

## Aplicativo Computacional para Análise de Capacidade de Processo de Produção

### Software for Analysis of Capacity of Production Process

Flavia Sayuri Miura<sup>1</sup>, José Airton Azevedo dos Santos<sup>2</sup>, Carla Adriana Pizarro Schmidt<sup>3</sup>.

#### RESUMO

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma técnica muito utilizada para analisar, monitorar, gerenciar e recuperar a performance de processos de fabricação. Cartas de Controle são ferramentas poderosas do Controle Estatístico de Processos. Estas cartas permitem, por meio de informações de amostras, identificarem problemas em processos industriais. Muitos softwares comerciais para construção destas cartas estão disponíveis no mercado. Contudo, podem ser caros e apresentar restrições de licença e uso. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma aplicação Python, denominada CeCad, para elaboração de cartas de controle (paramétricas e não paramétricas) e análise de capacidade de processos de produção. Atualmente, esta aplicação apresenta as cartas de controle  $\bar{X}$ -R e  $\bar{X}$ -S e cálculo de índices de capacidade de processo. Contempla também o cálculo de intervalo de confiança por meio da técnica de reamostragem *bootstrap*. São apresentados resultados da análise de um processo de produção de frascos plásticos. Foram pesados, na indústria, 160 frascos plásticos de 100 mililitros. Verificou-se que o índice de capacidade  $C_{pk}$  esta abaixo de um o que classifica o processo como incapaz.

**Palavras-chave:** Controle estatístico de processo. Python. *Bootstrap*.

#### ABSTRACT

Statistical Process Control (SPC) is a technique widely used to analyze, monitor, manage and recover the performance of manufacturing processes. Control Charts are powerful Statistical Process Control tools. These charts allow, through sample information, to identify problems in industrial processes. Many commercial software for building these charts are available in the market. However, they can be expensive and present license and usage restrictions. In this context, this work aimed to develop a Python application, called CECad, for the preparation of control charts (parametric and non-parametric) and analysis of the capacity of production processes. Currently, this application presents the control charts  $\bar{X}$ -R and  $\bar{X}$ -S and calculation of process capacity indices. It also includes the confidence interval calculation using the bootstrap resampling technique. Results of the analysis of a plastic bottle production process are presented. In the industry, 160 plastic bottles of 100 milliliters were weighed. It has been found that the capacity indices  $C_{pk}$  are below one, which classifies the process as incapable.

**Keywords:** Statistical process control. Python. *Bootstrap*.

<sup>1</sup> Mestranda. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio (PPGTCA). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: flavia.sayuri@copacol.com.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Elétrica. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio (PPGTCA). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: airton@utfpr.edu.br

<sup>3</sup> Doutora em Agronomia. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio (PPGTCA). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: cs910@yahoo.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no mercado mundial, ser competitivo é uma condição essencial para as empresas manterem-se no mercado. O cenário competitivo exige melhoria contínua dos processos. Existem várias ferramentas para promover estas melhorias. Uma das alternativas é a utilização das ferramentas de Controle Estatístico de Processos (CEP). As ferramentas do CEP são: Folha de Verificação, Fluxograma, Histograma, Gráfico de Controle, Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa Efeito e Análise da Capacidade de Processo (GONÇALVES; WERNER, 2018; COSTA et al., 2010).

O Controle Estatístico de Processo permite uma rápida identificação de anomalias, permitindo consistência e previsibilidade no processo, visando à atuação e tomada de decisões na busca de melhorias. Proporciona uma descrição detalhada do comportamento do processo, através da identificação de sua variabilidade (GALUCH, 2002).

Em qualquer processo de produção, a variabilidade estará presente, independente se foi bem ou mal projetado. Por meio de cartas ou gráficos de controle, ferramentas de Controle Estatístico de Processo, consegue-se uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando se o processo está sob controle estatístico. Isto é, se o processo não apresenta causas especiais. As causas especiais de variação surgem esporadicamente e representam um descontrole do processo (OLIVEIRA; LIMA, 2011).

Índices de capacidade de processo podem ser utilizados para verificar se um processo, sob controle estatístico, é capaz de produzir produtos dentro das especificações de projeto (RIBEIRO; CATEN, 2012).

Gráficos de controle, para pequenas amostras ou para dados que não são necessariamente normais, podem ser desenvolvidos por meio do método *bootstrap*. Este método, introduzido por Efron (1979), é baseado na reamostragem dos dados da amostra original, com o mesmo tamanho e reposição dos dados, com o objetivo de estimar uma medida de interesse. Reamostrar permite encontrar intervalos de confiança através da análise de um conjunto de dados (LIO; PARK, 2008).

Para fazer uso das ferramentas do CEP as empresas necessitam adquirir um software específico. Gerando um custo que poderia ser extinto com a utilização de um software livre, implementado, por exemplo, na linguagem Python.

A linguagem Python é uma linguagem de alto nível, muito popular na comunidade científica. Python é uma linguagem de programação de alto nível, de script, orientada a objetos e de tipagem dinâmica e forte. É uma linguagem *open source*, gratuita e tem uma ativa comunidade de programadores (MENESES, 2014).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma aplicação Python, denominada CeCad, para elaboração de cartas de controle (paramétricas e não paramétricas) e análise de capacidade de processos de produção. Tendo, também como objetivo analisar o processo de produção de frascos plásticos em uma indústria de embalagens.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção aborda-se a metodologia utilizada para realizar essa pesquisa, detalhando os métodos propostos para realização dos experimentos, bem como as técnicas utilizadas.

