



## APLICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO EM UMA LINHA DE EMBALAGEM DE FRUTAS

APPLICATION AND SYSTEMATIZATION OF STATISTICAL PROCESS CONTROL IN A FRUIT PACKAGING LINE

APLICACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO EN UNA LÍNEA DE EMPAQUE DE FRUTAS

Diego Jean de Melo <sup>1\*</sup>, Laila Alves da Silva <sup>2</sup>, Anderson Paulo de Paiva <sup>3</sup>, & Roberto da Costa Quinino <sup>4\*</sup>

<sup>1,3</sup>Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). <sup>2,4</sup>Departamento de Estatística (DEST), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

<sup>1\*</sup> [diegojeanmelo@gmail.com](mailto:diegojeanmelo@gmail.com) <sup>2</sup> [lailaalves04@gmail.com](mailto:lailaalves04@gmail.com) <sup>3</sup> [andersonppaiva@unifei.edu.br](mailto:andersonppaiva@unifei.edu.br) <sup>4</sup> [robertoquinino@ufmg@yahoo.com.br](mailto:robertoquinino@ufmg@yahoo.com.br)

### ARTIGO INFO.

Recebido: 16.02.2022

Aprovado: 21.06.2022

Disponibilizado: 01.07.2022

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura; Capacidade de Processo; Gráfico de Controle; CEP; Industria 4.0.

**KEYWORDS:** Agriculture; Process Capability; Control Chart; SPC; Industry 4.0.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura; Capacidad de procesamiento; Tabla de control; Ficha técnica; Industria 4.0

\*Autor Correspondente: Melo, D. J., de.

### RESUMO

A agricultura é um dos segmentos mais importante na economia mundial, responsável por alavancar o PIB de muitos países como China, Brasil, Índia e Estados Unidos. Com tal grande representatividade, o desenvolvimento e aplicação de ferramentas de melhoria nesse seguimento se torna altamente relevante. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo apresentar a aplicação do Controle Estatístico do Processos (CEP) integrado com o conceito de Industria 4.0 para reduzir perdas de processo em uma linha de embalagem de uma empresa de fruticultura. Das ferramentas que compõe o CEP foram utilizadas a análise de capacidade e o gráfico de controle I-MR integradas em um sistema digital e online a fim de analisar a adequação do processo com as expectativas do cliente. Os resultados da aplicação do sistema foi a redução na perda por embalagens com peso fora dos padrões de especificação, tendo uma redução da média do peso embalado em 8,10%, e desvio da média do processo para o alvo de apenas 0,17%. O processo também se tornou mais robusto, com uma redução do desvio padrão em 68,33%. Assim é possível concluir a eficiência da aplicação do CEP com um sistema digital para obtenção melhores resultados nos processos agrícolas.

### ABSTRACT

Agriculture is one of the most important segments in the world economy, responsible for leveraging the GDP of many countries such as China, Brazil, India and the United

States. With such great representation, the development and application of improvement tools in this segment becomes highly relevant. In this sense, this article aims to present the application of Statistical Process Control (SPC) integrated with the concept of Industry 4.0 to reduce process losses in a packaging line of a fruit growing company. Of the tools that make up the CEP, the capacity analysis and the I-MR control chart were integrated into a digital and online system in order to analyze the suitability of the process with the customer's expectations. The results of the application of the system were the reduction in the loss of packages with weight outside the specification standards, having a reduction of the average of the packaged weight in 8.10%, and deviation from the average of the process to the target of only 0.17%. The process has also become more robust, with a standard deviation reduction of 68.33%. Thus, it is possible to conclude the efficiency of the application of the CEP with a digital system to obtain better results in agricultural processes.

