



# ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01  
de dezembro 2023

## Controle Estatístico de Processo na Indústria de Embalagens Flexíveis: Uma Análise da Variabilidade no Processo de Selagem

**Gustavo Faro Gibertoni**

Aluno – UTFPR

**Guilherme Morete Felix**

Aluno – UTFPR

**Jean Paulo Dall Asta**

Aluno – UTFPR

**Marcos Paulo Silva dos Santos**

Aluno - UTFPR

**Rafael Henrique Palma Lima**

Professor - UTFPR

**Resumo:** Diversas empresas têm adotado ferramentas do Controle Estatístico de Processo (CEP) como meio de reduzir a variabilidade e aumentar a confiabilidade em seus processos. Este trabalho tem como objetivo relatar a aplicação das ferramentas de CEP para estudar a variabilidade do processo de selagem em uma empresa de embalagens flexíveis. O artigo busca analisar as variações das amostras coletadas, avaliar se o processo está em controle estatístico, calcular os limites de controle pertinentes e apresentar uma conclusão final dos resultados obtidos. Após a análise, constatou-se que o processo estava fora de controle, com indicadores de desempenho insatisfatórios. Diante disso, foi realizado um estudo das possíveis causas, identificando a falta de treinamento, a qualidade da matéria-prima e a calibração inadequada das máquinas como as principais variáveis que influenciaram negativamente o processo.

**Palavras-chave:** Controle Estatístico de Processos, Capabilidade do Processo, Cartas de Controle, Embalagens Flexíveis.

## Controle Estatístico de Processo na Indústria de Embalagens Flexíveis: Uma Análise da Variabilidade no Processo de Selagem

**Abstract:** Several companies have adopted Statistical Process Control (SPC) tools as a means to reduce variability and increase reliability in their processes. This work aims to report the application of SPC tools to study the variability of the sealing process in a flexible packaging company. The article seeks to analyze the variations in the collected samples, assess whether the process is in statistical control, calculate relevant control limits, and provide a final conclusion of the results obtained. After the analysis, it was found that the process was out of control, with unsatisfactory performance indicators. Consequently, a study of possible causes was conducted, identifying lack of training, the quality of raw materials, and inadequate machine calibration as the main variables that negatively influenced the process.

**Keywords:** Statistical Process Control, Process Capability, Control Charts, Flexible Packaging.

## **1. Introdução**

Segundo Ribeiro e Caten (2012), o controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística com o objetivo de reduzir a variabilidade da qualidade, trazendo melhorias importantes em termos de qualidade intrínseca, produtividade, confiabilidade dos processos e custos de produção. O CEP desempenha um papel fundamental na identificação de problemas e na implementação de ações corretivas para alcançar a estabilidade estatística dos processos, conforme mencionado por Florac et al. (1999).

De acordo com Samohyl (2009), a utilização de ferramentas provenientes do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) resulta em melhorias significativas nos níveis de qualidade dos processos e produtos de uma empresa.

Foi conduzido um estudo sobre esse tema em uma empresa especializada na fabricação de embalagens flexíveis. A empresa oferece uma ampla gama de embalagens flexíveis para setores como alimentos, bebidas, produtos farmacêuticos, cuidados pessoais, produtos químicos, tabaco e outros. Seu portfólio de soluções de embalagem abrange sacos, filmes, laminados, blisters, sachês, tampas e rótulos. A empresa tem um forte compromisso com a inovação e a sustentabilidade em suas operações e produtos. Dedicam-se a investir em pesquisa e desenvolvimento para criar embalagens mais leves, recicláveis e com menor impacto ambiental. Além disso, a empresa está empenhada em reduzir sua pegada de carbono e promover a economia circular, buscando constantemente soluções de embalagem mais sustentáveis.

O objetivo deste trabalho é avaliar a variação da selagem das embalagens durante o processo de acabamento do produto, a fim de determinar se o material apresenta uma variabilidade estável ao longo do fluxo do processo. Para analisar os dados coletados dessa variável em estudo, serão aplicadas ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade, com ênfase na utilização da carta de controle estatístico do processo e na análise da capacidade.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1. Controle da qualidade e Controle Estatístico do Processo (CEP)**

Conforme Longenecker, Moore e Petty (1997), a qualidade refere-se às características de um produto ou serviço que atendem e satisfazem as expectativas dos clientes. De acordo com Miranda (1994), as empresas precisam produzir produtos e serviços que atendam à demanda e às expectativas dos consumidores finais. Assim, o controle de qualidade é uma maneira pela qual a empresa assegura que seus clientes obtenham produtos com a quantidade e as especificações que os satisfazem.

