

IMPACTO DO ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO NOS CUSTOS INDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM À ESTATÍSTICA INFERENCIAL E AO MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP-TOPSIS-2N

David de Oliveira Costa (UFF) dcosta.doc@gmail.com
Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) cfsg1@bol.com.br
Marcos dos Santos (IME) marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
Daniel Augusto de Moura Pereira (UFCG) danielmoura@ufcg.edu.br
Miguel Ângelo Lellis Moreira (UFF) miguellemellis@hotmail.com

Resumo

Considerando que a competitividade dos negócios, no cenário atual, é um elemento decisivo na busca de posicionamento do mercado, bem como de sobrevivência. Logo, a estratégia de manter custos em baixos níveis e sob controle, não impondo preços extras para garantir a margem de lucro e, equilibrar o custo de fabricação. O estudo de capacidade do processo tem esse objetivo: mapear o processo, identificar as variáveis críticas, entender a relação de causa-efeito entre as variáveis e o ponto de variação e estruturar um plano de ação de contenção e de melhoria. Assim, percebe-se a importância da fundamentação da estatística descritiva, gráfica e inferencial na aplicação de um processo de envase de bebidas, onde tem-se dois aspectos: se envasa líquido acima da especificação, o custo de fabricação pode se tornar inviável. De maneira que, se a quantidade de líquido for abaixo do especificado, a legislação vigente implicará em multas por órgãos de defesa do consumidor (PROCON) ou àqueles vinculados ao Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) e, Instituto de Pesos e Medidas (IPEM). Com isso, percebeu-se a eficácia desta dinâmica, como um elemento mitigador de possíveis causas que impactam no custo industrial. Um outro aspecto, é que esta proposta fundamenta a estruturação da tomada de decisão, que com auxílio do software *Minitab*, foi possível evidenciar a variável crítica do referido processo e assim, realizar uma abordagem a partir do método multicritério AHP-TOPSIS-2N, para ordenar as opções de fornecedores de componentes da linha de envase, baseado em critérios técnicos.

Palavras-chave: AHP-TOPSIS-2N, Capabilidade, Custos industriais, Método de Taguchi, Minitab.

1. Introdução

Noventa por cento das indústrias dos Estados Unidos da América, não sabem resolver problemas crônicos de qualidade (BHOTE, 1996). Essa era a realidade das indústrias americanas nos anos 1990, segundo descreveu Bhote (1996). Não obstante, o Brasil, em pleno século XXI (2022), ainda apresenta em sua estrutura, em empresas de grande expressão no mercado, uma situação similar vivenciada nos Estados Unidos. Um *benchmark* que deve ser seguido é o Japão, visto que suas tradições em metodologias de abordagens à estabilização do processo mostram robustez e geram resultados significativos. O histórico desse país, na perspectiva de Rotondaro (2008), é fruto do período pós-guerra, onde a referência de qualidade estava nas mãos dos americanos, com a utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP), mas no final dos anos 1960 o Japão conseguiu ultrapassar e, é um referencial global quando se aborda o tema Zero Defeito. Eles entenderam que a maturidade organizacional está diretamente ligada aos indicadores de qualidade da empresa e, assim sendo perseguem os pontos geradores da variação em qualquer processo (atividade).

Para Sanchez-Marquez e Jabaloyes Vivas (2021), o processo de criação do CEP, é fundamentado por ferramentas gráficas interdependentes e que requerem um elevado nível de especialização para se trabalhar de forma ampla. Essa junção do método, para obter o índice de capacidade, é estruturado pelo Teorema do Limite Central. O que se entende é que em cada fase que a empresa supera, inúmeros aprendizados são adquiridos e o ciclo da melhoria contínua se perpetua em sua cultura organizacional. Nesse entendimento, Bhote (1996) descreveu quatro estágios as quais as empresas poderão passar, dependendo do nível de maturidade corporativa;

i. Estágio 1: Inocência

Nesta fase a alta direção (liderança) enxerga a qualidade, bem como as suas atividades como um mal necessário;

ii. Estágio 2: Despertar

Aqui, a liderança entende que a qualidade é relevante ao negócio, mas ao mesmo tempo suas ponderações entre investimento necessário e o seu retorno esperado, demonstram claramente que o discurso e a prática são conflitantes;

iii. Estágio 3: Compromisso

Nesta etapa, a liderança entende que as atividades da qualidade fazem com que se gere percepção de valor aos clientes. Logo, a ênfase em desenvolvimento de processos, pessoas e equipamentos estão alinhados à estratégia do negócio;

iv. Estágio 4: Classe mundial

Esta é a fase de plenitude de uma corporação. Onde a qualidade é vista como um valor. E, assim sendo todos, independente de cargo ou função, estão alinhados e comprometidos com este valor.

2. Fundamentação teórica

2.1. Métodos Estatísticos: A Fundamentação da Tomada de Decisão

A estrutura analítica, em qualquer estudo, tem por objetivo o conhecimento acerca da respectiva base de dados e assim, gerar um aprendizado e com isso efetivar a tomada de decisão.

O conhecimento acerca dos principais métodos estatísticos utilizados em estudos de uma determinada área do conhecimento permite conhecer o desenho metodológico predominante, bem como os principais objetivos a serem testados, e verificar se há limitações no uso de métodos mais elaborados e atualizados. (COSTA e CASTRO, 2020).

Silva (2015) descreve que se pode definir a estatística em duas vertentes: A estatística descritiva e a estatística inferencial. A primeira, responsável pela estruturação da base de dados. Aquela em que tratará da coleta de dados, das características funcionais da amostra e pela apresentação desses dados. Já a estatística inferencial ou indutiva, abordará a parte refinada dessa base: A estimativa de parâmetros, baseada na respectiva base de dados e até mesmo gerar possíveis afirmações.

2.2. A Estatística Inferencial: Teste de hipótese

O teste de hipótese, no campo industrial, é uma referência para validação, inferência e comparação. Diferentemente, do pensamento de outras áreas do conhecimento, ao aplicar esse método, que geram desconfortos, no ambiente corporativo industrial é ferramenta essencial.

um importante periódico do campo da Psicologia recentemente banuiu o Teste de Hipótese e o conceito do valor-p de seus artigos, recomendando outras técnicas para a generalização dos resultados amostrais (os editores defendem que o que foi sempre feito deveria ser interrompido imediatamente, para o bem da Psicologia) BARTH e LOURENÇO, 2020).

Silva (2015) e Carpinetti (2012) entendem que o objetivo do teste de hipótese é validar ou rejeitar uma determinada afirmação sobre um parâmetro populacional específico. Assim, duas hipóteses são constituídas: A hipótese nula (H_0), objeto principal do questionamento. E a hipótese alternativa (H_a). O teste de hipótese, nesse caso específico o teste de hipótese para média, segue a seguinte axiomática:

$H_0: \mu \text{ volume especificado} = \mu \text{ média amostral}$

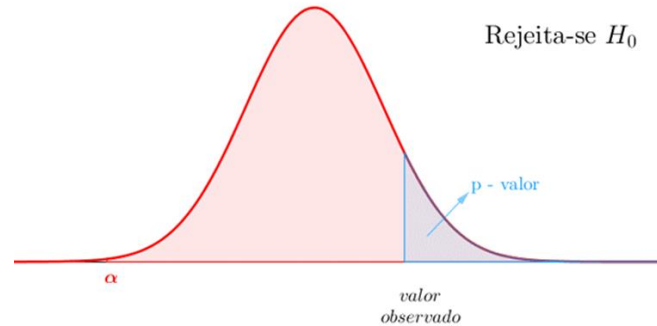
$H_a: \mu \text{ volume especificado} \neq \mu \text{ média amostral}$

$P\text{-value} < \alpha \text{ rejeita-se } H_0$

$P\text{-value} \geq \alpha \text{ não se rejeita } H_0$

α é o nível de significância, normalmente, aplica-se 5% (0,05) (figura1).