### A Empresa e o Processo de Fabricação:

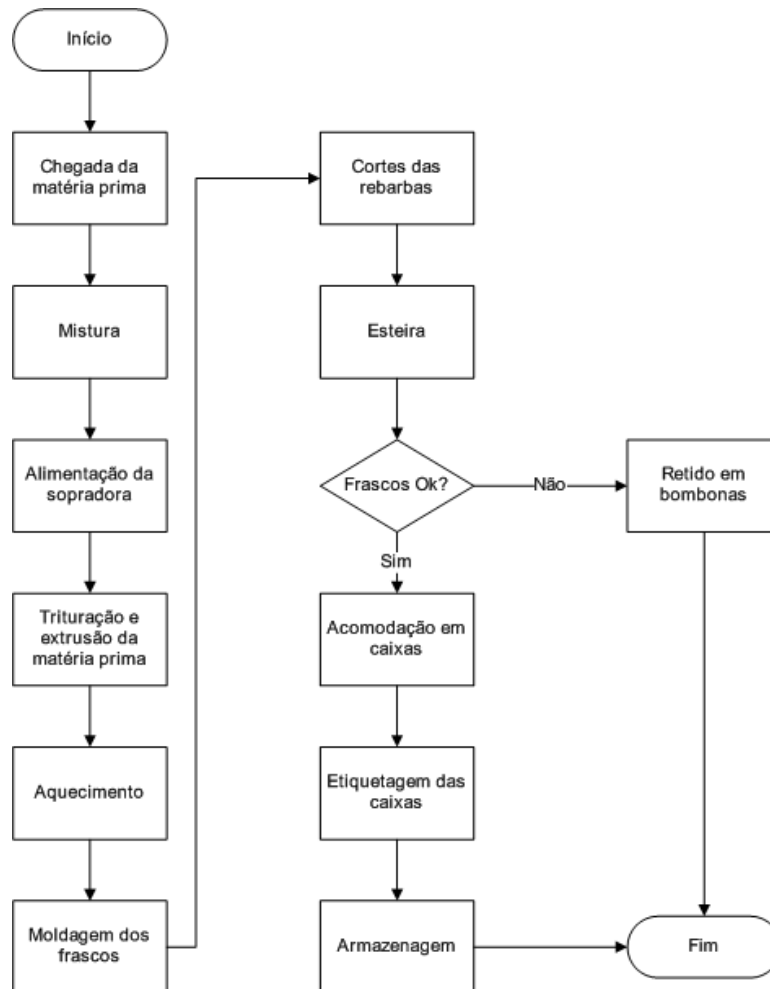
A empresa de embalagens está localizada na Região Oeste Paranaense. Atua no ramo de embalagens há mais de 10 anos e busca desenvolver produtos com agilidade e alto padrão de qualidade. Investe constantemente em pesquisa e desenvolvimento para oferecer aos seus clientes as melhores soluções em embalagens.

O processo de fabricação de frascos plásticos (Figura 1) inicia com a chegada da matéria prima (Polietileno de alta densidade, Pigmento branco, etc). Na sequência, a matéria prima é enviada, na quantidade correta, para um misturador. O processo de mistura leva 20 minutos. O material é armazenado em bombonas e levado para uma máquina sopradora. A mistura é moída e transportada por uma rosca através de um cilindro, sendo fundida pelo calor fornecido por resistências elétricas fixadas na parte externa do cilindro.

Quando passa pela matriz da extrusora, o material toma a forma de uma mangueira chamada *parison*. Então o molde se fecha sobre o *parison*, que é cortado por uma lâmina, antes que um bico de ar seja introduzido no *parison* e sobre-o para que tome a forma do molde. Após um breve período de resfriamento, o molde se abre e ejeta os frascos. Na sequência são encaminhados para uma esteira. Os frascos dentro das especificações são

colocados em caixas, etiquetados e armazenados. Os fora das especificações são colocados em bombonas no final da linha de produção.

O fluxograma do processo é apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Fluxograma do processo de fabricação

#### Recursos Utilizados:

Para a implementação do aplicativo foi utilizado um notebook dotado do sistema operacional Linux Deepin 64 bits, com o editor PyCharm Community e o Python 3.6.2.

O PyCharm é um IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) utilizado para programação em Python, que possui diversos recursos extremamente úteis e que facilitam as tarefas de desenvolvimento de software (Menezes, 20-14).

#### O Software CeCad:

O CeCad (Figura 2) foi concebido como uma ferramenta capaz de realizar análise de estabilidade e capacidade de processos de produção. Os modelos matemáticos implementados no aplicativo permitem obter: gráficos *boxplot* e de normalidade, cartas  $\bar{X}$ -R,  $\bar{X}$ -S e *bootstrap* e calcular os índices de capacidade de processos de produção.



**Figura 2.** O software CeCad

Este aplicativo pode ser visto como uma alternativa aos softwares comerciais, caros e muitas vezes de difícil compreensão pelos colaboradores de pequenas empresas.

O algoritmo, do CeCad, está estruturado de modo a minimizar a intervenção do usuário, ficando ao seu cargo a construção do arquivo de entrada (\*.csv), escolher no menu de botões as opções desejadas e analisar os resultados obtidos do software.

A seguir apresenta-se uma breve descrição dos módulos do aplicativo.

*Print:* Salva um arquivo (\*.png) do gráfico escolhido.

*BoxPlot:* Neste módulo são construídos os gráficos *boxplots*, dos dados de entrada, com o objetivo de verificar a presença de *outliers*.

*Normal:* Neste módulo realiza-se o teste de normalidade – os resultados deste teste indicam se os dados são provenientes de uma população normalmente distribuída. Neste módulo é apresentado o resultado do teste de Shapiro-Wilk juntamente com um gráfico de probabilidade normal.

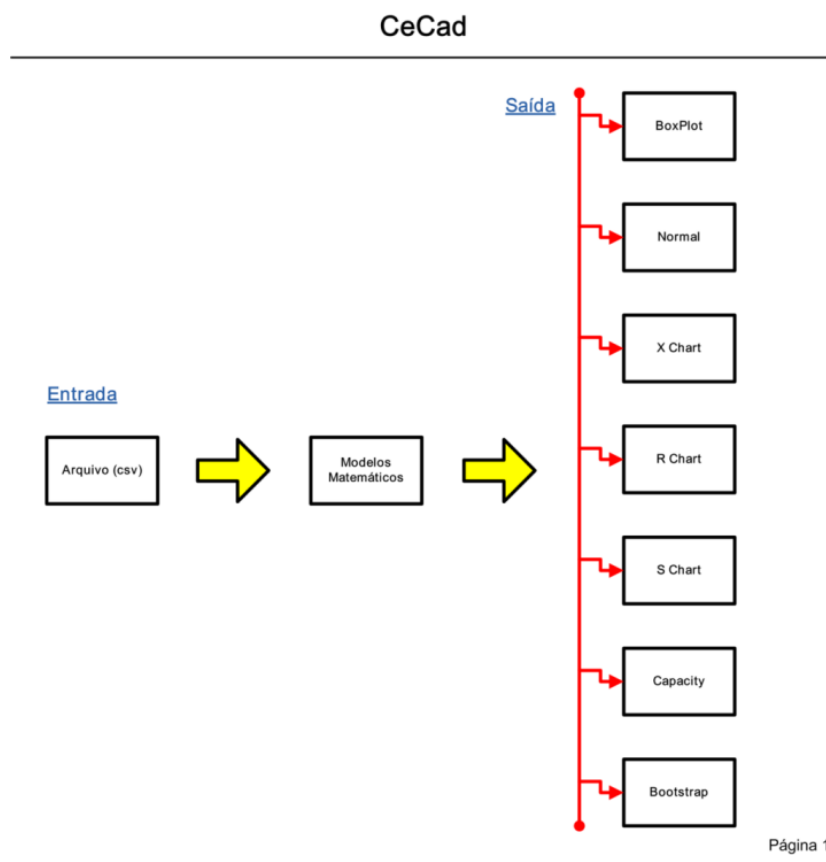
*X Chart:* Neste módulo são construídas as cartas X – média.