Segundo Samohyl (2009), a qualidade de um processo ou produto está inteiramente relacionada com a minimização da variabilidade de suas características. Um dos métodos empregados para monitorar o controle de qualidade e minimizar as variabilidades de um determinado processo é o controle estatístico de processos (CEP). Esse método utiliza informações estatísticas para evidenciar a variabilidade da atividade em avaliação. De acordo com Losada (2017), o CEP é uma vertente do controle de qualidade que tem como objetivo a coleta, análise e interpretação de dados com vistas à manutenção e aprimoramento da qualidade de produtos e serviços. Portanto, o CEP não se limita apenas à geração de dados estatísticos, mas também identifica os pontos que necessitam de melhorias.

Segundo Rosa (2009), o objetivo do CEP é acompanhar e monitorar os parâmetros de um processo ao longo do tempo, a fim de obter um maior conhecimento sobre ele. Para isso, é necessário utilizar um conjunto de técnicas para a análise de alterações no processo produtivo, capazes de determinar a natureza e a frequência dessas ocorrências.

## 2.2. Gráfico de Controle

O gráfico de controle é uma ferramenta estatística utilizada no âmbito do Controle Estatístico de Processo, que possibilita o monitoramento contínuo e a avaliação da capacidade do processo. Por meio desse gráfico, são geradas informações de grande utilidade para a redução da variabilidade no processo (MONTGOMERY, 2001).

Para cada processo, é essencial selecionar o tipo de gráfico de controle mais adequado à situação em questão. No caso deste estudo específico, será utilizado o Gráfico X-barra R e Gráfico da Soma Acumulativa (CUSUM) que melhores se encaixam nas características e necessidades do processo em análise.

Conforme mencionado por Montgomery e Runger (2021), os gráficos de controle da média ( $\mu$ ) e da amplitude (R) são utilizados para monitorar processos nos quais a característica de qualidade pode ser medida numericamente. Esses gráficos permitem avaliar a localização e a variabilidade da característica por meio da análise periódica de amostras em intervalos de tempo definidos.

No cálculo dos limites superior e inferior do gráfico de controle, é necessário calcular a média e a amplitude de cada subgrupo. Em seguida, calcula-se a média das médias amostrais e a média das amplitudes. Esses valores são utilizados para estabelecer os limites que ajudam a identificar desvios significativos no processo.

Os limites de controle para o gráfico das médias podem ser calculados utilizando as equações a seguir (1-3):

$$LSC = \hat{\mu} + \frac{3\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$LM = \hat{\mu} \quad (2)$$

$$LIC = \hat{\mu} - \frac{3\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Os limites de controle para o gráfico das amplitudes podem ser calculados utilizando as equações a seguir (4-6):

$$LSC = \bar{R} + 3d_3 \hat{\sigma} \quad (4)$$

$$LM = \bar{R} \quad (5)$$

$$LIC = \bar{R} - 3d_3 \hat{\sigma} \quad (6)$$

Onde o desvio padrão é calculada pela equação:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (7)$$

Onde LSC é o limite superior de controle, LIC é limite inferior de controle, LM é a linha média,  $\mu$  a média das médias, R a média das amplitudes,  $d_2$  e  $d_3$  é o valor tabelado em função do tamanho do subgrupo.

Já o gráfico CUSUM segundo Montgomery et al (2016) é uma ferramenta que utiliza a sequência de valores da amostra para incorporar diretamente todas as informações relevantes. Nele, são plotadas as somas cumulativas dos desvios em relação ao valor alvo do processo, permitindo visualizar os momentos em que ocorreu um deslocamento na média do processo. Com isso, é possível identificar as causas raiz dos problemas, auxiliando na análise e melhoria dos processos. O gráfico CUSUM é uma ferramenta eficaz para o monitoramento contínuo e a detecção de mudanças significativas nos processos.