### RESUMEN

La agricultura es uno de los segmentos más importantes de la economía mundial, responsable de apalancar el PIB de muchos países como China, Brasil, India y Estados Unidos. Con tan gran representatividad, el desarrollo y aplicación de herramientas de mejora en este segmento cobra gran relevancia. En este sentido, este artículo tiene como objetivo presentar la aplicación del Control Estadístico de Procesos (SPC) integrado con el concepto de Industria 4.0 para reducir las pérdidas de proceso en una línea de envasado de una empresa frutícola. De las herramientas que componen el CEP, se integró a un sistema digital y en línea el análisis de capacidad y el cuadro de control I-MR para analizar la adecuación del proceso con las expectativas del cliente. Los resultados de la aplicación del sistema fueron la reducción de la pérdida de paquetes con peso fuera de los estándares de especificación, teniendo una reducción del promedio del peso del paquete en 8.10%, y desviación del promedio del proceso a la meta de solo 0.17%. El proceso también se ha vuelto más robusto, con una reducción de la desviación estándar del 68,33%. Así, es posible concluir la eficiencia de la aplicación del CEP con un sistema digital para obtener mejores resultados en los procesos agrícolas.



## INTRODUÇÃO

A qualidade se tornou um dos principais pilares das empresas, independentemente de seu setor. Isso devido ao aumento das exigências dos clientes, aumentando assim a competitividade entre as empresas (Fonseca, Gomes, Santos, & Peruchi, 2019). Ross (2017) destaca que a qualidade deve ser a preocupação de todos em uma organização, de forma a buscar sempre sua melhoria com o objetivo de satisfazer os anseios dos clientes.

Os resultados financeiros e desempenho da organização devem ser considerados como um reflexo da eficiência da melhoria contínua do sistema de qualidade (American Society for Quality, 2000). O decréscimo da qualidade resulta em um maior custo de produção, causados pela realização de atividades de retrabalho, refugo de produtos e até mesmo perda de cliente, fazendo assim com que a qualidade se torne uma métrica importante para as corporações (Sower, Quarles, & Broussard, 2007).

Montgomery e Runger (2020) afirmam que a qualidade de um produto ou serviço depende dos desejos e expectativas dos clientes, em que esses desejos e expectativas devem ser transcritos em valores mensuráveis, podendo dessa forma ser analisados. Haq e Munir (2021) destacam que de todas as classificações de qualidade a de conformidade medida (comparação com as especificações) é fundamental para processos já instalados.

Oakland e Oakland (2018) destacam que é necessário para as operações (i) saber se o processo é capaz de atender os requisitos dos clientes, (ii) saber se o processo ao longo do tempo está em conformidade com os requisitos e (iii) corrigir ou ajustar o processo ou suas entradas caso não estejam atendendo os requisitos.

Para atender as exigências de clientes, os produtos ou serviços devem ser executados por um processo estável e replicável, sofrendo a menor oscilação possível em torno das dimensões-alvo definidas (Montgomery & Runger, 2020). Na busca para garantir tal processo com estas características, o controle estatístico de processos (CEP), composto por um conjunto de ferramentas, se torna um dos principais meios (Montgomery, 2019).

Durante os anos, o CEP vem sendo utilizado com maior frequência, sendo primordial na qualidade e produção (Raju, Lee, Riaz, Abujiya, & Abbas, 2021). O CEP está se disseminando em diversas áreas, sendo aplicado em setores como de saúde (Knauer, Godden, Dietrich, Hawkins, & James, 2018; Wiemken, Furmanek, Mattingly, Wright, Persaud, Guinn, Carrico, Arnold, & Ramirez, 2018), indústrias manufatureiras (Oliveira, Santos, Silva, & Röder, 2018; Peruchi, Rotela, Brito, Paiva, Balestrassi, & Araújo, 2020), indústria de alimentos (Lim, Antony, & Arshed, 2017; Prata, Chaves, Gomes, & Passos, 2020) prestação de serviços (Mirzaei, Niroomand, & Zare, 2016; Vetter, & Morrice, 2019), entre outros.

Apesar da importância e da expansão do conhecimento e utilização do CEP, o setor agrícola pouco utiliza esse conceito. Alguns segmentos dentro da agricultura começaram a utilizar o CEP, como no cultivo de soja (Zerbato, Furlani, Ormond, Girio, Carneiro, & Silva, 2017) e café (Soela, Vitória, Oliveira, Crause, Freitas, & Locatelli, 2020).

A fruticultura é um dos principais segmentos da agricultura, gerando empregos e desenvolvimento em todo mundo, sendo de grande destaque na economia de muitos países. O



aumento da população mundial juntamente com a modificação dos hábitos alimentares faz com que a demanda por frutas aumente (Kringel, Dias, Zavareze, & Gandra, 2020).