*R Chart*: Neste módulo são construídas as cartas R – amplitude.

*S Chart*: Neste módulo são construídas as cartas S – desvio padrão.

*Capacity*: Neste módulo apresentam-se os índices de capacidade e um histograma. A curva no histograma é uma curva de distribuição normal que é gerada utilizando-se a média do processo.

Na Figura 3 é apresentado o fluxograma simplificado do princípio de funcionamento do CeCad.



**Figura 3.** Diagrama de blocos do aplicativo

Cartas de Controle Paramétricas:

### Cartas $\bar{X}$ -R

Os parâmetros  $\bar{X}$  (média da amostra) e  $\bar{\bar{X}}$  (média geral) são calculados por (Montgomery, 2004; Nowikowski, 2019):

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \quad \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m}$$

Onde:  $X_i$  são os valores medidos;  $n$  é o tamanho da amostra e  $m$  é o número de amostras medidas.

A amplitude  $R$  é calculada da diferença entre o maior e o menor valor da amostra.

$$R = X_{max} - X_{min}, \quad \bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \dots + \bar{R}_m}{m} \quad 2$$

Onde  $\bar{R}$  é a amplitude média.

Os Limites Superior de Controle (LSC) e Inferior de Controle (LIC) da carta são calculados por:

$$LSC = \bar{X} + A_2\bar{R}, \quad LC = \bar{X}, \quad LIC = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad 3$$

Os limites de controle da carta  $R$  são calculados por:

$$LSC = D_4\bar{R}, \quad LC = \bar{R}, \quad LIC = D_3\bar{R} \quad 4$$

Onde  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  são parâmetros tabelados, utilizados para construção dos gráficos.

### Cartas $\bar{X}$ -S

As equações para estas cartas são:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad \bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_m}{m} \quad 5$$

Os limites de controle da carta  $\bar{X}$  são calculados por:

$$LSC = \bar{X} + A_3\bar{S}, \quad LC = \bar{X}, \quad LIC = \bar{X} - A_3\bar{S} \quad 6$$

Os limites de controle da carta  $S$  são calculados por:

$$LSC = B_4\bar{S}, \quad LC = \bar{S}, \quad LIC = B_3\bar{S} \quad 7$$

Onde  $A_3$ ,  $B_3$  e  $B_4$  são parâmetros tabelados, utilizados para construção dos gráficos.

### Causas Especiais:

Para Galuch (2002), é a faixa entre os limites de controle que definirá a variação aleatória no processo. Se os pontos traçados no gráfico estiverem dentro dos limites de controle e estiverem dispostos de forma aleatória, pode-se dizer que o processo está sob controle estatístico. Caso contrário, se um ou mais pontos estiverem fora dos limites de

controle ou estiverem dispostos de forma não aleatória, pode-se dizer que o processo está fora de controle estatístico. Isto é, apresenta causas especiais. No software CeCad o processo apresenta causas especiais se:

- 1 ou mais pontos acima do LSC ou abaixo do LIC;
- 9 pontos consecutivos na zona C ou no mesmo lado do LC (Figura 4);
- 2 de 3 pontos consecutivos na zona A ou além dela;
- 4 de 5 pontos consecutivos na zona B ou além dela.

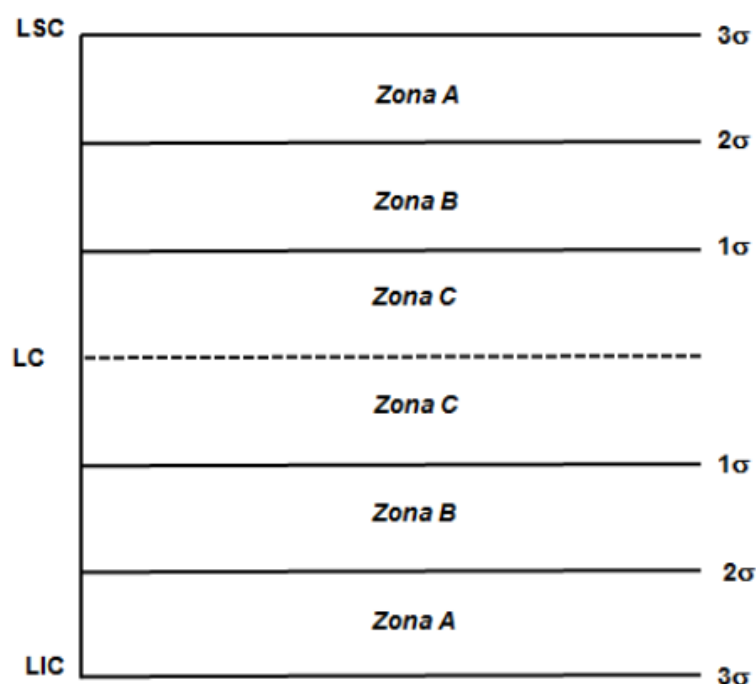


Figura 4. Zonas A, B e C do gráfico de controle

#### Bootstrap:

Considere uma amostra de tamanho  $n$ ,  $x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , com origem em uma distribuição  $F$  (amostra original). Uma amostra *bootstrap*,  $x^* = x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*$  pode ser obtida  $n$  vezes por meio de uma amostragem aleatória. Estas amostras podem ser obtidas da amostra original  $x$  rearranjando os seus  $n$  elementos. Alguns poderão não aparecer nas amostras outros aparecerão com mais frequência (BESSEGATO et al., 2014). Para cada amostra *bootstrap* pode-se, por exemplo, calcular a média  $\theta^* = \theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*, \dots, \theta_n^*$ .

