistência e deformação, não tinham correlação entre si e, portanto, poderiam ser analisadas separadamente.

As análises de variância mostraram que temperatura e peso influenciam na média da resistência, de forma que maiores valores para esta variável são obtidos quando peso e temperatura estão em nível alto e baixo, respectivamente. Para a deformação, apenas o peso foi significativo e menores médias para esta variável podem ser obtidos quando o peso se encontra em nível alto.

Desta forma, é indicado que apenas embalagens não expostas a altas temperaturas tenham seu peso reduzido, uma vez que a combinação de menor peso e maior temperatura resulta em menores resistências e maior deformação, podendo causar danos à embalagem e ao produto acomodado.



## REFERÊNCIAS

- B. GUIMARÃES, P. R. Análise de Regressão. **Repositório UFPR**, Paraná. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~jomarc/regressao.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2022.
- BRITTO FIGUEIREDO FILHO, D.; DA SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson. **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- BUSSAB, W. D. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 6ª. ed. [S.l.]: Editora Saraiva, 2010.
- COOPER, I. Plastics and chemical migration into food. In: KAREN A. BARNES, C. R. S. D. H. W. **Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition**. Inglaterra: Woodhead Publishing, 2007. Cap. 10, p. 228-250. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845690298500107](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845690298500107)>.
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para windows**. Porto Alegre: ArtMed, 2006.
- GONÇALVES, E. Termofixos e Termoplásticos. **CCDM DEMa UFSCar**, 12 ago. 2021. Disponível em: <<http://www.ccdm.ufscar.br/2021/08/12/termofixos-e-termoplasticos/>>. Acesso em: 29 jul. 2022.
- INC, I. T. W. Produtos. **Instron**, 2019. Disponível em: <<https://www.instron.com/pt-br/products>>. Acesso em: 10 Set 2022.
- MENDES, L. Polímeros e aplicações em embalagens. In: EMBALAGENS, I. D. **Embalagens: design, materiais, processos e máquinas**. Barueri: CIP Brasil, 2009. Cap. 3.4, p. 136-138.
- OLIVEIRA, B.; FARIA, B. Como interpretar uma análise de variância. **StatPlace**, 2019. Disponível em: <<https://statplace.com.br/blog/como-interpretar-analise-de-variacao-anova/>>. Acesso em: 09 ago. 2022.
- OLIVEIRA, L. M.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. C. **Embalagens Plásticas Rígidas: principais polímeros e avaliação da qualidade**. Campinas: CETEA/ITAL, 2008.
- PACÍFICO MANFRIM PERTICARRARI, A. L. Teste de Comparação de médias. **Unesp FCAV**. Disponível em: <<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/cienciasexatas/AMANDALIZPACIFICOMANFRIM/aula-7.pdf>>. Acesso em: 11 Ago. 2022.
- PATEL, R. M. Polyethylene. In: PATEL, R. M. **Multilayer Flexible Packaging**. Texas: William Andrew Publishing, 2016. p. 17-34.

PEREIRA FILHO, E. R. **Planejamento Fatorial em Química: Maximizando a obtenção de resultados**. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

PLEION. Conheça os diferentes tipos de plásticos. **Pleion Bioplass**, 29 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.pleion.com.br/blog/index.php/limpeza-domestica/tipos-de-plasticos/>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

R. DA SILVA, A. Tabelas das principais distribuições de probabilidade. **Anderson R. da Silva**. Disponível em: <<http://arsilva.weebly.com/tabelas-das-distribucioes.html>>. Acesso em: 29 Ago. 2022.

ROSSI, F.; MIRTICHEV, V. **Statistics for food Scientists: making sense of the numbers**. Illinois: Elsevier, 2016.

S. WITTE, R.; S. WITTE, J. **Statistics**. 10<sup>a</sup>. ed. California, São Francisco: Wiley, 2013.

SEAMAN,. Plastics by the Numbers. **Eartheasy**, 2020. Disponível em: <<https://learn.eartheasy.com/articles/plastics-by-the-numbers/>>. Acesso em: 25 jul 2022.

VIEIRA, M. C. Polietileno (PE). In: EMBALAGENS, I. D. **Embalagens: design, materiais, processos e máquinas**. Barueri: CIP Brasil, 2009. p. 147-152. X. [S.l.]: [s.n.].

## ANEXO A – Tabela de TUKEY a 5% de probabilidade

$n_1$  = número de médias.

$n_2$  = número de graus de liberdade do resíduo.