Apesar da importância da fruticultura na economia, esse segmento não apresenta registros de utilização do CEP. Muitos processos presentes na fruticultura não são mensurados e por consequência não são gerenciados, podendo ter presente diferentes tipos de desperdícios ocultos.

Diante desse fato, este trabalho teve por objetivo geral aplicar o CEP no segmento de fruticultura, mais precisamente no processo de embalagem de melões e melancias, visando adequar o peso líquido recebido pelo cliente final.

Diante dessa proposta, o artigo tem por finalidade apresentar o CEP como uma ferramenta de gerenciamento de perdas para o segmento de fruticultura através da utilização da carta de controle, identificando e reduzindo um dos principais desperdícios presentes no segmento, o erro do peso da caixa embalada.

### **CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)**

O Controle Estatístico do Processo (CEP) teve sua origem na produção industrial na década de 1930, quando as indústrias passavam para a era da qualidade conhecida como controle do processo (Deming, 1986; Shewart, 1931, 1939).

O estudo do CEP abrange um conjunto de técnicas estatísticas utilizadas para o monitoramento da variabilidade de causas que gerem instabilidade no processo, distinguindo as causas variáveis dos sinais que necessitam ações corretivas (Cheng, 2005). O CEP utiliza-se de sete ferramentas básicas para realizar a coleta, apresentação e análise de dados do processo (Oakland & Oakland, 2018; Montgomery, 2019), o histograma, a folha de controle, o gráfico de Pareto, o diagrama de causa-e-efeito, o diagrama de dispersão e o gráfico de controle.

Todo processo possui dois tipos de variação, os denominados de causas aleatórias do processo, em que operando apenas com essa variação diz-se que está sob controle estatístico, e os denominados de causas atribuíveis, em que na presença dessas causas diz-se que o processo está fora de controle. Com isso o objetivo principal de realizar o controle estatístico do processo é a eliminação da sua variabilidade devido às causas atribuíveis, garantindo a estabilidade e a menor oscilação dos resultados (Addeh, Ebrahimzadeh, Azarbad, & Ranaee, 2014).

O CEP visa primeiramente fazer a representação gráfica do processo, plotando os dados consecutivamente ao longo do tempo, detectando assim as causas especiais presentes (Kottner, 2014). A representação gráfica possibilita facilmente visualizar se o processo está instável, direcionando medidas de melhoria (Keller, Paula, Yu, Zhang, Al-Mazrou, & Kiran, 2020).

No presente trabalho, das ferramentas presentes no CEP, a análise de capacidade de processo e o gráfico de controle foram as ferramentas implantadas. Ambas utilizadas para análise do processo e comparativo dos resultados após implantação das melhorias na linha de embalagem.



## ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PROCESSO

A análise de capacidade do processo é o método que possibilita verificar se o processo é capaz de satisfazer o cliente através das especificações impostas por ele, em que os resultados são expressos pelos índices de capacidade do processo  $C_p$  e  $C_{pk}$  (Darestani & Nasiri, 2016), verificando a uniformidade e a variabilidade dos resultados (Montgomery, 2019).

A Equação 1 representa o cálculo de  $C_p$  de um determinado processo com especificações bilaterais, enquanto as Equações 2 e 3 representam o cálculo de  $C_{ps}$  e  $C_{pi}$  de um determinado processo com especificações unilateral, em que LSE e LSI são os limites superior e inferior de especificação, respectivamente (Polhemus, 2017).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (2)$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (3)$$

Com a Capacidade de Processo Efetiva  $C_{pk}$ , além de verificar a variabilidade do resultado é possível analisar a posição da média do processo em relação aos limites de especificação, análise essa não sendo possível de ser visualizado pelo  $C_p$  (Montgomery & Runger, 2020).

O valor de  $C_{pk}$  é obtido analisando a capacidade do processo unilateralmente tanto para o limite superior quanto para o inferior, considerando como resultado o menor valor obtido. A Equação 4 representa o cálculo de  $C_{pk}$  (Sahay, 2017).