Suponha que foi gerada 1000 amostras *bootstrap* para obter as médias amostrais. Classificadas em ordem crescente tem-se:  $\theta^* = \theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*, \dots, \theta_{1000}^*$ . Para um nível de



confiança de 95% tem-se um intervalo de confiança de  $[\theta_{25}^*, \theta_{975}^*]$ . Geralmente, para um tamanho de amostra  $n$  e um intervalo de confiança  $\alpha$ , a posição no conjunto ordenado de médias reamostradas corresponde aos limites do intervalo de confiança *bootstrap* empírico, dado por (EDOPPKA; OGBEIDE, 2013):

$$[n(1 - \alpha)/2, n(1 + \alpha)/2] \quad 8$$

Segundo Park (2009), utilizar o método *bootstrap* não implica que os outros devem ser ignorados, podendo ele ser empregado como um complemento na argumentação das conclusões obtidas.

#### Capacidade de Processo:

Um processo mesmo com variabilidade controlada e previsível pode produzir itens defeituosos. Conseqüentemente, não é suficiente colocar o processo sobre controle e dizer que o processo é capaz de atender as especificações do cliente (ALENCAR et al., 2004; LIMA, et al., 2017).

O estudo da capacidade de um processo é comparar a variabilidade própria do produto com as exigências ou especificações para o produto. Os índices de capacidade ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) implementados no software são obtidos por (Equação 9):

$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma}, \quad C_{pk} = \min \left\{ \frac{LTS - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LTI}{3\sigma} \right\} \quad 9$$

Onde: LTS: Limite de tolerância superior; LTI: Limite de tolerância inferior e  $\sigma$ : Desvio padrão estimado. Índices de capacidade maiores que 1,33 indicam um processo capaz.

#### Validação dos Resultados:

A validação dos resultados obtidos do CeCad foi realizada por meio da comparação com resultados obtidos do software Statística 11.0. O software Statística é um software comercial utilizado para análise estatística de dados. É um software amplamente utilizado pela comunidade acadêmica no mundo inteiro, o que torna válida a comparação dos resultados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Interpretação da Estabilidade do Processo:

Inicialmente, devido a carta  $\bar{X}$  ser sensível a *outliers*, analisou-se os dados de entrada do processo de produção, por meio do gráfico *BoxPlot* (Figura 5). Não foram observados valores fora da normalidade (*outliers*). Na sequência, para avaliar se o processo de produção estava sobre controle estatístico, isto é não apresentava causas especiais, utilizaram-se os gráficos de  $\bar{X}$  e R (Média e Amplitude) e *Bootstrap*.

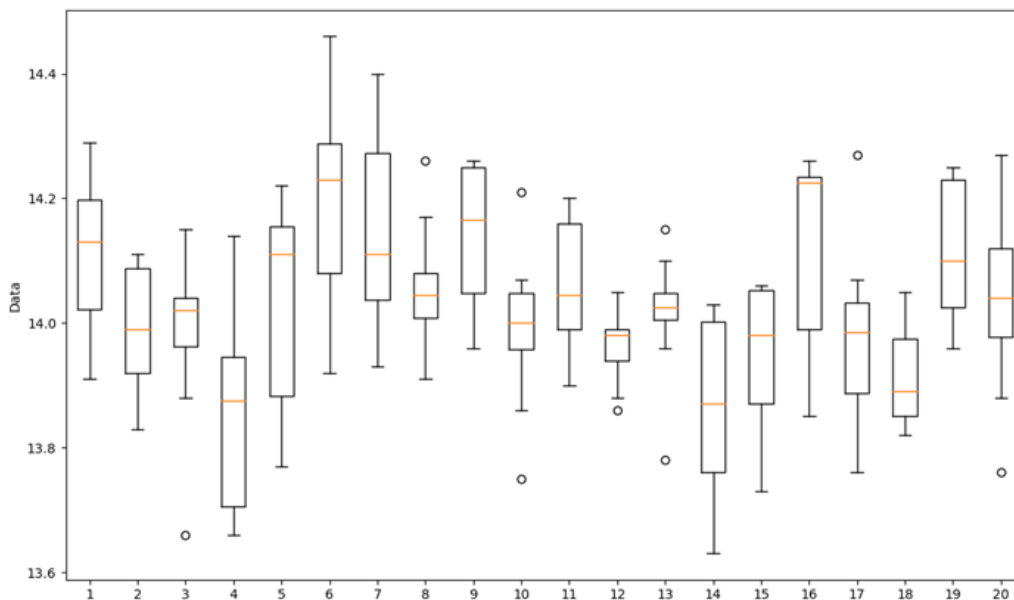


Figura 5. *Boxplots*

Nas Figuras 6 e 7, apresentam-se os gráficos de  $\bar{X}$  (abordagem paramétrica) e de  $\bar{X}$  por *bootstrap*.