Figura 1: Análise do valor P e nível de significância



Fonte: Wikipédia (2022)

Com isso, há possibilidades de incorrer em erros. Esses, são conhecidos como: Erro Tipo I e Erro Tipo II (figura 2).

Figura 2: Tipos de erro (teste de hipótese)

Erros do tipo I		
Erro do Tipo I: Rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é verdadeira		
Erros do tipo II		
Erro do Tipo II: Não Rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é falsa		
Decisão	Se H_0 é verdadeira	Se H_0 é falsa
Rejeitar H_0	Erro do Tipo I	Nenhum erro
Não Rejeitar H_0	Nenhum erro	Erro do Tipo II

Fonte: Zibetti (2022)

2.3. Índice de Capacidade do Processo e a sua Relação com Custos

Entender a relação de capacidade do processo, de fato é validar se aquele determinado processo é capaz de atender especificações e requisitos impostos pelo cliente. Essa relação de equilíbrio determinará a viabilidade de um processo produtivo. Pois, se os índices de rejeição (refugo) ou de retrabalho estão acima do normal (aceitável), os custos desse determinado produtos ficará fora da realidade de mercado, o tornando inviável financeiramente.

2.4. Custos da Não Qualidade

Para entender e calcular o custo total da qualidade, a *British Standard BS 6143* (1990) estabeleceu a classificação dos termos e estruturação de custo de qualidade que devem ser segmentadas em categorias, sendo: custo de prevenção, avaliação, falha interna e falhas externas.

2.4.1. Custo da Prevenção

Entende-se por custo de prevenção, investimento em equipamentos e a fim de potencializar possíveis falhas ou desvio no processo de produção. Falconi (2017) afirma que altos custos estão relacionados a potenciais desperdícios.

2.4.2. Custo da Avaliação

Os custos relacionados à avaliação, podem ser entendidos como aquisição de instrumentos de medição, testes e ensaios (destrutivos) ao longo da linha de fabricação.

2.4.3. Custo da Falha

2.4.3.1. Falha Interna (defeitos e retrabalhos)

Todos os desperdícios deverão ser eliminados (FALCONI, 2017).

2.4.3.2. Falha Externa (recall, multas e indenizações)

As consequências de uma falha, quando sai das delimitações da empresa, têm dimensões muito maiores e um impacto alto para o negócio (a exemplo disso, o caso da Toyota). Esta, poderá manchar o nome da corporação no mercado e trazer consigo, impactos financeiros imensuráveis.

2.4.3.3. A Curva de Perda de Taguchi

Para Taguchi (1980), existe uma relação direta (proporcional) entre especificação do produto e, os respectivos custos (figura 4). De maneira que, quanto maior o afastamento da especificação, maior serão os custos atrelados (refugo, *recall*, indenizações etc.).

Pan *et al.* (2007) citam como o caso mais emblemático, que retrata a eficácia desse método, foi registrado na década de 1980, quando a Ford comparou duas transmissões de diferentes fornecedores. O fornecedor com menor variação, também teve menos reclamações de garantia, embora ambos os fornecedores atendessem às especificações. Logo, atender às especificações, nem sempre reduzirá os respectivos custos. É fundamental reduzir, ao máximo, a variação do processo. Esse pensamento poderá ser expresso pela equação matemática (equação 1).

Conhecida como a função de perda de Taguchi, que reflete a perda da qualidade.

$$L(y) = K(y - m)^2 \quad (1)$$

Onde:

K : é uma constante de proporcionalidade;

y : é a escala de especificação;

m : valor nominal (especificação);

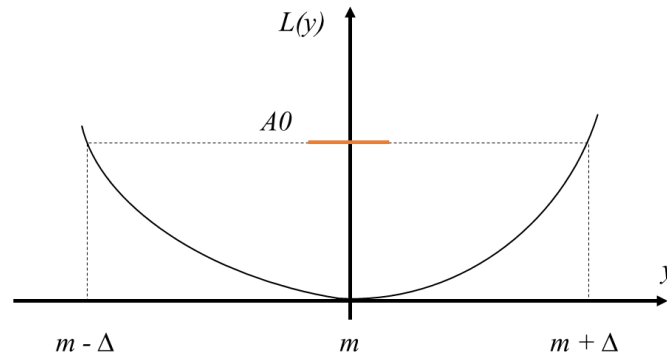
A_0 : máxima perda tolerada;

Δ : tolerância máxima (limites de especificação);

$L(y)$: a perda de qualidade.

A perda referente à qualidade tenderá a zero, quando $y = m$ (figura 3).

Figura 3: Função de perda de Taguchi



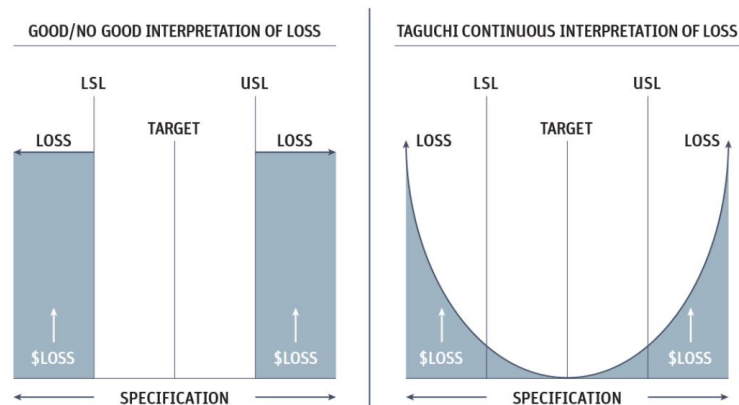
Fonte: Adaptado Machado e Schneider (1999)

Prates (2015) entende que os modelos de negócios tradicionais, não percebem que ao se afastar da especificação (target) as possibilidades de falhas tendem a surgir (figura 4) e, não havendo a devida tratativa preventiva o potencial de perdas financeiras são potencializadas. Entretanto deve se considerar que algumas situações o afastamento do target pode ser benéfico. Por exemplo:

- Uma liga que a impureza máxima aceitável seja 2%, um valor menor que 2% é “quanto menor melhor”.
- Um equipamento que a confiabilidade mínima seja 95%, um valor maior que 95% é “quanto maior melhor”.

No entanto, a variação nas especificações ainda pode levar a falhas do produto em campo. Isso aumenta o custo da garantia e a insatisfação do cliente. A Função de Perda de Taguchi descreve bem esse cenário. Ele afirma que qualquer variação do desempenho nominal começará a gerar insatisfação do cliente e custo para o produtor. (ESSS CONSULTORIA, 2022).

Figura 4: A percepção de qualidade tradicional e o modelo de Taguchi



Fonte: ESSS Consultoria (2022)

2.4.4. Método Multicritério AHP-TOPSIS-2N

Para Do Nascimento Maêda *et al.* (2021) trata-se de um método híbrido, onde estruturalmente é composto por duas técnicas de tomada de decisão multicritério (AHP e TOPSIS) muito utilizado em sistemas (objetivos múltiplos e conflitantes) de cenários complexos.

Gomes e Gomes (2019), entendem que para se utilizar os métodos já validados de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), é fundamental entender os distintos tipos de problemáticas:

- i. Problemática $P\alpha$ – objetiva esclarecer a decisão pela **escolha** de um subconjunto de Alternativas;
- ii. Problemática $P\beta$ – a ênfase nessa problemática é gerar uma **classificação**;
- iii. Problemática $P\gamma$ – o objetivo é, ao final, obter conforme preferências do(s) decisor(es) uma **ordenação** ou **ranking**.