$n_1 \backslash n_2$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	24	30	40	60	80	100
1	17,97	26,98	32,82	37,08	40,41	43,12	45,40	47,36	49,07	50,59	51,96	53,19	54,32	55,36	56,32	57,21	58,04	58,82	59,55	62,11	65,14	68,91	73,96	77,39	79,97
2	6,08	8,33	9,80	10,88	11,73	12,43	13,03	13,54	13,99	14,40	14,76	15,09	15,39	15,67	15,92	16,16	16,38	16,59	16,78	17,46	18,25	19,22	20,46	21,26	21,85
3	4,50	5,91	6,82	7,50	8,04	8,48	8,85	9,18	9,46	9,72	9,95	10,15	10,35	10,52	10,69	10,84	10,98	11,11	11,24	11,68	12,21	12,86	13,74	14,33	14,78
4	3,93	5,04	5,76	6,29	6,71	7,05	7,35	7,60	7,83	8,03	8,21	8,37	8,52	8,66	8,79	8,91	9,03	9,13	9,23	9,58	10,00	10,53	11,24	11,73	12,10
5	3,64	4,60	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,80	6,99	7,17	7,32	7,47	7,60	7,72	7,83	7,93	8,03	8,12	8,21	8,51	8,87	9,33	9,95	10,37	10,69
6	3,46	4,34	4,90	5,30	5,63	5,90	6,12	6,32	6,49	6,65	6,79	6,92	7,03	7,14	7,24	7,34	7,43	7,51	7,59	7,86	8,19	8,60	9,16	9,55	9,84
7	3,34	4,16	4,68	5,06	5,36	5,61	5,82	6,00	6,16	6,30	6,43	6,55	6,66	6,76	6,85	6,94	7,02	7,10	7,17	7,42	7,73	8,11	8,63	8,99	9,26
8	3,26	4,04	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92	6,05	6,18	6,29	6,39	6,48	6,57	6,65	6,73	6,80	6,87	7,11	7,40	7,76	8,25	8,59	8,84
9	3,20	3,95	4,41	4,76	5,02	5,24	5,43	5,59	5,74	5,87	5,98	6,09	6,19	6,28	6,36	6,44	6,51	6,58	6,64	6,87	7,14	7,49	7,96	8,28	8,53
10	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,30	5,46	5,60	5,72	5,83	5,93	6,03	6,11	6,19	6,27	6,34	6,40	6,47	6,69	6,95	7,28	7,73	8,04	8,28
11	3,11	3,82	4,26	4,57	4,82	5,03	5,20	5,35	5,49	5,61	5,71	5,81	5,90	5,98	6,06	6,13	6,20	6,27	6,33	6,54	6,79	7,11	7,55	7,85	8,07
12	3,08	3,77	4,20	4,51	4,75	4,95	5,12	5,27	5,39	5,51	5,61	5,71	5,80	5,88	5,95	6,02	6,09	6,15	6,21	6,41	6,66	6,97	7,39	7,69	7,91
13	3,06	3,73	4,15	4,45	4,69	4,88	5,05	5,19	5,32	5,43	5,53	5,63	5,71	5,79	5,86	5,93	5,99	6,05	6,11	6,31	6,55	6,85	7,27	7,55	7,77
14	3,03	3,70	4,11	4,41	4,64	4,83	4,99	5,13	5,25	5,36	5,46	5,55	5,64	5,71	5,79	5,85	5,91	5,97	6,03	6,22	6,46	6,75	7,16	7,44	7,65
15	3,01	3,67	4,08	4,37	4,59	4,78	4,94	5,08	5,20	5,31	5,40	5,49	5,57	5,65	5,72	5,78	5,85	5,90	5,96	6,15	6,38	6,67	7,07	7,34	7,55
16	3,00	3,65	4,05	4,33	4,56	4,74	4,90	5,03	5,15	5,26	5,35	5,44	5,52	5,59	5,66	5,73	5,79	5,84	5,90	6,08	6,31	6,59	6,98	7,25	7,46
17	2,98	3,63	4,02	4,30	4,52	4,70	4,86	4,99	5,11	5,21	5,31	5,39	5,47	5,54	5,61	5,67	5,73	5,79	5,84	6,03	6,25	6,53	6,91	7,18	7,38
18	2,97	3,61	4,00	4,28	4,49	4,67	4,82	4,96	5,07	5,17	5,27	5,35	5,43	5,50	5,57	5,63	5,69	5,74	5,79	5,98	6,20	6,47	6,85	7,11	7,31
19	2,96	3,59	3,98	4,25	4,47	4,65	4,79	4,92	5,04	5,14	5,23	5,31	5,39	5,46	5,53	5,59	5,65	5,70	5,75	5,93	6,15	6,42	6,79	7,05	7,24
20	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,90	5,01	5,11	5,20	5,28	5,36	5,43	5,49	5,55	5,61	5,66	5,71	5,89	6,10	6,37	6,74	6,99	7,19
22	2,93	3,55	3,93	4,20	4,41	4,58	4,72	4,85	4,96	5,06	5,14	5,23	5,30	5,37	5,43	5,49	5,55	5,60	5,65	5,82	6,03	6,29	6,65	6,90	7,09
24	2,92	3,53	3,90	4,17	4,37	4,54	4,68	4,81	4,92	5,01	5,10	5,18	5,25	5,32	5,38	5,44	5,49	5,55	5,59	5,76	5,97	6,23	6,58	6,82	7,01
26	2,91	3,51	3,88	4,14	4,35	4,51	4,65	4,77	4,88	4,98	5,06	5,14	5,21	5,28	5,34	5,40	5,45	5,50	5,55	5,72	5,92	6,17	6,52	6,76	6,94
28	2,90	3,50	3,86	4,12	4,32	4,49	4,62	4,74	4,85	4,94	5,03	5,11	5,18	5,24	5,30	5,36	5,41	5,46	5,51	5,67	5,87	6,12	6,46	6,70	6,88
30	2,89	3,49	3,85	4,10	4,30	4,46	4,60	4,72	4,82	4,92	5,00	5,08	5,15	5,21	5,27	5,33	5,38	5,43	5,47	5,64	5,83	6,08	6,42	6,65	6,83
40	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,63	4,73	4,82	4,90	4,98	5,04	5,11	5,16	5,22	5,27	5,31	5,36	5,51	5,70	5,93	6,26	6,48	6,65
60	2,83	3,40	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65	4,73	4,81	4,88	4,94	5,00	5,06	5,11	5,15	5,20	5,24	5,39	5,57	5,79	6,09	6,30	6,46
80	2,81	3,38	3,71	3,95	4,13	4,28	4,40	4,51	4,60	4,69	4,76	4,83	4,89	4,95	5,00	5,05	5,10	5,14	5,18	5,33	5,50	5,72	6,01	6,21	6,37
120	2,80	3,36	3,68	3,92	4,10	4,24	4,36	4,47	4,56	4,64	4,71	4,78	4,84	4,90	4,95	5,00	5,04	5,09	5,13	5,27	5,43	5,64	5,93	6,13	6,27
240	2,79	3,34	3,66	3,89	4,06	4,21	4,32	4,43	4,52	4,60	4,67	4,73	4,79	4,85	4,90	4,94	4,99	5,03	5,07	5,20	5,37	5,57	5,85	6,04	6,18
∞	2,77	3,31	3,63	3,86	4,03	4,17	4,29	4,39	4,48	4,55	4,62	4,69	4,74	4,80	4,85	4,89	4,94	4,98	5,01	5,15	5,30	5,50	5,77	5,95	6,09