Para a análise no gráfico CUSUM, são considerados os desvios acima da média e os desvios abaixo da média representados da seguinte forma:

$$C_{i,+} = \text{MAX}(0; x_i - (\mu_X + K) + C_{i-1,+}) \quad (8)$$

$$C_{i,-} = \text{MAX}(0; (\mu_X - K) - x_i + C_{i-1,-}) \quad (9)$$

Onde K é um fator de redução de impacto de pequenos desvios.

$$K = \frac{\delta}{2} \quad (10)$$

Por fim, o limite cumulativo (LC) de desvios adotado foi determinado a partir da seguinte equação, tendo H igual a 4.

$$LC = H \cdot \delta \quad (11)$$

### 2.3 Capacidade do Processo

Martins e Laugeni (2005) afirmam que um processo é considerado capaz quando consegue atender às especificações estabelecidas pelo cliente. Por outro lado, um processo é considerado incapaz quando não está dentro dos limites de especificação indicados. A capacidade de um processo está intrinsecamente ligada à sua capacidade de atender aos requisitos estabelecidos pelo cliente

Segundo Marquez et al. (2010), a utilização dos índices de capacidade de processos desempenha um papel fundamental no monitoramento e avaliação da capacidade de um processo produtivo. De acordo com Keller (2001), é crucial que um processo esteja sob controle ou estável, exibindo previsibilidade, antes de calcular sua capacidade. Isso implica que o controle estatístico do processo deve ser estabelecido antes de proceder à avaliação da capacidade.

Conforme apontado por Montgomery (2004), a fim de determinar se a produtividade de um processo está em um nível aceitável, é necessário avaliar os índices de capacidade potencial do processo (Cp) e de capacidade efetiva do processo (Cpk). Wilson (1999) indica que o Cp é definido pela razão entre a dispersão permitida e a dispersão real, ou seja, se estão dentro das especificações técnicas exigidas.

O índice Cpk, conforme definido por Werkema (2000), é uma medida que permite avaliar se um processo terá a capacidade de atingir o valor nominal de especificação. Ele leva em consideração o valor da média do processo e pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo.

O cálculo dos índices Cp e Cpk são feitos a partir das equações 12 e 13 apresentadas abaixo:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 \times \hat{\sigma}_{intra}} \quad (12)$$

$$Cpk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3 \times \hat{\sigma}_{intra}}; \frac{\mu - LIE}{3 \times \hat{\sigma}_{intra}}\right) \quad (13)$$

A interpretação do resultado para o Cp e Cpk podem ser feitas conforme a Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1 – Classificação Cp e Cpk**

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>
Menor que 1	Processo incapaz
Entre 1 e 1,33	Processo razoavelmente capaz
Maior que 1,33	Processo altamente capaz

**Fonte: Adaptado de MONTGOMERY (2004)**

Além dos índices Cp e Cpk, existem outros índices que são relevantes para analisar a capacidade do processo, são eles o Pp e Ppk. Segundo Netto (2017), os índices de desempenho Pp e Ppk são utilizados para entender o comportamento passado e atual de um processo.

Conforme Werkema (2000), o índice Pp é utilizado para analisar a capacidade potencial de um processo em relação à tolerância especificada no projeto. Já o índice de desempenho Ppk é usado para avaliar se um processo foi ou está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação. Nesse índice, considera-se a média do processo como parte da análise.

O cálculo dos índices Pp e Ppk são feitos a partir das equações 14 e 15 apresentadas abaixo:

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6 \times \hat{\sigma}_{geral}} \quad (14)$$

$$Ppk = \min\left(\frac{LSE - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}_{geral}}; \frac{\hat{\mu} - LIE}{3 \times \hat{\sigma}_{geral}}\right) \quad (15)$$

Os cálculos e a interpretação dos índices Pp e Ppk são semelhantes aos índices de capacidade. A diferença é que os índices de desempenho utilizam o desvio padrão geral da amostra em vez do desvio padrão intra-amostral.

### **3. Descrição da empresa e do processo industrial**

Este trabalho foi realizado em uma empresa localizada no norte do Paraná, especializada em embalagens flexíveis. A empresa é reconhecida como líder mundial no desenvolvimento e produção de embalagens de alta qualidade, abrangendo uma ampla variedade de produtos, tais como embalagens flexíveis, recipientes rígidos, embalagens especiais, entre outros.