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi}) \quad (4)$$

Quando o valor de  $C_p$  é igual ao valor de  $C_{pk}$ , o processo não possui desvio da média, ou seja, está com sua média centrada no ponto médio entre os limites de especificação. Quando o valor de  $C_{pk}$  é menor que o valor de  $C_p$ , o processo está com sua média descentrada. Quando o valor de  $C_{pk}$  é menor que zero, a média do processo está fora dos limites de especificação (Montgomery & Runger, 2020).

Os dados de  $C_p$  e  $C_{pk}$  são determinados a partir de uma amostra de dados de processo. Os dados amostrais são estocásticos, apresentando assim uma média e uma variância. Como as amostras possuem essa variabilidade, os valores de  $C_p$  e  $C_{pk}$  também possuirão variabilidade. Com isso é necessário definir um intervalo de confiança para esses indicadores a partir de um índice de confiança de  $100(1 - \alpha)\%$ . As Equações 5 e 6 representam o cálculo do índice de confiança para  $\hat{C}_p$  e  $\hat{C}_{pk}$ , respectivamente (Cooksey, 2020).

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq C_p \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}} \quad (5)$$



$$\hat{C}_{pk} \left[ 1 - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \leq C_{pk} \leq \hat{C}_{pk} \left[ 1 + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \tag{6}$$

O intervalo de confiança para  $\hat{C}_p$  baseia-se na estatística de distribuição Qui-quadrado, enquanto a de  $\hat{C}_{pk}$  baseia-se na estatística de distribuição normal (Cooksey, 2020).

A Tabela 1 determina os valores mínimos recomendados para os indicadores de  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{ps}$  e  $C_{pi}$  para considerar que um processo é capaz de atender as especificações impostas (Montgomery, 2019).

**Tabela 1.** Valores mínimos recomendados para capacidade de processo

Tipo de processo	Especificações Bilaterais	Especificações Unilaterais
Processos Existentes	1,33	1,25
Processos Novos	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetros críticos, processo existente	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetros críticos, processo novo	1,67	1,60

Fonte: Montgomery (2019)

### GRÁFICO DE CONTROLE DE QUALIDADE

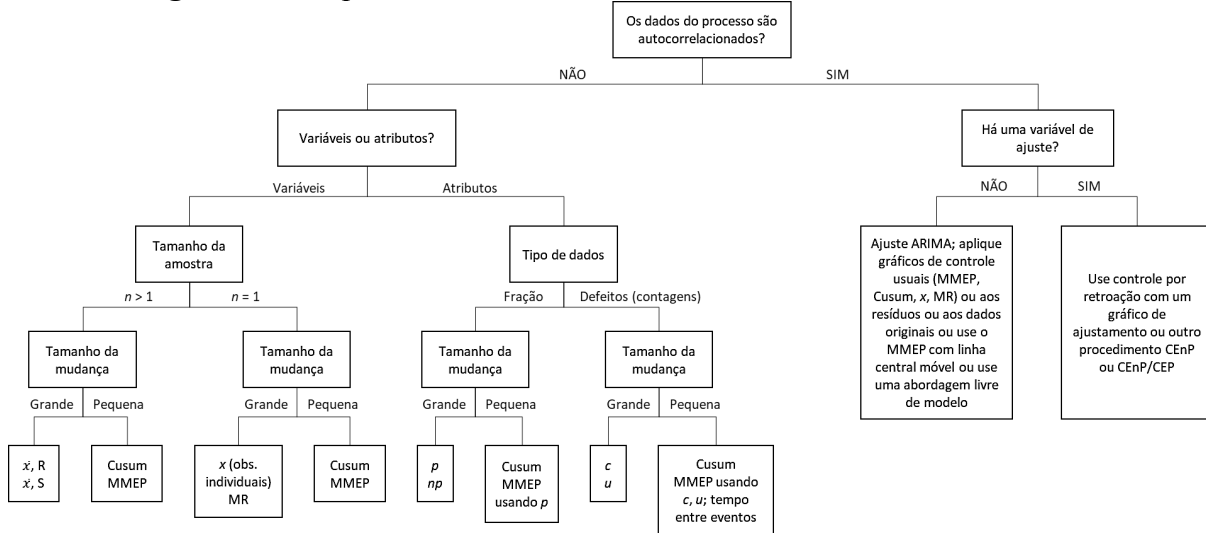
A utilização dos gráficos de controle de qualidade, segundo Montgomery (2019), traz como alguma das vantagens competitivas a melhoria da produtividade e performance do processo e a prevenção de defeitos com a detecção de causas especiais, fornecendo informações significativas sobre o desempenho e a capacidade, de acordo com o contexto em que se aplicam.