Fonte: UNESP FCAV

## ANEXO B – Valores críticos para o teste de Cochran

Nível de significância de 5%

n \ k	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	17	37	145	∞
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8332	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071	0,6771	0,6530	0,6333	0,6167	0,6025	0,5466	0,4748	0,4031	0,3333
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365	0,5175	0,5017	0,4884	0,4366	0,3720	0,3093	0,2500
5	0,8413	0,6838	0,5931	0,5441	0,5065	0,4783	0,4564	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3066	0,2513	0,2000
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4194	0,3980	0,3817	0,3682	0,3568	0,3135	0,2612	0,2119	0,1667
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3974	0,3726	0,3535	0,3384	0,3299	0,3154	0,2756	0,2278	0,1833	0,1429
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2022	0,1616	0,1250
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2901	0,2768	0,2659	0,2568	0,2226	0,1820	0,1446	0,1111
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666	0,2541	0,2439	0,2353	0,2032	0,1655	0,1308	0,1000
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911	0,1815	0,1736	0,1671	0,1429	0,1144	0,0889	0,0667
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1501	0,1422	0,1357	0,1303	0,1108	0,0879	0,0675	0,0500
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1246	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1061	0,1002	0,0958	0,0921	0,0771	0,0604	0,0457	0,0333
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0827	0,0780	0,0745	0,0713	0,0595	0,0462	0,0347	0,0250
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0625	0,0583	0,0552	0,0520	0,0497	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0312	0,0292	0,0279	0,0266	0,0218	0,0165	0,0120	0,0083
∞	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

n = número de observações em cada um dos k grupos

Fonte: R. da Silva