As embalagens plásticas aplicadas à linha de *pouches*, que são o foco deste estudo, são semelhantes a sacos e sachês. Elas consistem em uma combinação de papel impresso e filme de polímeros laminados. Essas embalagens são projetadas para armazenar e proteger ferramentas e vestimentas que requerem esterilização antes de serem utilizadas em ambientes como hospitais, clínicas, consultórios e estúdios de tatuagem. Seu objetivo é garantir a manutenção da esterilidade e proteger esses itens durante o transporte e armazenamento, mantendo-os livres de contaminação até o momento de uso.

O *pouch* é produzido em uma máquina de acabamento e tem como matérias-primas bobinas de papel impresso e filme laminado, que são preparadas em etapas anteriores do processo.

Os papéis utilizados são compostos por celulose ou fibras de polietileno trançado de alta densidade. Eles são resistentes à penetração microbiana, impermeáveis, possuem boa resistência mecânica e capacidade de impressão. As bobinas de papel são adquiridas de fornecedores e passam por processos antes de serem utilizadas nas máquinas de acabamento.

Os filmes laminados utilizados são compostos de polietileno tereftalato (PET) e polietileno (PE) ou polipropileno (PP). Esses polímeros oferecem resistência mecânica e química, barreira contra gases e odores, flexibilidade, transparência, brilho e impermeabilidade. Os filmes são adquiridos separadamente em forma de bobinas e são unidos por meio de um processo de laminação. Durante essa etapa, adesivo e catalisador são aplicados no filme de PET, permitindo que ele se una ao filme de PE ou PP quando compactados por dois rolos de alta pressão. Durante o *setup*, uma inspeção é realizada para verificar a gramatura e o aspecto geral do filme, garantindo que não haja rugas, canaletas ou separação entre as camadas.

Neste estágio, as bobinas de papel e filme laminado estão prontas para serem utilizadas na etapa final do processo de acabamento, que será objeto de análise neste trabalho. As matérias-primas são inseridas em eixos desbobinadores na máquina, que giram à medida que os filmes são tracionados por rolos em direção ao interior da máquina. Sensores alinhadores garantem que o filme e o papel estejam alinhados corretamente dentro da máquina. Em seguida, o papel e o filme são selados a quente quando são pressionados entre uma placa de silicone e uma placa de alumínio chamada matriz, que possui partes elevadas com um formato específico, delimitando a área de contato com o material. A matriz é acoplada a um suporte no cabeçote da máquina, que é acionado por um conjunto de pistões pneumáticos e aquecido por resistências elétricas.

A força aplicada, o tempo de contato da matriz com o material e a temperatura do cabeçote são parâmetros ajustáveis que têm um impacto direto na qualidade da selagem obtida, que é a variável analisada neste trabalho. Um sensor de fotocélula assegura que a quantidade de material puxado a cada ciclo da máquina esteja correta, lendo as marcações de espaçamento auxiliares previamente impressas no papel. Por fim, o material em processamento, que agora é uma junção de papel com filme laminado, é fracionado por meio de cortes utilizando lâminas. As extremidades laterais excedentes do material são removidas (*refile*), e são feitos cortes longitudinais e transversais. Neste ponto, o produto está finalizado e pronto para ser embalado e expedido. A máquina produz 8 *pouches* a cada ciclo, que ocorrem a cada 2 segundos. Inspeções de liberação de produção são realizadas durante o *setup*, nas trocas de turno e no final da produção. Nessas inspeções, amostras são avaliadas quanto ao aspecto geral do produto, suas dimensões e a qualidade da selagem realizada.

#### **4. Variável da qualidade**

A variável de qualidade analisada neste trabalho está relacionada à selagem durante o processo de acabamento do produto. Ela mede a pressão necessária para separar as camadas do *pouch*, composto pelo filme laminado e o papel. A unidade de medida utilizada para essa variável é grama força por milímetro (gF/mm). A medição é realizada por meio de um ensaio de tração, conforme a norma NBR 14990, utilizando uma máquina modelo 34SC-1 da *Instron*. Nesse ensaio, uma tira recortada do produto acabado é fixada nas garras da máquina, uma segurando a parte de papel e a outra segurando o filme laminado. A máquina então aplica uma força de tração até ocorrer a ruptura do *pouch*. Amostras são coletadas e analisadas, sendo duas da parte superior e duas das partes laterais do *pouch*. A Figura 1 demonstra o ensaio de tração realizado.