Os gráficos de controle, auxiliam no desenvolvimento estratégico de vigilância que permitem, a partir da análise gráfica, identificar e separar os eventos relacionados às falhas sistêmicas do processo e aquelas especiais (Khan, Khan, Aslam, Akhavan Niaki, & Mughal, 2018; Riaz & Does 2009). Duas fases, que permitirão as suposições relacionadas aos modelos matemáticos e estatísticos, serão utilizadas para a criação delas. A Fase I compreende a exploração e entendimento do processo, investigando as independências, média e variabilidade da série de observações e a distribuição dos dados. Nesta primeira etapa, serão estabelecidos os limites de controle (LC) considerando a premissa de que o processo esteja sob controle estatístico, estável. Na utilização do clássico gráfico de Shewhart ( $\bar{x}/S$ ) e ( $\bar{x}/R$ ), por exemplo, o monitoramento é realizado por meio das estimativas da média ( $\mu$ ) e do desvio padrão ( $\sigma$ ) do processo. A Fase II abrange a utilização dos LC's obtidos na fase inicial para controlar produções futuras, novas amostras são retiradas e o processo é considerado estável quando o resultado da característica observada é plotado entre os limites de controle (Kennedy, Hoffman, & Bond, 1987; Montgomery, 2019).

A literatura, sugere alguns tipos básicos de gráficos de controle que podem ser divididos entre gráficos por variáveis ou atributos, sendo definida sua utilização de acordo com a adequação ao contexto de cada processo e sua aplicação. A Figura 1 apresenta os gráficos de controle que se adequam a cada característica de processo (Montgomery, 2019).



Figura 1. Guia para Controle e Monitoramento de Processos Univariados



Fonte: Montgomery (2019)

Segundo Montgomery (2019), o gráfico compreende uma linha central, identificando o valor médio das características da qualidade e duas linhas horizontais representando o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC). Os gráficos por atributo, permitem o controle de mais de uma característica de qualidade, identificando um item como conforme ou não conforme em relação as especificações dos parâmetros de qualidade em um mesmo gráfico. Ações corretivas são executadas após a produção de uma determinada quantidade de itens defeituosos (Aslam, Azam, Khan, & Jun, 2015; Montgomery & Runger 2020). Exemplos de gráficos de controle por atributo: Gráfico  $p$ : representada pela proporção de itens defeituosos, Gráfico  $c$ : controla o número total de defeitos em uma unidade de produto, Gráfico  $u$ : controla o número total de defeitos em unidade de produto com um tamanho consideravelmente maior do subgrupo, entre outros tipos de gráficos. Exemplos da utilização de gráficos de controle por atributos podem ser encontrados em Sutterfield e Daramola (2016), Finnerty, Provost, O'donnell, Selk, Stephens, Kim e Berns (2019), Zhou, Cheng e Zheng (2019) e Abbas, Narzir, Akhtar, Abid e Riaz (2020).