Bozza *et al.* (2020), entende que este é um método robusto para fundamentar a tomada de decisão. Pois, considera os aspectos subjetivos que são mais complexas, por serem de caráter pessoal e difíceis de obter uma escala, na escolha de prioridades entre os critérios. O algoritmo TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) é uma técnica de avaliação de performance de alternativas através da similaridade da mesma com uma solução ideal (SANTOS, 2021).

Logo, pode-se afirmar que este método é a evolução do AHP-TOPSIS, que teve o seu desdobramento da junção dos métodos AHP (ponderação dos critérios) e o método TOPSIS (define o melhor desempenhos em cada critério). Para Barbosa, Santos e Gomes (2019), a proposta do AHP-TOPSIS-2N, se utiliza dessa estrutura adicionando dois procedimentos de normalização distintas (2N), onde são gerados dois resultados de ordenação.

Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios quanto as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica, sendo que no primeiro nível da hierarquia corresponde ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro as alternativas (SOUZA; GOMES; BARROS, 2018).

Krohling; Pacheco (2015) destacam que é fundamental identificar a solução ideal positiva D^+ (equação 2), para critérios de benefício, e a solução ideal negativa D^- (equação 3), para critérios de custo, considerando a fundamentação (equação 4 e equação 5);

$$D^+ = (p^{+1}, p^{+2}, \dots, p^{+n}) \quad (2)$$

$$D^- = (p^{-1}, p^{-2}, \dots, p^{-n}) \quad (3)$$

$$p_{j+} \begin{cases} \max_i(p_{ij}), \text{se critério for benefício} \\ \min_i(p_{ij}), \text{se critério for custo} \end{cases} \quad (4)$$

$$p_{j-} \begin{cases} \min_i(p_{ij}), \text{se critério for benefício} \\ \max_i(p_{ij}), \text{se critério for custo} \end{cases} \quad (5)$$

Gomes *et al.* (2020) definem como sendo uma técnica de avaliação de performances de alternativas, através da similaridade dela com uma solução ideal e levando em consideração a avaliação dos critérios, pelos decisores, de acordo com a Escala de Saaty. Araújo *et al.* (2022) entendem que, para definir a melhor alternativa, esta deverá se aproximar da *solução ideal* (D^+) e, ao mesmo tempo ser a alternativa mais distante da *solução não ideal* (D^-).

Em seguida, deve-se calcular, para cada alternativa A_i , a distância euclidiana de cada *rating* para o vetor de soluções positivas A^+ e para o vetor de soluções ideais negativo A^- .

De Souza Rocha Junior; Moreira; Dos Santos (2021) descreveram a axiomática deste método em formato de fluxo (figura 5) e, pode ser definido em oito etapas:

- i. Estruturação de alternativas e critérios (matriz de decisão);
- ii. Obtenção de pesos (AHP);
- iii. Definição do desempenho das alternativas;
- iv. Primeiro procedimento de normalização (N1);
- v. Segundo procedimento de normalização (N2);
- vi. Agregação (consolidado);
- vii. Cálculo das distâncias relativas;
- viii. Obtenção das soluções (ideal e não ideal).

Figura 5: Axiomática do método AHP-TOPSIS-2N

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

Axiomática do método AHP na perspectiva de Saaty (1980), dividido em etapas;

i. Formação da matriz de decisão

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

ii. Cálculo do autovetor

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^n w_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$$

iii. Cálculo da normalização dos autovetores

$$T = \frac{w_1}{\sum w_i}, \frac{w_2}{\sum w_i}, \frac{w_3}{\sum w_i}$$

iv. Índice que relaciona os critérios da matriz de consistência

$$\lambda_{\max} = T \cdot W$$

v. Índice de consistência (IC)

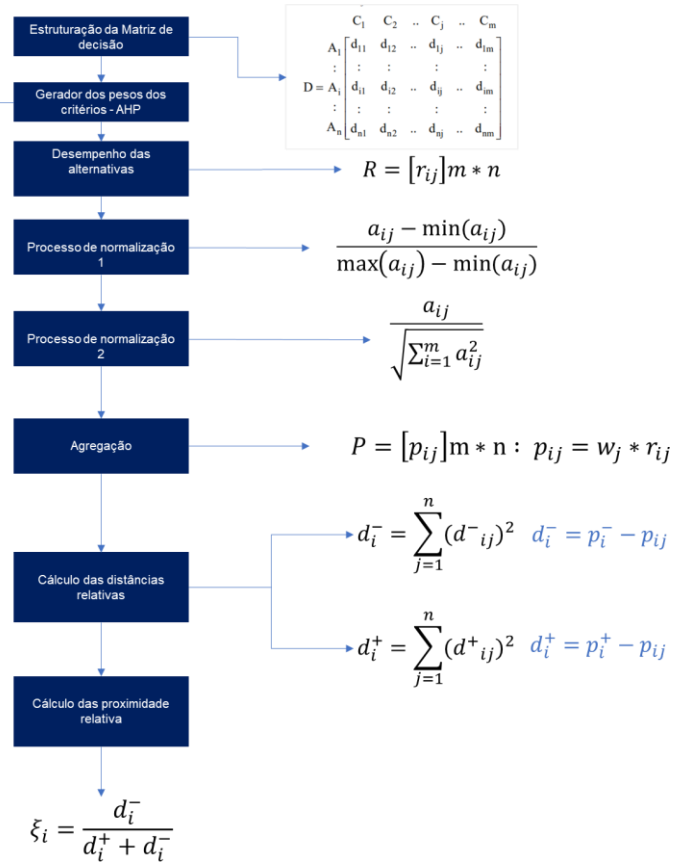
$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}$$

vi. Razão de consistência (RC)

$$RC = \frac{IC}{CA}$$

CA: índice de randômico para n

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59



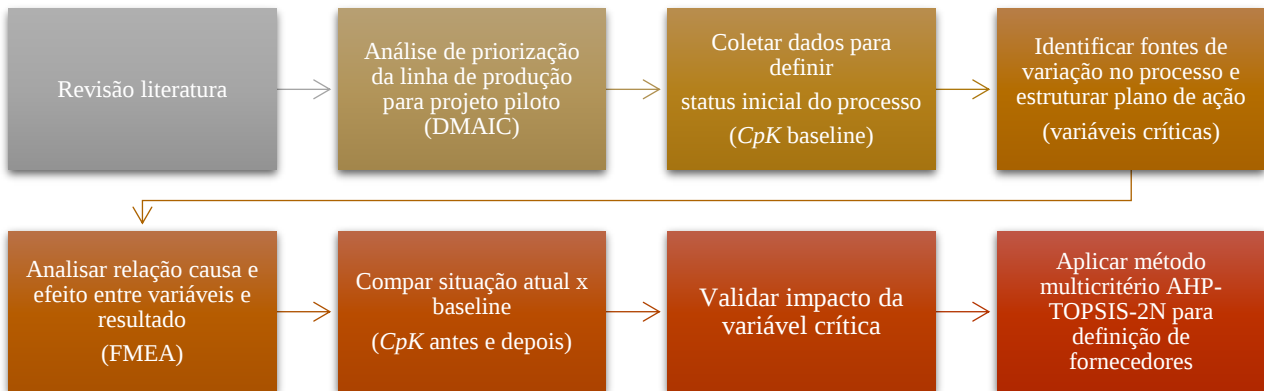
Fonte: Adaptado Santos (2021)

3. Metodologia

Para realização deste estudo, aplicou-se o princípio estrutural da metodologia DMAIC (figura 6), onde, inicialmente, realizou-se o mapeamento do processo, identificação da área crítica (objeto de estudo). Seguindo o conceito de priorização, devido à criticidade, a linha piloto foi atribuída e, assim aprofundou-se as coletas de dados e detalhamento das análises. Em seguida, após identificação da variável crítica e seus respectivos critérios técnicos elementares, utilizou-se dos conceitos do método multicritério AHP-TOPSIS-2N, para ordenação dos fornecedores qualificados.