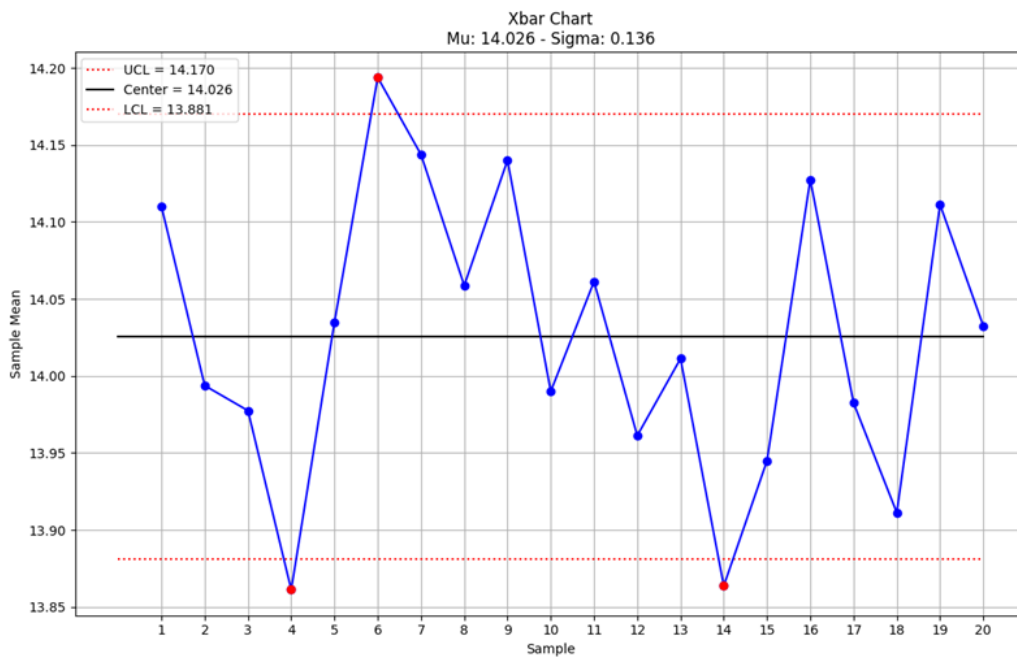


Figura 6. Carta de controle  $\bar{X}$  (paramétrica)

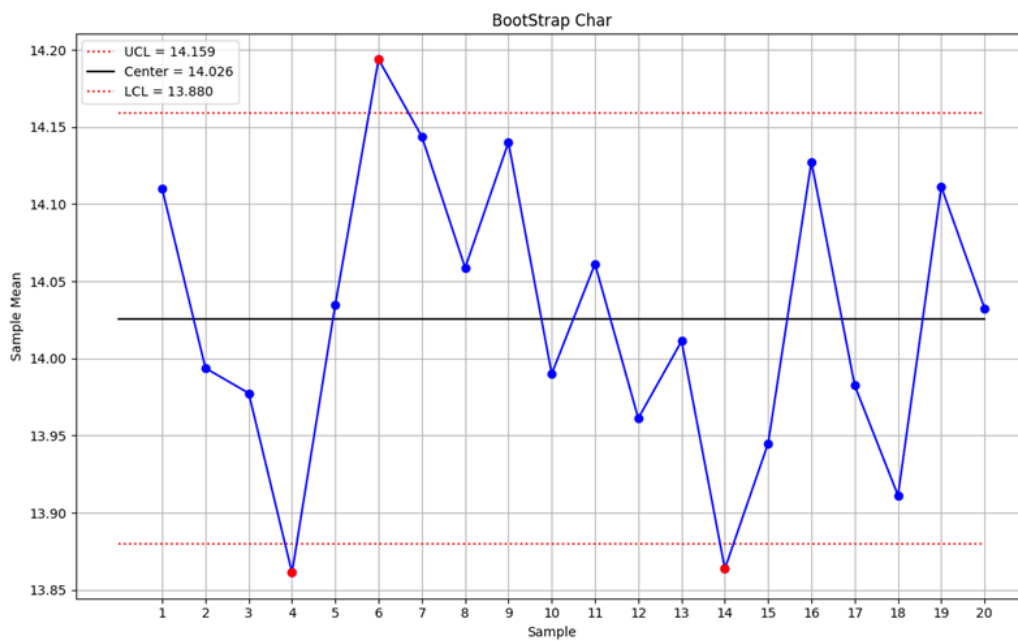
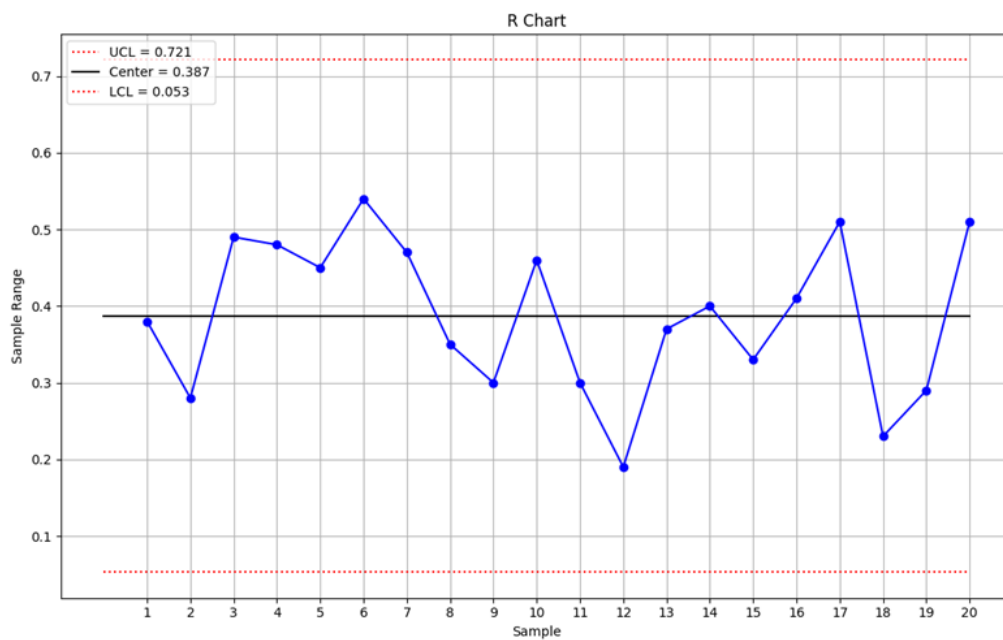


Figura 7. Carta de controle  $\bar{X}$  (bootstrap)