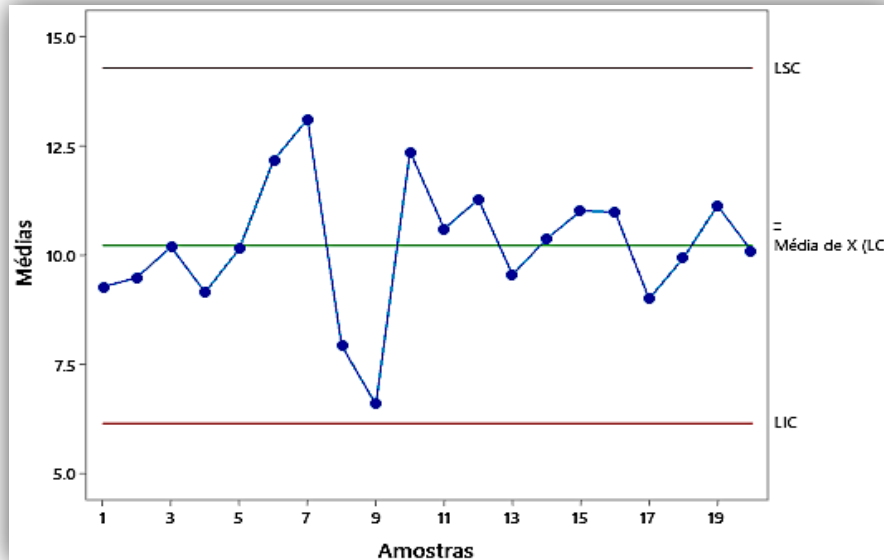
Já os gráficos de controle por variáveis, tem como principal vantagem a possibilidade de execução de ações preventivas, com um maior número de informações obtidas sobre a média do processo, variabilidade e capacidade. Alguns exemplos de gráficos de controle por variáveis são: Gráfico  $(\bar{x}/S)$ : oferece estimativa dos desvios padrão dentro de subgrupo individuais, Gráfico  $(\bar{x}/R)$ : usa o desvio padrão combinado para estimar o desvio padrão dentro do subgrupo, Gráfico  $I-MR$ : usada quando não existem subgrupos e utiliza o método de amplitude móvel para estimar o desvio padrão, entre outros gráficos disponíveis na literatura. Alguns exemplos da utilização de gráficos de controle por variável podem ser encontrados em Le, Khoo, Teh e Lee (2015), Jardim, Chakraborti e Epprecht (2019), Zhao, Chen, Xia e Zheng (2019) e Faria, Jardim, Camargo, Lizarelli e Oprime (2020).

A Figura 2, apresenta um exemplo de um gráfico de controle  $\bar{x}$  que está aparentemente sob controle, uma vez que os pontos amostrais estão entre o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC) em relação às médias amostrais.



Para o presente trabalho foi proposto a utilização do gráfico de controle por variável  $I-MR$ , em que o tamanho amostral usado para o controle do processo é  $n=1$  e o tamanho da mudança do resultado é grande.

**Figura 2.** Gráfico de controle  $\bar{x}$



Fonte: Autores (2022)

### GRÁFICO PARA VALORES INDIVIDUAIS (I-MR)

O Gráfico de controle individual ( $I$ ), monitora e identifica mudanças na média do processo mediante a análise das medições individuais, considerando um subgrupo de tamanho  $n=1$  e, cada ponto plotado no gráfico, representa uma medição particular. O gráfico de amplitude móvel ( $MR$ ), monitora e identifica mudanças na variabilidade entre as amostras individuais coletadas em distintos intervalos de tempo e, os pontos plotados no gráfico, correspondem a diferença absoluta entre dois pontos individuais consecutivos. O primeiro gráfico a ser elaborado é o gráfico  $MR$ , a fim de verificar se a variabilidade do processo está sob controle. Caso o processo esteja sob o efeito de causas não aleatórias, os limites de controle do gráfico  $I$  não serão precisos.

Segundo Montgomery (2019), a amplitude móvel pode ser definida conforme Equação 7, para  $i = 1, 2, \dots, m$ .

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (7)$$

Sendo, os parâmetros para o gráfico de amplitudes móveis definidos conforme a Equação 8, em que a média das amplitudes móveis é dada conforme Equação 9 e os parâmetros para o gráfico de medidas individuais podem ser definidos conforme Equação 10 (Montgomery 2019).

$$\begin{aligned} LSC &= D_4 \times \overline{MR} = D_2\sigma \\ \text{Linha central} &= \overline{MR} \\ LIC &= D_3 \times \overline{MR} = D_1\sigma \end{aligned} \quad (8)$$



$$\overline{MR} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m MR_i \tag{9}$$

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = \mu + 3\sigma$$

$$Linha\ central = \bar{x} = \mu \tag{10}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = \mu - 3\sigma$$

Os valores tabelados de d2, D1, D2, D3 e D4 para diversos tamanhos de amostras são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Fatores para Construção de Gráficos de Controle para Variáveis