Figura 6: Fluxo metodológico do artigo

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

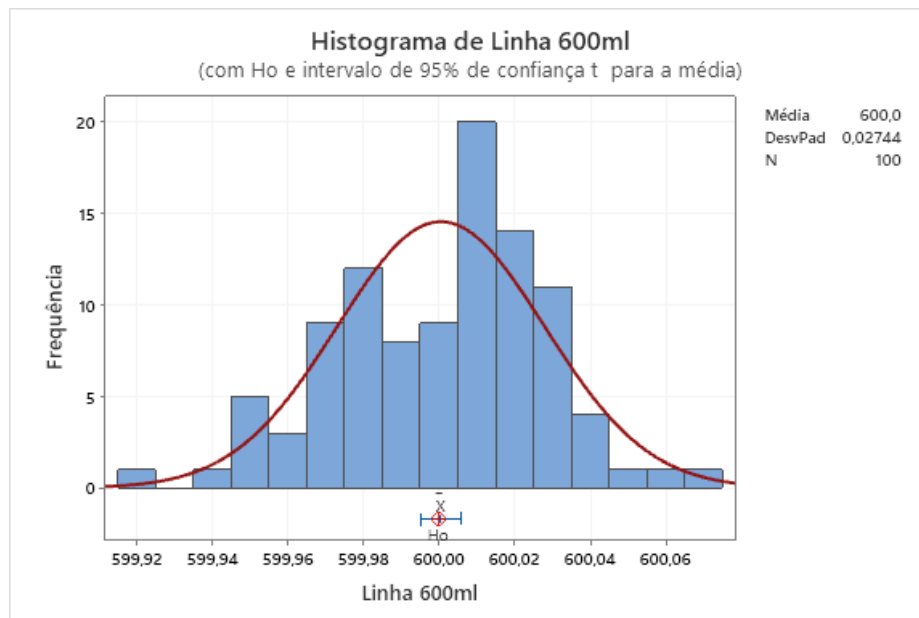


Fonte: Autores (2022)

4. Resultados e Discussão

Ao analisar o desempenho da Linha 600ml, percebe-se que há uma estabilidade no processo de envase. Onde a média está contida no intervalo de confiança H_0 e $\bar{x}$ (figura 7). Os dados apresentam um comportamento de distribuição normal (P -value: 0,078).

Figura 7: Análise desempenho – Linha 600ml



Fonte: Autores (2022)

Outra evidência poderá ser constatada pelo teste de hipótese da média (figura 8). Visto que o P -value encontrado foi 0,854 e, assim sendo maior que o nível de significância 0,05 (5%), não descarta a

hipótese nula (H_0). Logo, a média da amostra é igual a 600ml, atribui-se esta afirmação ao intervalo de confiança (IC) da respectiva média.

Figura 8: Teste de hipótese para média – Linha 600ml

Estatísticas Descritivas

N	Média	DesvPad	EP Média	IC de 95% para μ
100	600,001	0,027	0,003	(599,995; 600,006)

μ : média de população de Linha 600ml

Teste

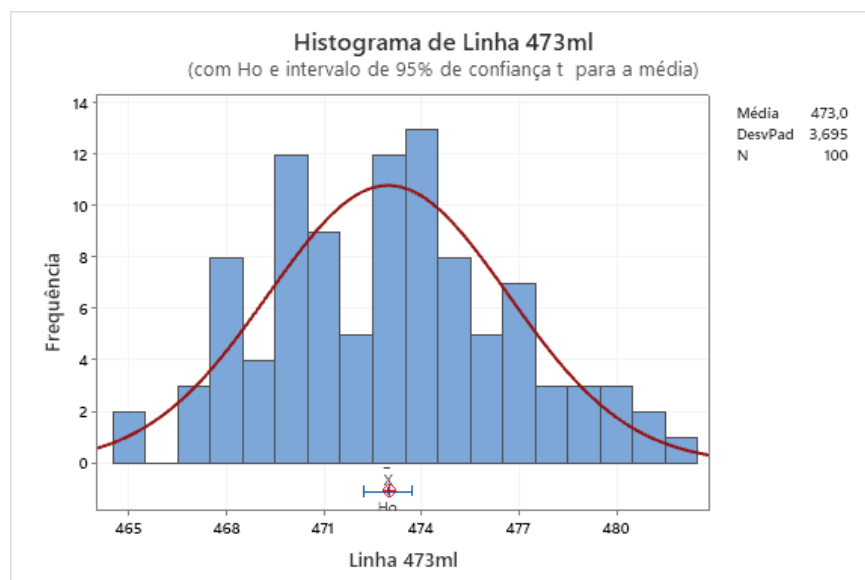
Hipótese nula	$H_0: \mu = 600$
Hipótese alternativa	$H_1: \mu \neq 600$

Valor-T	Valor-p
0,18	0,854

Fonte: Autores (2022)

As análises seguiram nas demais linhas de produção, para entender o comportamento e desempenho delas. Assim, ao analisar a linha de produção 473ml, percebeu-se uma adequada estabilidade do processo, ou seja, baixo desvio padrão e a concordância entre o H_0 e $\bar{x}$ (figura 9).

Figura 9: Análise desempenho – Linha 473ml



Fonte: Autores (2022)

Seguindo a análise da média, no teste de hipótese, constata-se que esta é igual a 473 ml, tendo o seu intervalo de confiança (IC) entre 472,2 ml e 473,7 ml, atendendo a respectiva especificação (figura 10).

Figura 10: Teste de hipótese para média – Linha 473ml

Estatísticas Descritivas

N	Média	DesvPad	EP Média	IC de 95% para μ
100	472,974	3,695	0,369	(472,241; 473,707)

μ : média de população de Linha 473ml

Teste

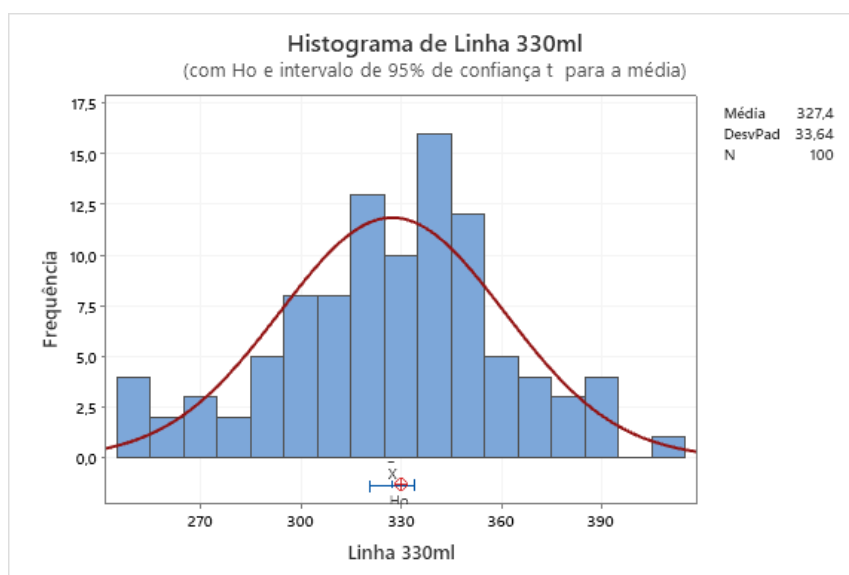
Hipótese nula $H_0: \mu = 473$
Hipótese alternativa $H_1: \mu \neq 473$

Valor-T	Valor-p
-0,07	0,945

Fonte: Autores (2022)

Quando analisada a linha de produção 330ml, percebe-se que mesmo a média estando contida no intervalo de confiança H_0 e $\bar{x}$ (figura 11), percebe-se que a média tende para o limite superior. Logo, o custo de envase tende a ser excessivo.