**Figura 1 – Ensaio de tração**



**Fonte: Autoria própria**

Inspeções por meio do teste de tração são geralmente realizadas durante a produção nos momentos de setup, trocas de turno e ao término da produção. No setup e no final da produção, todas as amostras são analisadas, enquanto nas trocas de turno apenas uma amostra é analisada. O número de repetições refere-se à quantidade de cortes longitudinais feitos no material durante o acabamento, representando a quantidade de *pouches* gerados em cada ciclo da máquina.

No desenvolvimento deste trabalho, foi adotado um plano de amostragem baseado em subgrupos racionais, onde cada amostra é composta por 4 produtos (subgrupo), coletados a cada 20 minutos. Isso foi feito para aumentar a probabilidade de detectar variações especiais no processo.

A importância de verificar essa variável está relacionada à finalidade do produto. Como os *pouches* são utilizados para armazenar e proteger ferramentas, vestimentas e equipamentos que requerem esterilização, é crucial que não apresentem fissuras devido a uma selagem ineficaz, onde uma pequena quantidade de pressão seria suficiente para abrir o pouch. Por outro lado, a selagem não pode ser excessivamente forte, pois dificultaria a abertura da embalagem pelo cliente final e poderia representar riscos de contaminação durante o uso, devido à liberação de farelos de papel.

## **5. Coleta de Dados e Análise**

Para a definição dos parâmetros do processo, primeiramente foram coletadas vinte e cinco amostras de tamanho quatro, em intervalos de vinte minutos. Os dados obtidos estão organizados segundo a Tabela 2.

Com base nos dados das amostras coletados, foi realizado uma análise utilizando o conceito de subgrupos racionais. Nesse caso, a cada intervalo de tempo, uma amostra de tamanho quatro é retirada do processo, e as observações foram obtidas em momentos próximos no tempo. Portanto, para esse processo em particular, a carta de controle mais adequada para calcular os parâmetros é a carta X-Barra / R

**Tabela 2 - Dados Coletados**

Amostra	X1	X2	X3	X4	Média	R
1	1229,450	1296,100	1124,600	1122,100	1193,063	174,000
2	1279,700	1278,600	1242,050	1349,300	1287,413	107,250
3	1450,600	1127,950	1388,050	1156,250	1280,713	322,650
4	1146,350	1196,550	1230,900	1336,950	1227,688	190,600
5	1149,300	1224,700	1176,500	1216,100	1191,650	75,400
6	1217,650	1277,300	1304,750	1532,750	1333,113	315,100
7	1380,950	1113,350	1340,700	1180,750	1253,938	267,600
8	1222,900	1189,600	1293,250	1201,850	1226,900	103,650
9	1335,350	1291,350	1263,150	1421,750	1327,900	158,600
10	1267,600	1387,650	1272,850	1156,700	1271,200	230,950
11	1380,850	1360,050	1372,050	1286,450	1349,850	94,400
12	1570,150	1525,300	1664,150	1459,900	1554,875	204,250
13	1605,550	1709,300	1211,700	1528,350	1513,725	497,600
14	1257,700	1196,400	1441,600	1367,850	1315,888	245,200
15	1247,450	1516,500	1447,000	1638,100	1462,263	390,650
16	1408,400	1302,150	1577,550	1241,500	1382,400	336,050
17	1449,100	1290,700	1363,200	1398,700	1375,425	158,400
18	1482,600	1698,800	1648,650	1629,050	1614,775	216,200
19	1611,450	1357,100	1523,600	1362,150	1463,575	254,350
20	1558,350	1282,300	1071,200	934,250	1211,525	624,100
21	1046,950	1027,950	1196,750	1222,000	1123,413	194,050
22	1078,150	1272,500	1302,250	1339,650	1248,138	261,500
23	1231,250	1224,200	1170,850	1259,600	1221,475	88,750
24	1161,500	1347,450	1266,950	1266,650	1260,638	185,950
25	1301,150	1165,150	1244,100	1191,400	1225,450	136,000

Fonte: Autoria própria

## 5.2 Análise dos Dados

Nesse contexto, os dados foram utilizados para calcular as médias e amplitudes de cada amostra, estimando-se a média geral e o desvio padrão do processo. Assim a média da pressão de selagem das embalagens, da amplitude R e o desvio padrão encontrados foram 1316,68 gF/mm, 233,33 gF/mm e 113,32 gF/mm respectivamente.