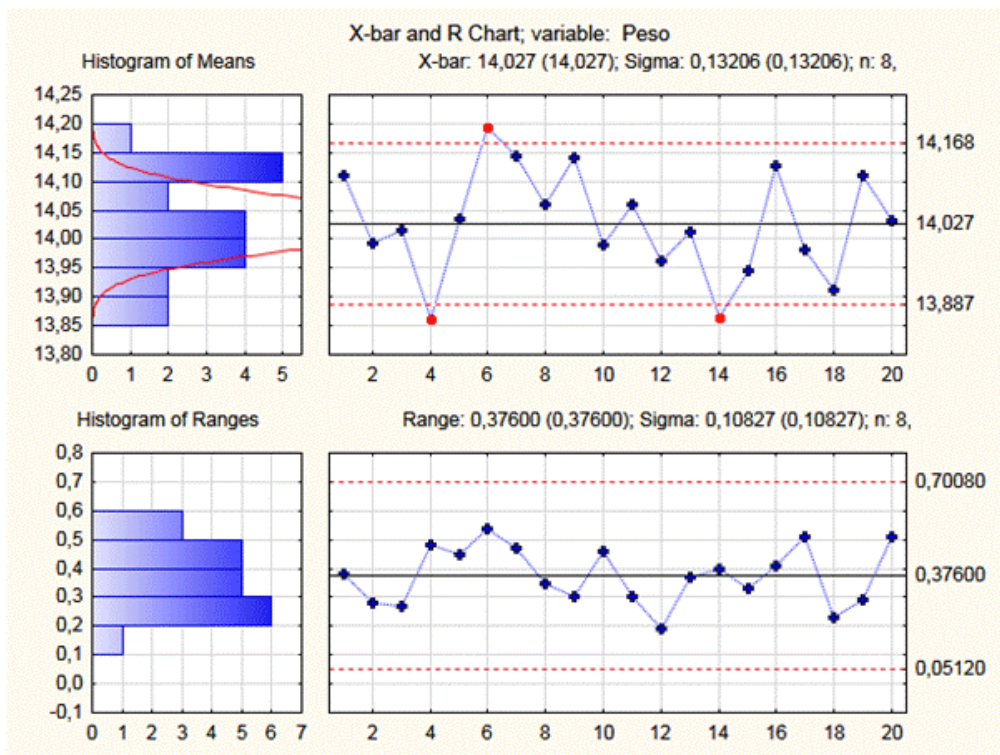
Nestes gráficos os limites superiores de controle alcançaram os valores de 14,170g (paramétrica) e 14.1159g (bootstrap) e os limites inferiores 13,881g (paramétrica) e 13.880g (bootstrap). Valores muito próximos para as duas abordagens. Observa-se, também, que as amostras 4, 6 e 14 apresentam causas especiais. Isto é, as amostras estão fora dos limites de controle. Na Figura 8 apresenta-se o gráfico de R.



**Figura 8.** Carta de controle  $R$  (paramétrica)

Identificou-se, em reunião realizada na empresa com funcionários do setor de produção dos frascos plásticos, que as prováveis causas de problemas, na fabricação de frascos, estavam relacionadas com os ajustes dos parâmetros da máquina (por exemplo, variação da pressão do ar) e com a quantidade de massa (*parison*) utilizada na confecção dos frascos. Sendo que, para a variável peso dos frascos plásticos, a principal causa de variabilidade está relacionada com a quantidade de massa. Quando a quantidade massa, para fabricação dos frascos, está correta existe pouca variabilidade no peso.

Para validar os resultados obtidos do software CeCad, apresentam-se, na Figura 9, os gráficos de  $\bar{X}$  e  $R$  obtidos por meio do software Statistica 11.0.



**Figura 9.** Gráficos de controle no software Statistica

Na Tabela 1 apresentam-se os Limites Superiores de Controle (LSC) e os Limites Inferiores de Controle (LIC) para os dois softwares.

**Tabela 1.** Limites de controle – CeCad e Statistica

| Softwares  | X      |        | R     |        |
|------------|--------|--------|-------|--------|
|            | LSC    | LIC    | LSC   | LIC    |
| CeCad      | 14,17  | 13,881 | 0,721 | 0,053  |
| Statistica | 14,168 | 13,887 | 0,701 | 0,0512 |

Por meio dos resultados, da Tabela 1, observa-se que os valores obtidos tanto para os Limites Superiores de Controle quanto para os Limites Inferiores de Controle apresentam resultados muito próximos para os dois softwares. Como este é um estudo inicial do processo, recalcularam-se os limites de controle excluindo as três amostras, que numa implantação normal do CEP, teriam sido corrigidas. Observou-se que os pontos, plotados no gráfico, ficaram dentro dos limites de controle, indicando que o processo está estatisticamente estável (Figuras 10 e 11).

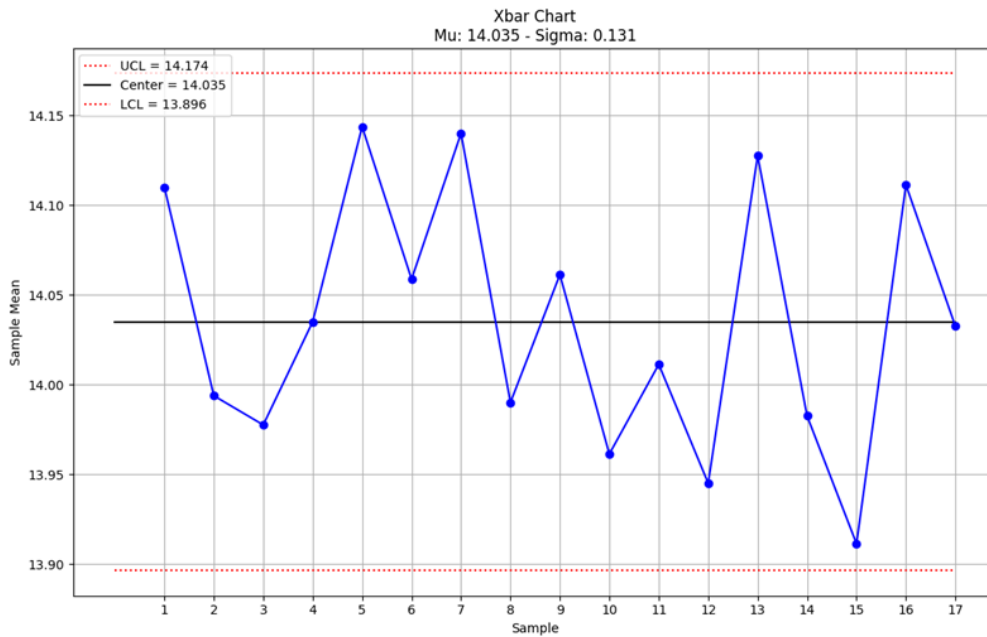


Figura 10. Carta de controle  $\bar{X}$  (paramétrica)