Figura 11: Análise desempenho – Linha 330ml



Fonte: Autores (2022)

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

No teste de hipótese, constata-se que o desvio padrão está acima do normal (33,64ml). Tal variação põe em risco o processo e, possíveis custos agregados por essa discrepância. O intervalo de confiança apresenta a sua abertura entre 320,68 ml e 334,03ml (figura 12).

Figura 12: Teste de hipótese para média – Linha 330ml

Estatísticas Descritivas

N	Média	DesvPad	EP Média	IC de 95% para μ
100	327,35	33,64	3,36	(320,68; 334,03)

μ : média de população de Linha 330ml

Teste

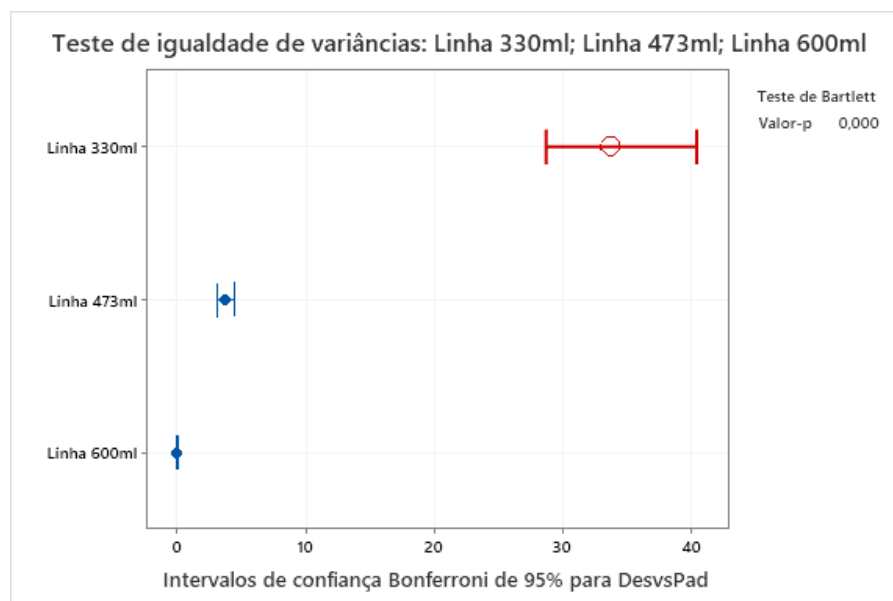
Hipótese nula $H_0: \mu = 330$
Hipótese alternativa $H_1: \mu \neq 330$

Valor-T	Valor-p
-0,79	0,433

Fonte: Autores (2022)

Assim, mediante aos resultados encontrados (figura 13), percebe-se que a linha de envase de 330ml, merece um aprofundamento de coleta e análise de dados.

Figura 13: Análise da variância entre as linhas de produção

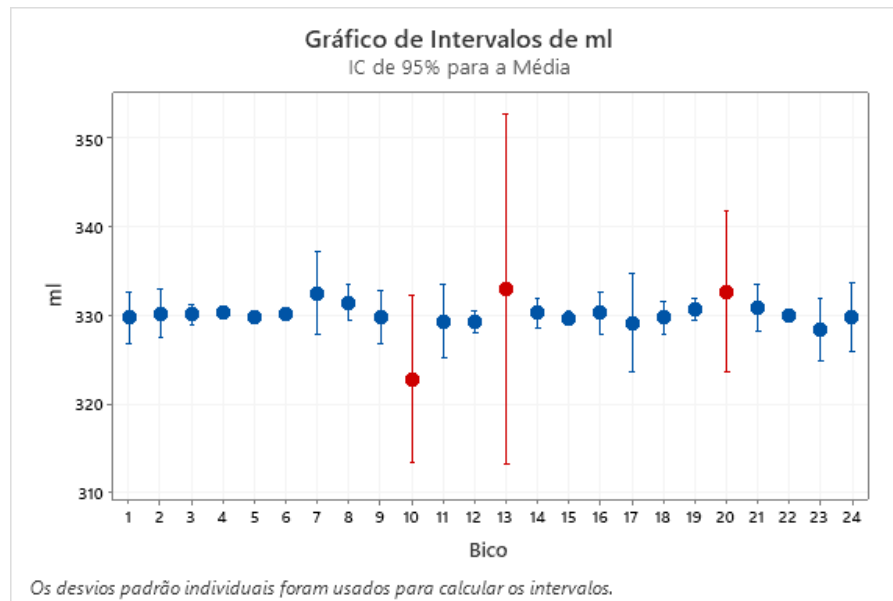


Fonte: Autores (2022)

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

Detalhando a análise, chegou-se ao entendimento que algumas posições do carrossel de enchimento, levam ao descontrole desse processo (figura 14). Assim, se identificou alta dispersão (variabilidade) nos respectivos bicos aplicadores: 10, 13 e 20.

Figura 14: Análise de desempenho por bico de enchimento

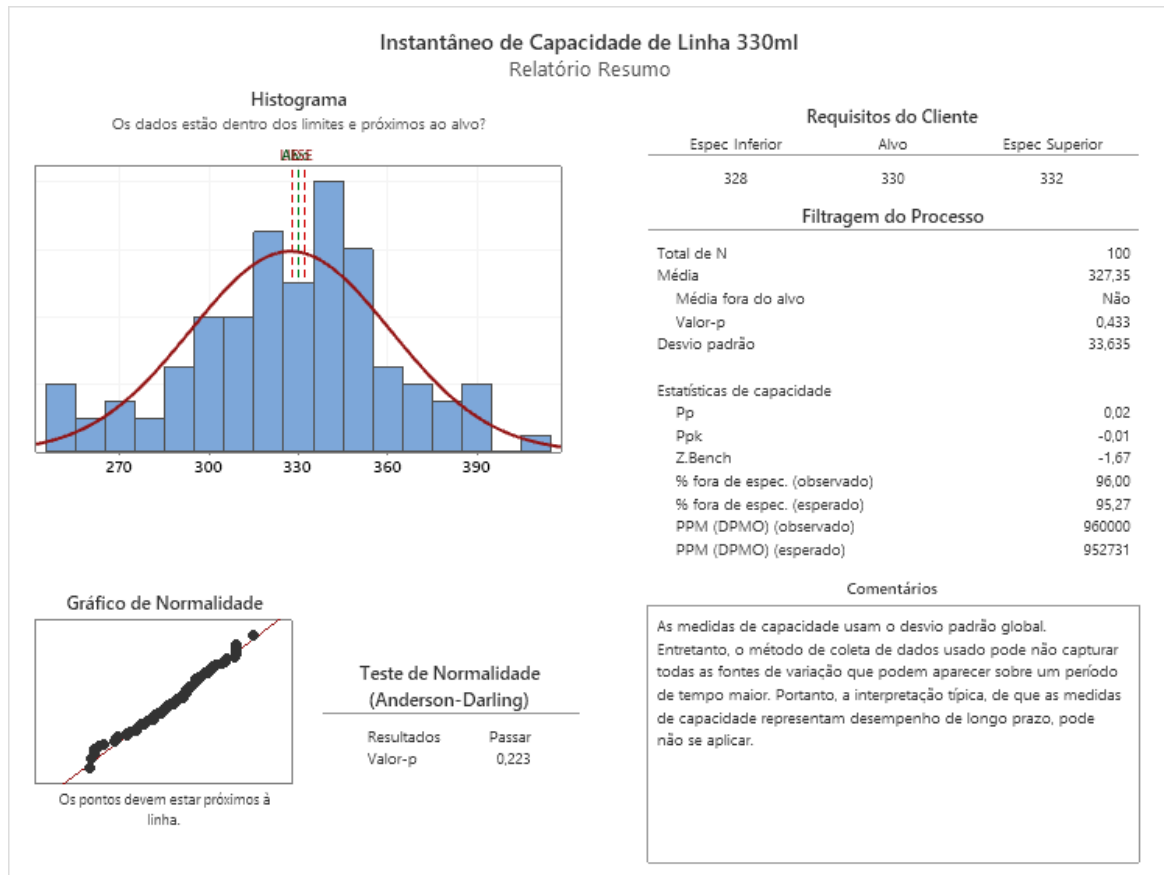


Fonte: Autores (2022)

Esse comportamento, leva à oscilação do processo e, conseqüentemente à baixa capacidade do processo (figura 15).