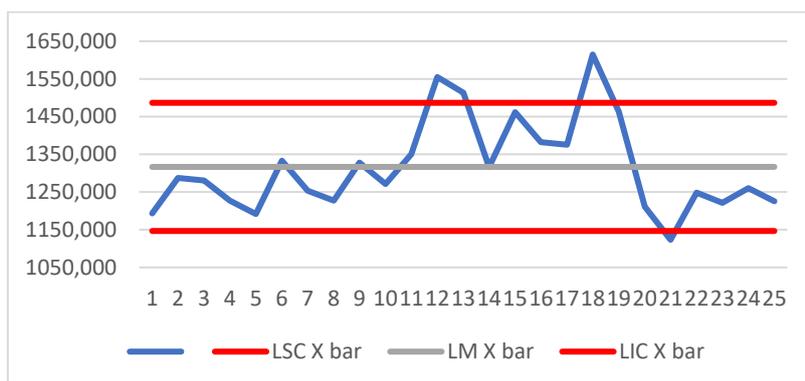
Por fim, os parâmetros do processo foram estimados e os gráficos X-Barra (Figura 2) e R (Figura 3) puderam ser gerados. A tabela 3 apresenta os resultados.

**Tabela 3 – Parâmetros do processo**

Item	X-Barra	R
LIC	1146,69	0
LM	1316,68	233,33
LSC	1486,66	532,50

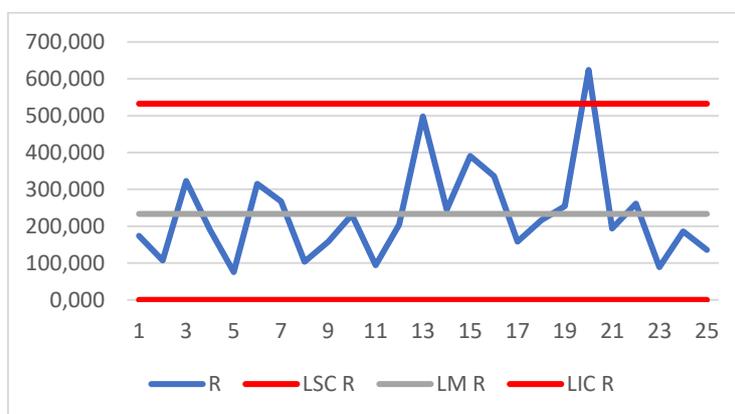
Fonte: Autoria própria

Figura 2- Gráfico X-Barra



Fonte: Autoria própria

Figura 3 – Gráfico R

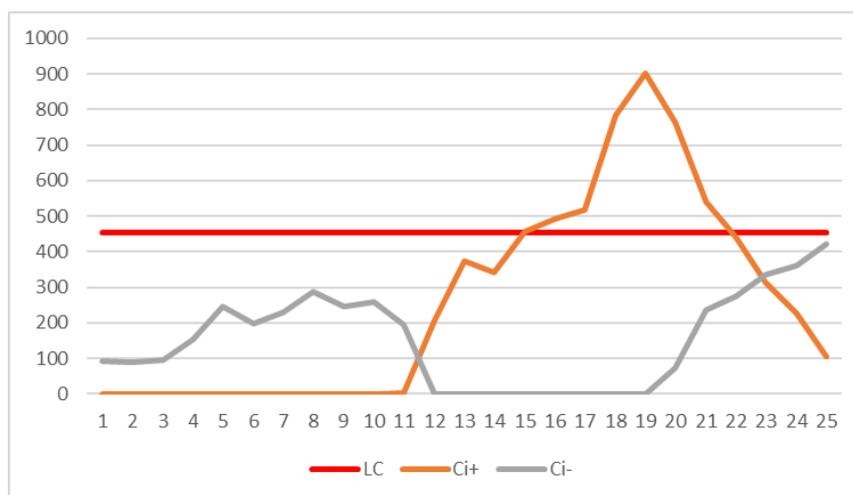


Fonte: Autoria

Ao analisar os gráficos obtidos, notamos pontos que se encontram fora dos limites de controle, tanto no gráfico das médias quanto no gráfico das amplitudes, indicando que o processo de selagem está fora de controle. No gráfico X-barra, a partir do ponto 12, o limite superior de controle é excedido, percebe-se que em três momentos ocorre um deslocamento na média. No gráfico R, a maior diferença na amplitude é observada na amostra 20, ultrapassando o limite superior de controle, que demonstra que também ocorre um deslocamento do desvio padrão.