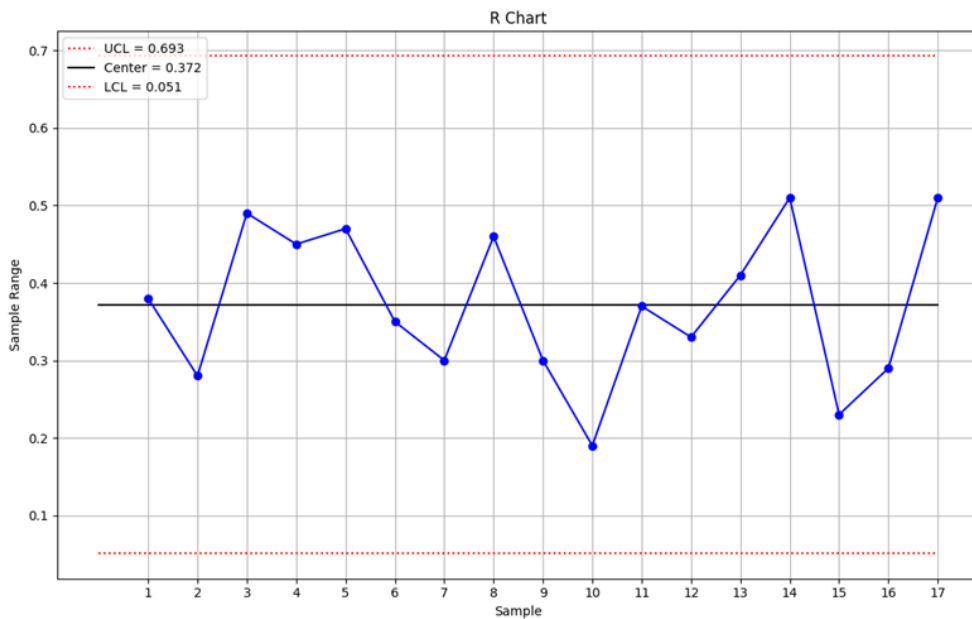
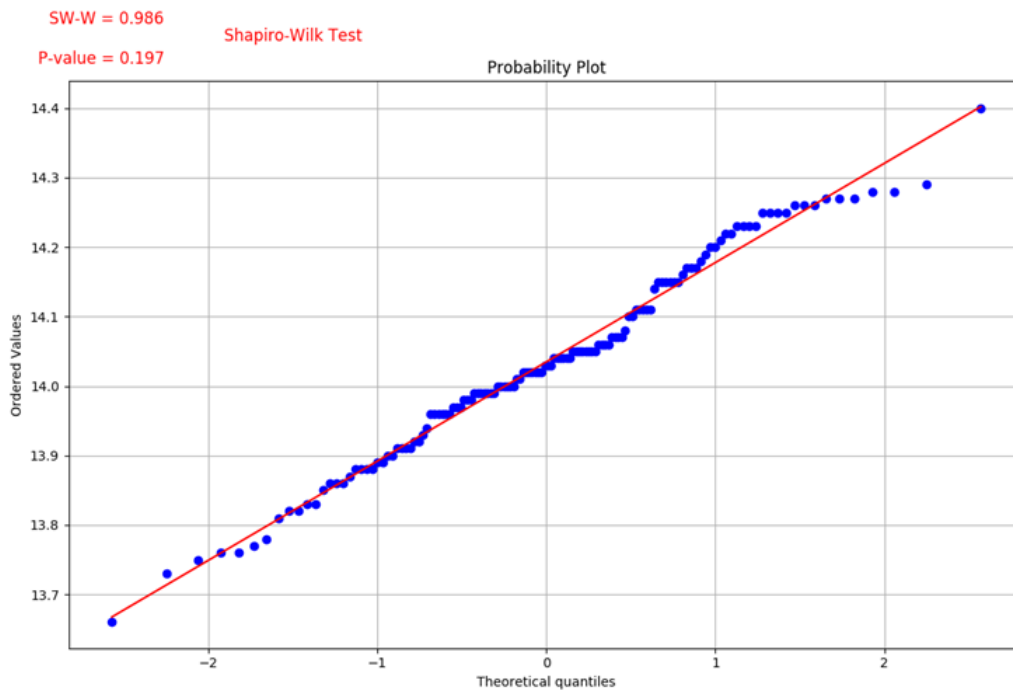


Figura 11. Carta de controle  $R$  (paramétrica)

Teste de Normalidade:

Quando trata-se do estudo de capacidade de um processo, tem que se ter cuidado especial com a normalidade dos dados. Na Figura 12 apresenta-se o gráfico de probabilidade normal. Quanto mais perto os dados estiverem da reta, mais próximos estarão de uma distribuição normal. Os dados também foram submetidos ao teste de

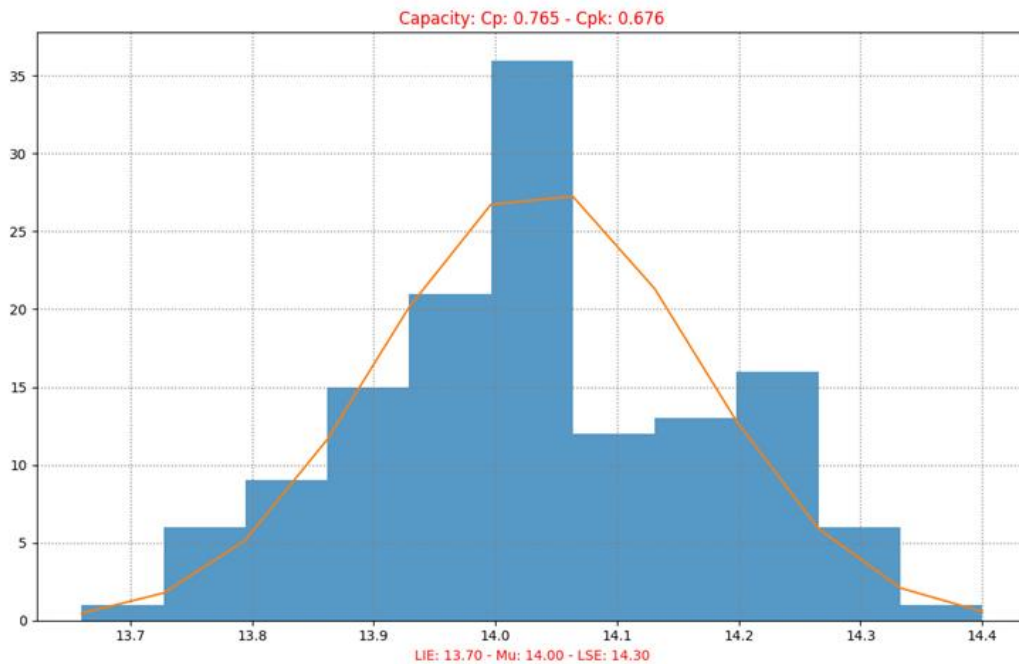
Shapiro-Wilk para verificação de sua normalidade. Como o valor de  $p$  foi maior que 0.05 ( $p > 0.05$ ), a distribuição dos dados foi considerada normal.