Figura 15: Análise da capacidade do processo – Linha 330ml

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.



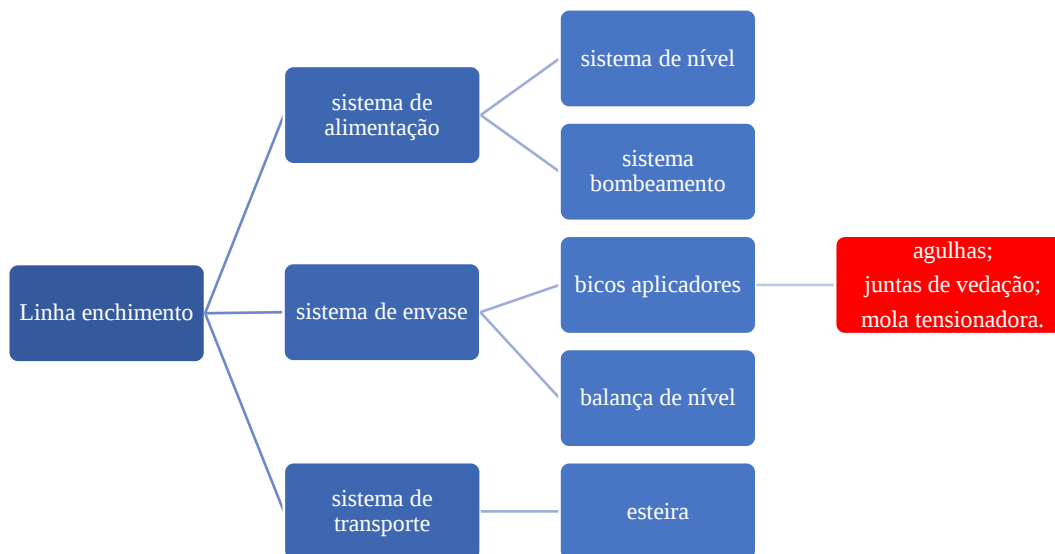
Fonte: Autores (2022)

A estruturação hierárquica desdobrada do equipamento, permitirá, devido à divisão de subníveis, identificar não apenas o conjunto em falha, mas determinado item que possivelmente seja o causador da falha potencial.

Pyzdek e Keller (2011) entendem que, ao detalhar o equipamento na estrutura de subconjuntos (figura 16), a aplicação da metodologia referencial do FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) fica mais visível os impactos. Pois, pode-se tratar cada item crítico de forma específica.

Figura 16: Análise da variável crítica - FMEA

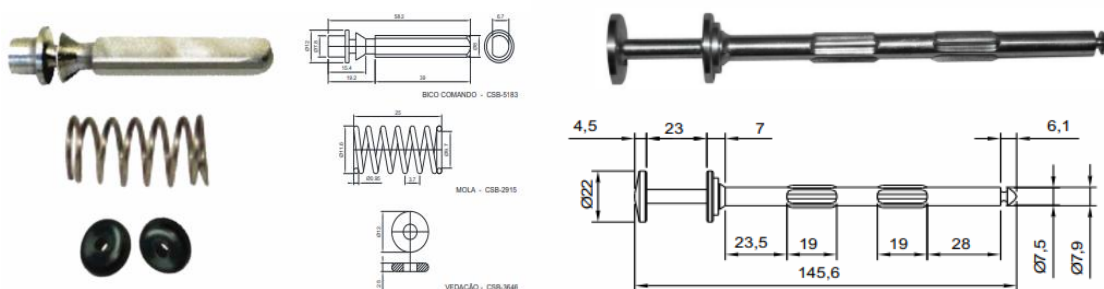
“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.



Fonte: Autores (2022)

Nesse entendimento, estruturou-se o plano de ação em que foi necessário rever o plano de manutenção, onde foi necessário destacar no sistema os itens críticos nesse processo. Nesse caso específico, percebeu-se a interferência no desgaste prematuro da mola de fechamento e dos elementos de vedação do conjunto aplicador (figura 17).

Figura 17: Revisão periódica de itens críticos, revisão do plano de manutenção para subconjuntos.

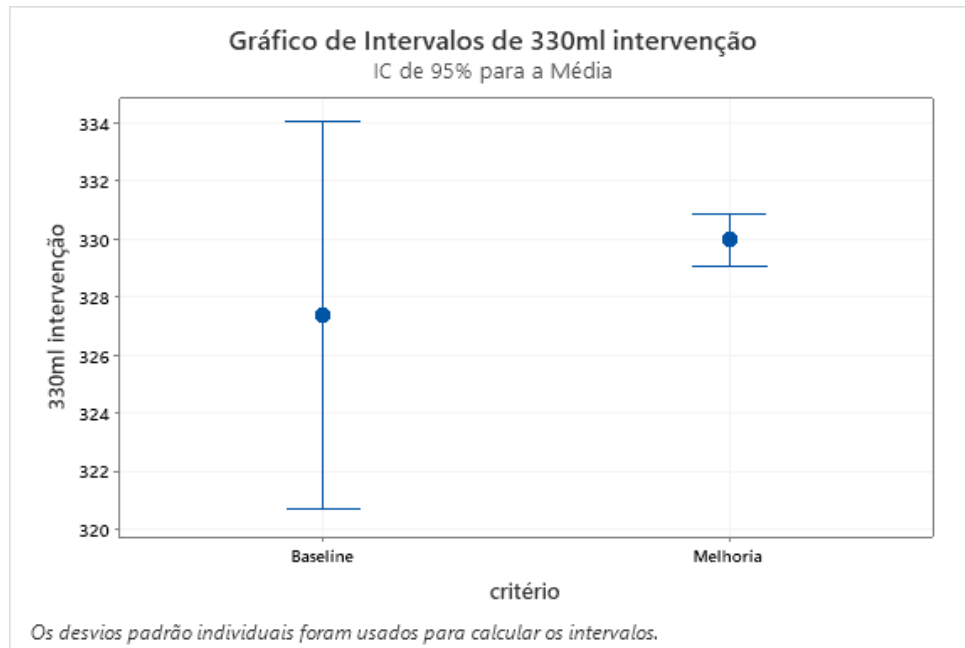


Fonte: Fabricante (2022)

Ao comparar, em dois momentos (baseline e melhoria), o processo de aplicação da linha de envase 330ml, percebeu-se um ganho aparente relevante. Sendo necessário acompanhamento da linha em escala industrial para se concluir efetivamente (figura 18).

Figura 18: Análise do desempenho após adequações na linha de produção

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.



Fonte: Autores (2022)

Percebe-se que a média não sofreu um impacto relevante, considerando o intervalo de confiança das respectivas médias. Tal afirmação fica evidente ao se analisar $p\text{-value}$ 0,443 que é maior que o nível de significância 0,05 (figura 19).