Para uma melhor compreensão do controle e da estabilidade do processo, utilizamos o gráfico CUSUM (Figura 4). Ao analisá-lo, identificamos um acúmulo de desvios das amostras em relação à média, com um limite de controle (LC) estabelecido em 453,28. Inicialmente, ocorreu um deslocamento cumulativo em direção ao limite superior de controle (LSCX), como evidenciado pela soma cumulativa C+, que começou na amostra 12 e excedeu o LC a partir da amostra 15 até a amostra 21. Posteriormente, ocorreu um deslocamento cumulativo em direção ao limite inferior de controle (LICX), a partir da amostra 22, conforme indicado pela soma cumulativa C-, excedendo o LC da amostra 23 até a amostra 26.

**Figura 4 – Gráfico CUSUM**



**Fonte: Autoria própria**

Nesse caso, não é recomendável excluir os pontos que estão fora dos limites de controle, pois isso poderia distorcer ainda mais os limites e resultar em mais pontos fora de controle. Isso indica que o processo está realmente fora de controle e é necessário identificar a causa raiz dessa instabilidade. Após a implementação de ações de melhoria para resolver esse problema, é apropriado realizar um novo estudo de controle estatístico para verificar se o processo voltou a estar sob controle.

Mesmo com o processo fora de controle, foram calculados os índices de capacidade e desempenho, como Cp, Cpk, Pp e Ppk, a fim de avaliar a situação do processo. Os resultados desses índices estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Índices de capacidade e desempenho do processo.**

Índice	Valor
Cp	0,51476
Cpk	0,49028
Pp	0,36688
Ppk	0,34944

**Fonte: Autoria própria**

É importante destacar que, como o processo está fora de controle na fase de cálculo, os valores de Cp e Cpk estão com valores de um processo incapaz, conforme a Tabela 1, eles não são confiáveis, pois eles devem ser calculados apenas quando o processo está sob controle.

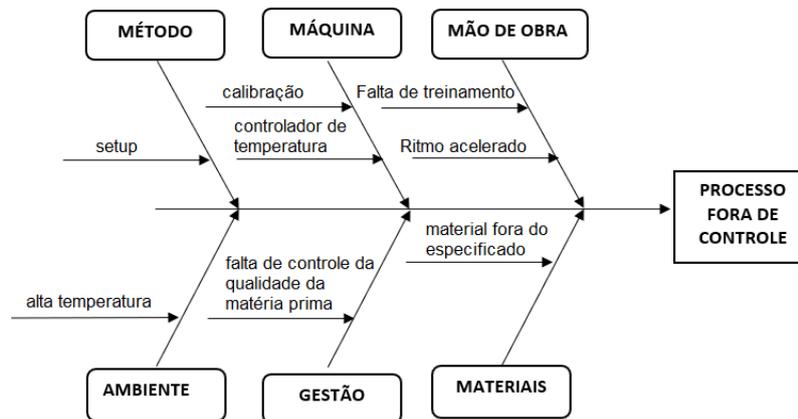
Ao observar os índices de capacidade Pp (0,36688) e Ppk (0,34944), que levam em consideração o desvio padrão amostral, fica evidente que o processo não foi capaz de atingir o valor nominal da especificação. Também foi calculado usando o desvio padrão geral a proporção de itens fora da especificação (PFE) com resultado de 19,51% dos itens fora do especificado e o índice partes por milhão (PPM) com 195128 produtos fabricados fora da especificação. Portanto, é necessário tomar medidas para abordar as causas dessa não conformidade, pois a processo está produzindo uma quantidade muito alta de itens fora da especificação.

Caso o processo estivesse sob controle, seria possível calcular o desvio padrão interno das amostras para determinar a capacidade razoável do processo, que seria de 83,33, e o desvio padrão interno máximo para uma capacidade alta do processo, que seria de 62,65.