**Figura 12.** Distribuição de dados coletados na indústria de frascos em torno da reta

Interpretação da Capacidade do Processo:

Verificada a estabilidade do processo quantificou-se sua capacidade usando o índice  $C_{pk}$ . A empresa, segundo seu Departamento de Engenharia, tem um valor alvo para os frascos plásticos de 14g com a seguinte variação (13,7g - 14g - 14,3g). Na Figura 13 apresentam-se o histograma e o índice de capacidade. Nesta Figura é possível observar que o processo não é capaz, segundo o cálculo do  $C_{pk}$ , pois seu valor calculado ficou abaixo de 1,33. Portanto, pode-se deduzir que o processo de produção não é preciso para produzir frascos com a qualidade requerida pela empresa.



**Figura 13.** Histograma e Índices de Capacidade – Frascos

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme estabelecido nos objetivos deste trabalho, foi desenvolvida uma aplicação Python para elaboração de cartas de controle e análise de capacidade de processo de produção.

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica que contemplasse a fundamentação teórica que seria utilizada na elaboração deste trabalho. Procurou-se informações que pudessem contribuir para a compreensão do processo estudado, dos produtos fabricados, dos conceitos de controle estatístico de processo e implementação do software CeCad. Essas informações permitiram a seleção das ferramentas incorporadas na metodologia sugerida.

Na sequência, em resultados e discussões, a aplicação inicial dos gráficos de controle, para o processo de produção de frascos plásticos, apontou que três amostras não encontravam-se entre os limites superior e inferior de controle. Portanto, o processo apresentava causas especiais. Devidas principalmente a medida de quantidade de massa necessária para produção dos frascos. Com a retirada das causas especiais observou-se que processo estava sobre controle estatístico e os dados seguiam uma distribuição normal, condição necessária para o estudo de capacidade do processo.



Observou-se, para carta  $\bar{X}$ , que a técnica de reamostragem *bootstrap*, obteve resultados muito próximos dos resultados obtidos pela abordagem paramétrica, para o processo analisado neste trabalho.

Pela análise dos resultados de capacidade percebeu-se que o processo produtivo não é capaz de produzir todos os frascos dentro das expectativas dos clientes, mesmo quando estão sob controle estatístico. Este fato demonstra que melhorias precisam ser feitas em relação ao processo de produção, para que todos os produtos obtenham valores mais próximos da média, aumentando consequentemente a capacidade dos processos de atender as especificações.

As ferramentas implementadas, neste trabalho, podem ser aplicadas em outras etapas dos processos de produção da indústria analisada, contribuindo significativamente para a redução e/ou eliminação de falhas nos processos de produção, permitindo o atendimento das metas definidas pela empresa.

Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se a implementação, no software CeCad, das cartas de controle por variáveis (CUSUM (soma cumulativa) e I e MR (valores individuais e amplitude móvel) e as cartas de controle por atributo.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. R. B. Uso do Controle Estatístico de Processo (CEP) para Validação de Processo de Glibenclamida Comprimidos. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 85, n. 3, p. 115-119, 2004.

BESSEGATO, L. F.; LOURES, A. P.; OLIVEIRA, F. L. P. **Desempenho de estimativas bootstrap por subgrupos dos limites de gráficos de controle: um estudo comparativo**. In: EMEPRO, Juiz de Fora, 2014.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K. CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2<sup>a</sup>.ed. São Paulo: Atlas, 334 p., 2010.

EDOPPKA, I. W.; OGBEIDE, E. M. Bootstrap approach control limit for statistical quality control. **International Journal of Engineering Science Invention**, v.2, n.4, p. 28-33, 2013.

EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. **Annals of Statistics**, v.7, p.1-23, 1979.

GALUCH, L. **Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle estatístico do processo - CEP em pequenas empresas manufatureiras**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84077/192207.pdf?sequence=1>. Acessado em 13 de Março de 2018.

GONÇALVES, P. U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuição não-normais. **Gestão da Produção. São Carlos**, v.16, n.1, p. 121-132, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a12>>. Acessado em: 23 de maio de 2018.

LIMA, D. V.; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. Análise da Capacidade do Processo de Fabricação de Frascos Plásticos: Um Estudo de Caso em uma Empresa de Embalagens. **Revista FSA**, v. 14, n.5, 2017.

LIO, Y. L.; PARK, C. A Bootstrap control chart for Birnbaum-Saunders percentiles. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 24, n.5, p. 585-600, 2008.

MENEZES, N. N. C. **Introdução a programação com Python**. São Paulo: Novatec, 2014.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

NOWISKOWSKI, M. SPC Statistical process control. Disponível em: [https://github.com/wingr/pywing/blob/master/pywing/change\\_point/spc.py](https://github.com/wingr/pywing/blob/master/pywing/change_point/spc.py). Acessado em 19 de Abril de 2019.

OLIVEIRA, T. S.; LIMA, R. H. P. Aplicação do controle estatístico de processo na mensuração da variabilidade em uma usina de etanol. **INGEPRO**, v.3, n.6, 2011.

PARK, H. I. Median control charts based on bootstrap method. **Communications in Statistics – Simulation and Computation**, v.38, n3, p. 558-570, 2009.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. T. **Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição**. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012.

...