Figura 19: Teste de hipótese

Método

Hipótese nula Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa Nem todas as médias são iguais
Nível de significância $\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator	Níveis	Valores
critério	2	Baseline; Melhoria

Análise de Variância

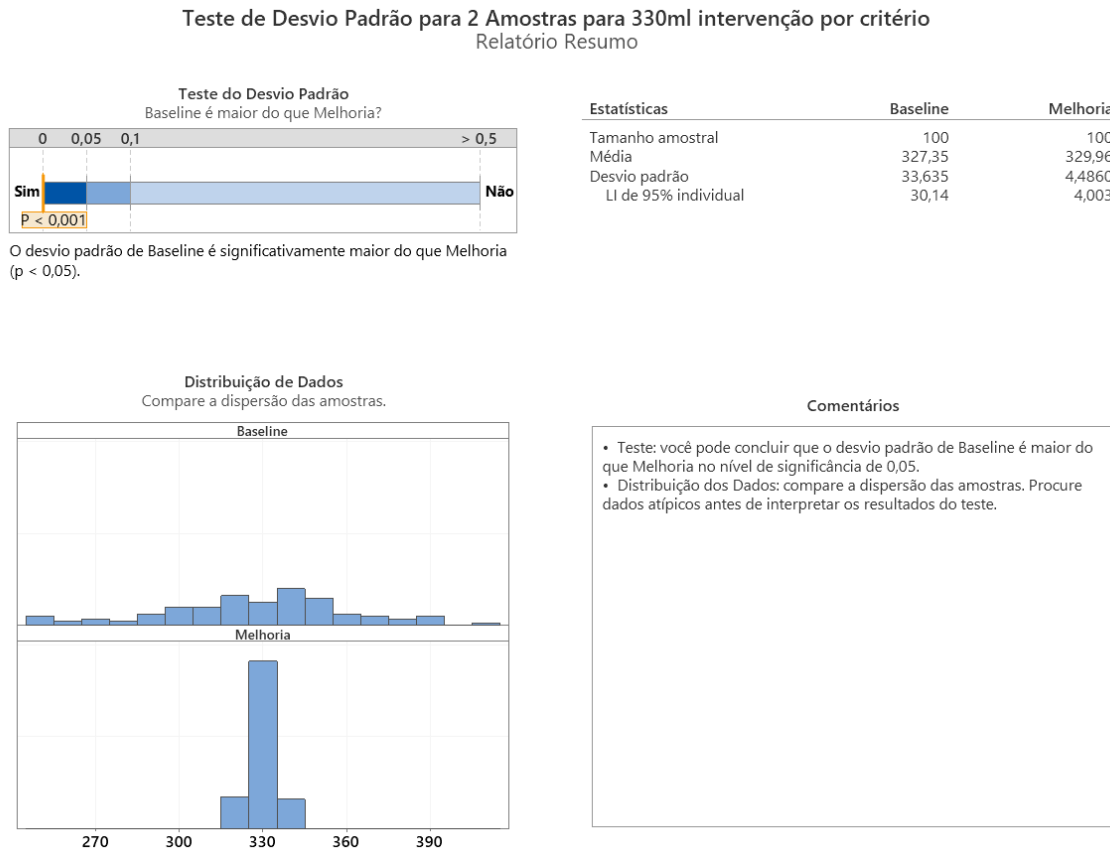
Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
critério	1	341	340,8	0,59	0,443
Erro	198	113993	575,7		
Total	199	114334			

Fonte: Autores (2022)

Ao analisar a dispersão dos dados (desvio padrão) desse processo, percebe-se que a implementação da melhoria foi amplamente contemplada com as adequações em linha, visto que a variação inicial

era de, aproximadamente, 33ml enquanto que, após melhoria, essa variação apresentou valor de 4,4ml (figura 20).

Figura 20: Análise do desvio padrão (antes e depois da melhoria)



Fonte: Autores (2022)

Feito isso, aplicou-se o método multicritério AHP-TOPSIS-2N para identificar o melhor fornecedor do bico aplicador, baseados em critérios qualificadores e essenciais para o adequado funcionamento e precisão no processo de enchimento, no processo produtivo.

Fornecedores:

- i. *fornecedor 1;*
- ii. *fornecedor 2;*
- iii. *fornecedor 3.*

Critérios qualificadores para fornecimento:

- i. *precisão de aplicação;*



- ii. *tempo de vida útil da junta de vedação;*
- iii. *tempo de vida útil da mola de tensionadora;*
- iv. *custo do componente.*

Para o critério de precisão de aplicação, considerou-se o desvio padrão médio para cada subgrupo (fornecedor). O tempo de vida útil do respectivo componente, considerou-se o número de dias em que este foi utilizado em linha. Ou seja, a diferença entre o dia de entrada e o dia de saída do respectivo componente. E, para o custo do componente considerou-se o custo total, em dólar (frete, impostos etc.).

Assim, seguiu-se para estruturação da matriz de decisão, definindo a monotonicidade em cada critério (maximizar ou minimizar) utilizando a plataforma web: <https://www.3decisionmethods.com> (figura 21).

Figura 21: Matriz decisão – Valores critérios

Valores dos critérios:

Critério : precisão de aplicação

fornecedor 1	fornecedor 2	fornecedor 3	Minimizar ou Maximizar?
0,97	0,88	0,83	Maximizar ↑ ▾

Critério : tempo de vida útil da junta de vedação

fornecedor 1	fornecedor 2	fornecedor 3	Minimizar ou Maximizar?
34	37	42	Maximizar ↑ ▾

Critério : tempo de útil da mola de tensionadora

fornecedor 1	fornecedor 2	fornecedor 3	Minimizar ou Maximizar?
63	67	55	Maximizar ↑ ▾

Critério : custo do componente

fornecedor 1	fornecedor 2	fornecedor 3	Minimizar ou Maximizar?
27,96	33,71	29,89	Minimizar ↓ ▾

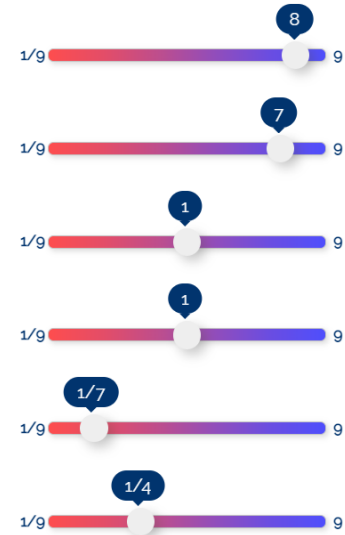
Fonte: Autores (2022)

Após definição dos critérios e *inputs* de seus respectivos valores, seguiu-se para definição da priorização entre eles (figura 22).

Figura 22: Análise da priorização entre critérios

Prioridades entre critérios:

- O quão preferível o critério **precisão de aplicação** é em relação a **tempo de vida útil da junta de vedação**?
- O quão preferível o critério **precisão de aplicação** é em relação a **tempo de útil da mola de tensionadora**?
- O quão preferível o critério **precisão de aplicação** é em relação a **custo do componente**?
- O quão preferível o critério **tempo de vida útil da junta de vedação** é em relação a **tempo de útil da mola de tensionadora**?
- O quão preferível o critério **tempo de vida útil da junta de vedação** é em relação a **custo do componente**?
- O quão preferível o critério **tempo de útil da mola de tensionadora** é em relação a **custo do componente**?



Fonte: Autores (2022)

Assim, chegou-se ao resultado, após os dois procedimentos de normalização, como propõe o método e chegou-se ao resultado que o fornecedor 1, apresenta melhor Distância para a solução ideal positiva (D+), bem como o melhor resultado de Distância para a solução ideal negativa (D-) (figura 23).