### 5.3 Análise da causa raiz

Após realizar uma sessão de *brainstorming* com o supervisor do setor e os operadores da máquina para discutir os possíveis motivos que estariam levando à incapacidade do processo, foi possível desenvolver um diagrama de causa e efeito, ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de causa e efeito para o processo de selagem



Fonte: Autoria própria

Ao elaborar o diagrama de causa e efeito, foi possível identificar várias causas potenciais para a variabilidade do processo. No entanto, investigar a fundo algumas dessas causas exigiria recursos adicionais por parte da empresa. Inicialmente, seria recomendável fornecer treinamento aos operadores, a fim de padronizar o procedimento de preparação da máquina para a produção e destacar a importância de seguir um padrão.

Além disso, como uma proposta de melhoria para a empresa, é importante enfatizar a necessidade de realizar o controle de qualidade no recebimento das matérias-primas e calibração da máquina de selagem das embalagens e do instrumento de teste de tração. Também é fundamental monitorar as variáveis mais críticas para obter resultados mais rápidos, permitindo a tomada de decisões para aprimorar o processo.

### 6. Conclusões

No estudo em questão, foi aplicada a carta de controle X-Barra/R com o objetivo de determinar se o processo estava sob controle, com base nas variações entre as amostras. Além disso, utilizou-se o gráfico CUSUM para identificar desvios na média do processo, visando confirmar os resultados obtidos. A análise revelou que o processo estava fora de controle estatístico durante a fase de cálculo. Foi observado que várias amostras apresentaram valores além dos limites de controle, e o gráfico CUSUM indicou um deslocamento da média também fora dos limites de controle.

Além das análises mencionadas, foram calculados os índices de desempenho quais indicaram um desempenho insatisfatório do processo. Os valores de Pp e Ppk foram inferiores a 1, evidenciando que o processo não estava atendendo aos requisitos de qualidade.

Com base nessas constatações, foi realizado um estudo, incluindo a elaboração de um diagrama de causa e efeito, com o intuito de identificar as possíveis causas que contribuíram para a falta de controle estatístico do processo. Entre as principais causas identificadas, destacam-se a falta de treinamento de alguns operadores, a ausência de calibração nas máquinas e a ineficiência na aquisição da matéria-prima. Importante afirmar

que os resultados desse estudo aplicam somente ao produto estudado nesse trabalho, não sendo válido para outros produtos fabricados pela empresa.

## Referências

FLORAC, W. et al. **“Measuring the Software Process,”** Addison-Wesley, 1999.

KELLER, A. P. **The relationship between process capability studies and process control limits.** QUALITYAMERICA.COM. 2001. Disponível em: <<http://www.Qualityamerica.Com/knowledgecente/articles/PAKProCap1.htm> >. Acesso em: 14 jun. 2023.

LONGENECKER, J.; MOORE, C.; PETTY, J.W. **Administração de pequenas empresas: Ênfase na gerência empresarial.** São Paulo: Makron Books, 1997.

LOSADA, G. **Controle estatístico de processos.** Porto Alegre: Sagah, 2017.  
MARQUEZ, V. R.M.; FERMÍN, S.J. (2010). **Estimação de índices de capacidade de processo usando a distribuição generalizada de Pareto.** Engenharia Industrial. (N. 2, pp. 93-106). Venezuela

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção.** SARAIVA, 2005.

MIRANDA, R. L. **Qualidade Total: Rompendo as barreiras entre a teoria e a prática.** São Paulo: Makron Books, 1994.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2ª edição, 2016.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** Ed. LTC, 2021. ISBN: 9788521637332

NETTO, A. P. **Controle estatístico do processo.** Indaial: UNIASSELVI, 2017.

RIBEIRO, José Luís Duarte. CATEN, Carla Shwengher ten. **Série monográfica qualidade – controle estatístico do processo.** FEEng, Rio Grande do Sul, 2012.

ROSA, L. C. **Introdução ao controle estatístico de processos.** Santa Maria: Editora da UFSM, 2009.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico da Qualidade.** Rio de Janeiro, Elsevier, 2009.

WERKENA, M. C. C. (2000). **Ferramenta estatística básica para o gerenciamento de processo.** Belo Horizonte, MG: Cristiano Ottoni

WILSON, M. P. **Seis Sigma: compreendendo o conceito, as aplicações e os desafios.** Rio de Janeiro: Quaitymark, 1999.