Gráficos para Amplitudes					
Observações na amostra	Fator para linha central	Fatores para Limites de Controle			
	$d_2$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
2	1,128	0,000	3,686	0,000	3,267
3	1,693	0,000	4,358	0,000	2,575
4	2,059	0,000	4,698	0,000	2,282
5	2,326	0,000	4,918	0,000	2,115
6	2,534	0,000	5,078	0,000	2,004
7	2,704	0,204	5,204	0,076	1,924
8	2,847	0,388	5,306	0,136	1,864
9	2,970	0,547	5,393	0,184	1,816
10	3,078	0,687	5,469	0,223	1,777
11	3,173	0,811	5,535	0,256	1,744
12	3,258	0,922	5,594	0,283	1,717
13	3,336	1,025	5,647	0,307	1,693
14	3,407	1,118	5,696	0,328	1,672
15	3,472	1,203	5,741	0,347	1,653
16	3,532	1,282	5,782	0,363	1,637
17	3,588	1,356	5,82	0,378	1,622
18	3,640	1,424	5,856	0,391	1,608
19	3,689	1,487	5,891	0,403	1,597
20	3,735	1,549	5,921	0,415	1,585
21	3,778	1,605	5,951	0,425	1,575
22	3,819	1,659	5,979	0,434	1,566
23	3,858	1,710	6,006	0,443	1,577
24	3,895	1,759	6,031	0,451	1,548
25	3,931	1,806	6,056	0,459	1,541

Fonte: Adaptada de Montgomery (2019)

Para a construção dos gráficos de controle, deve-se considerar a suposição de normalidade dos dados. Neste sentido, como uma primeira etapa que antecede a elaboração do gráfico, é indicado a realização do teste de normalidade dos dados. Para tanto, uma possibilidade é usar a estatística de *Anderson-Darling*, em que um *p-valor* > 0,05, indica que os dados apresentam uma distribuição normal ao nível de significância 5% (Casella, & Berger 1990; Lilliefiore 1967; Montgomery 2019).





## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho foi aplicado em uma empresa do setor de fruticultura que abrange grande parte dos estados do nordeste brasileiro. A empresa é produtora de diversas frutas, sendo seu carro chefe melões e melancia de diversas variedades, com um grande volume de frutas sendo exportadas para diversos países em todos os continentes.

A empresa se divide em dois macros processos, sendo um de plantio e cultivo das frutas e outro de embalagem das frutas. Ambos os processos são realizados simultaneamente e todas as frutas colhidas devem ser embaladas no mesmo dia, garantindo assim a qualidade tanto em seu aspecto visual quanto seu sabor.

No processo de embalagem as frutas são divididas por tamanhos e pesos diferentes em um equipamento automatizado. Após separadas, as frutas são embaladas manualmente nas caixas de acordo com a quantidade e o peso da caixa demandada pelos clientes. O colaborador também realiza a inspeção visual da fruta antes de inseri-la na caixa. As frutas com aspectos não conforme são colocadas em uma segunda esteira na qual é direcionada para fora da linha para ser devidamente descartada.

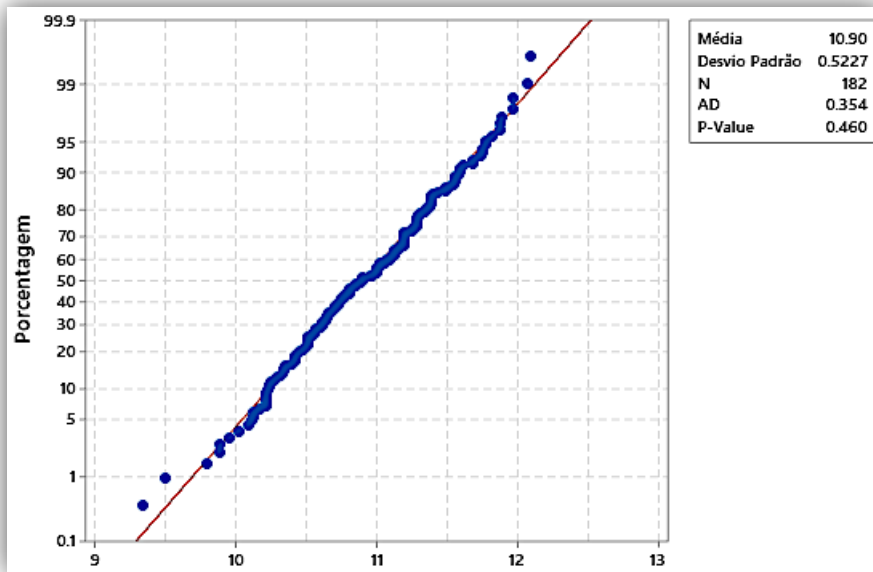
Com o objetivo de atender as especificações dos clientes e otimizar os resultados da empresa, foi analisado uma das amostras coletadas do processo de embalagem de frutas. A amostra coletada foi de caixas de 10 kg, em que se aceita uma oscilação de  $\pm 0,3$  kg, sendo então o LIE e o LSE de 9,7 kg e 10,3 kg, respectivamente. O tamanho da amostra foi de 182 caixas, coletadas de diferentes colaboradores e diferentes quantidades de frutas, minimizando assim a influência do colaborador e da quantidade de frutas embaladas no resultado da amostra.