Figura 23: Análise da ordenação da primeira normalização

Resultado da Normalização - Procedimento 1

	D+	D-	RS	D+ : Distância para a solução ideal positiva. D- : Distância para a solução ideal negativa. RS : Proximidade relativa.
fornecedor 1	0.0082	0.0603	0.8809	
fornecedor 2	0.0509	0.0175	0.2562	
fornecedor 3	0.0453	0.0294	0.3937	

Fonte: Autores (2022)

Mediante ao *output*, na primeira normalização, percebeu-se que a ordenação entre os fornecedores são: Fornecedor 1; Fornecedor 3 e Fornecedor 2 (figura 24).

Figura 24: Ordenação do resultado da primeira normalização

“A Engenharia de Produção no contexto das organizações “Data Driven”.”
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

Alternativa	Pontuação Obtida
forneecedor 1	0.8809
forneecedor 3	0.3937
forneecedor 2	0.2562

Fonte: Autores (2022)

Na segunda normalização, percebeu-se que a ordenação entre os fornecedores se manteve: Fornecedor 1; Fornecedor 3 e Fornecedor 2. Pois, pela respectiva axiomática do método, propõe que D^+ seja um ponto mínimo e D^- seja um ponto de máximo e, conseqüentemente a o maior valor da proximidade relativa (RS), assim define-se a melhor alternativa (figura 25).

Figura 25: Análise da ordenação segunda normalização

Resultado da Normalização - Procedimento 2

	D+	D-	RS	D+ : Distância para a solução ideal positiva. D- : Distância para a solução ideal negativa. RS : Proximidade relativa.
forneecedor 1	0.0675	0.6134	0.9008	
forneecedor 2	0.4973	0.1847	0.2708	
forneecedor 3	0.4913	0.2695	0.3543	

Fonte: Autores (2022)

A ordenação das alternativas se manteve inalterada na segunda normalização, comparada à primeira normalização (figura 26).

Figura 26: Ordenação do resultado da segunda normalização

Alternativa	Pontuação Obtida
forneecedor 1	0.9008
forneecedor 3	0.3543
forneecedor 2	0.2708

Fonte: Autores (2022)

Assim, pode-se concluir que a melhor ordenação para compra do item supracitado, considerando os critérios supracitados, deve-se ser considerada: Fornecedor 1, Fornecedor 3 e Fornecedor 2, respectivamente (figura 27).

Figura 27: Análise da ordenação do resultado



Fonte: Autores (2022)

5. Conclusão

Mediante à estruturação deste estudo, bem como o resultado obtido, percebe-se que a abordagem dos conceitos da estatística não permeia apenas o ambiente acadêmico, mas fica evidente a colaboração para o campo corporativo de forma expressiva. A importância da análise e do mapeamento do processo, aplicando um método adequado, tornam o processo de decisório mais robusto. Com isso, a respectiva empresa pode definir uma política de compra, diferenciada para itens críticos. Assim, constata-se que a inserção dos métodos multicritério em conjunto a estruturação de modelagem de processos (DMAIC e FMEA), na busca de encontrar uma equação que atenda a aspectos corporativos e que esteja fundamentado numa metodologia reconhecida na academia. Logo, diante de um cenário altamente competitivo, percebe-se que esta produção se demonstra útil e presta uma contribuição para academia, bem como para o mundo corporativo.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, J. V. G. A.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S.; Método Multicritério de Apoio À Decisão AHP-TOPSIS-2N Aplicado em Licitações para Melhoria do Controle de Gastos Públicos. In: Anais do simpósio de engenharia de produção: SIMEP 2022.

BARBOSA, Humberto Magno; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões. Aplicação do método híbrido AHP-TOPSIS-2N para a ordenação de execução de furos de alívio de revestimentos de poços de petróleo sob risco de colapso. In: *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. Anais [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

BARTH, N. L.; LOURENÇO, C. E.; O P Ainda Tem Valor? RAE, vol. 60, no. 3, May-June 2020, pp. 235+. Gale Academic OneFile, link.gale.com/apps/doc/A633434182/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=5f2d61d4. Accessed 2 Mar. 2022.

BHOTE K. **Qualidade de classe mundial**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 1996.

BOZZA, G.; RUY, M. M; SANTOS, M.; MOREIRA, M. Â. L; ROCHA JUNIOR, C.S.; GOMES, C. F. S.; *Three Decision Methods (3DM) Software Web* (v.1). 2020.

BRITISH STANDARD - BS 6143-2: **Guide to the Economics of Quality** – Parte 2, 1990.

CARPINETTI, L. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. 2 ed. Editora Atlas, 2012.

ESSS CONSULTORIA; Acesso: <https://www.esss.co/blog/conheca-as-duas-ferramentas-mais-eficazes-para-reduzir-custos-com-garantia/>, em: 02mar2022.

COSTA, R. R; CASTRO, F. A. S.; Statistical Methods Adopted In PhD Theses In Human Movement Sciences: A Descriptive Study; *Revista Brasileira de Pos-Graduacao*, vol. 16, no. 36, Oct. 2020, p. NA. Gale Academic OneFile, link.gale.com/apps/doc/A656724328/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=bb6fac3a. Accessed 2 Mar. 2022.

DE SOUZA ROCHA JUNIOR, C.; MOREIRA, M. Â. L.; DOS SANTOS, M. Selection of interns for startups: An approach based on the AHP-TOPSIS-2N method and the 3DM computational platform. **Procedia Computer Science**, v. 199, n. 2021, p. 984–991, 2021.

DO NASCIMENTO MAÊDA, S. M. et al. Multi-criteria analysis applied to aircraft selection by Brazilian Navy. **Production**, v. 31, n. 6, p. 1–13, 2021.

GOMES, L., & GOMES, C. F. S. **Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2019.

HWANG, C. L.; YOON, K. Multiple attribute decision making: methods and applications. Berlin: Springer-Verlag, 1981. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.

JURAN, J.M. - **Quality Control Handbook**, 5th ed., McGraw-Hill, New York, NY 2000.

PAN, L. K.; WANG, C. C.; WEI, S. L.; SHER, H. F.; Optimizing multiple quality characteristics via Taguchimethod-based Grey analysis. *Journal of Materials Processing Technology* 182 107–116. 2007.

"A Engenharia de Produção no contexto das organizações "Data Driven"."
Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023.

PYZDEK, T; KELLER, P. **Seis Sigma: guia do profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e Gerentes em todos os níveis**. 3 ed. Rio de Janeiro. Alta Books, 2011.

PRATES, G. A.; Robustness Optimization in Physics Sustainable -Mechanic- Based Design of Taguchi Methods for Experimental Development of Products and Processes, 2015. Espacios. Vol. 36 (Nº 23) Año 2015. Pág. 8.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2008.

KROHLING, R. A.; PACHECO, A. G. C. A-TOPSIS – An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. **Procedia Computer Science**, v. 55, p. 308–317, 2015.

SANCHEZ-MARQUEZ, R.; JABALOYES VIVAS, J. Building a Cpk control chart – A novel and practical method for practitioners. **Computers & Industrial Engineering**, v. 158, p. 107428, 1 ago. 2021.

SANTOS, M. Notas de aula – Tomada de Decisão com o Método AHP-TOPSIS-2N, (2021).

SILVA. A.; **Estatística Aplicada com Minitab**. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna LTDA., 2015.

SOUZA, L.; GOMES, C. F.; BARROS, A. (2018). Implementation of new Hybrid AHP-TOPSIS-2N method in sorting and prioritizing of an it capex project portfolio. *International Journal of Information Technology & Decision Making*. DOI: 10.1142/S0219622018500207.

Taguchi, G.; *Introdução à Engenharia da Qualidade*. Organização Asiática de Produtividade, Tóquio, 1990.

ZIBETTI, A.; Notas de aula de Estatística Aplicada. Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Acesso: <https://www.inf.ufsc.br/~andre.zibetti/probabilidade/referencias.html>.