Apesar dos clientes descreverem em seus documentos as especificações dos limites superior e inferior, ele só rejeitará o produto em casos em que o peso da caixa se encontra abaixo do limite inferior, aceitando assim produtos que superam o limite superior. Porém quanto maior a diferença positiva entre o peso alvo da caixa e o peso embalado implica em maiores custos de produção e perdas de processo para a empresa. Uma vez que essa diferença de peso não é paga pelos clientes, o peso excedente é definido como uma perda de processo. Demais custos podem ser gerados pelo peso excedente e somados ao custo final do produto, como a logística dos containers com as frutas embaladas da empresa até o porto onde é embarcado. O valor do transporte da carga é calculado a partir do peso total líquido dos containers, logo quanto maior o peso excedente, maior será o custo de transporte.

A fim de obter confiabilidade nos dados, inicialmente foi verificado se a amostra coletada segue uma distribuição normal. Conforme representado pela Figura 3, os dados apresentam uma média de 10,90 kg, desvio padrão de 0,5227 kg, em que o resultado da estatística de *Anderson-Darling* foi de 0,354 que representa um p-valor superior a 0,05, ou seja, os pesos das caixas embaladas possuem uma distribuição normal considerando um nível de significância 5%.



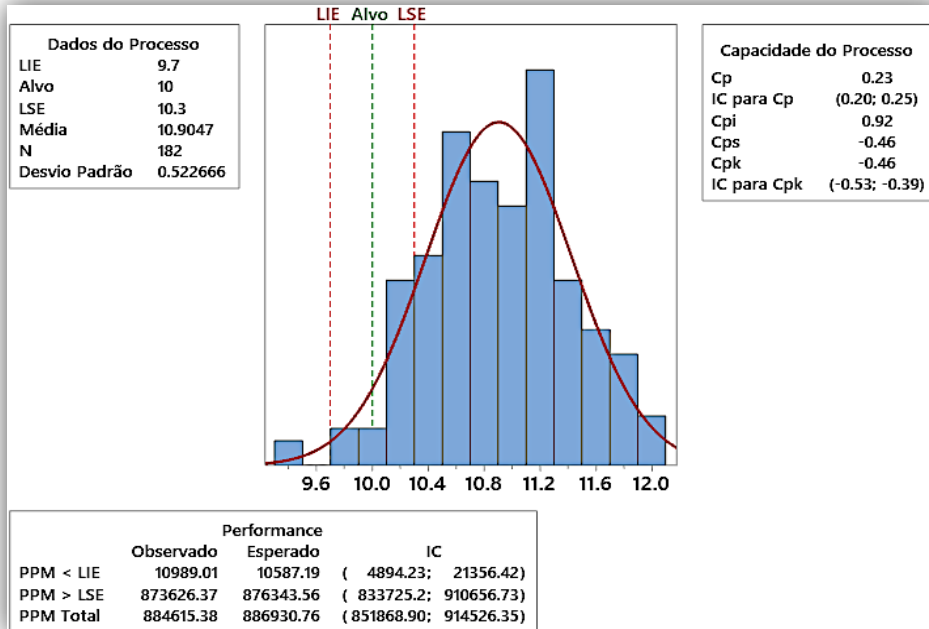
Figura 3. Teste de normalidade



Fonte: Autores (2022)

Após análise da normalidade dos dados, foi verificado a capacidade do processo em termos de  $C_p$  e  $C_{pk}$  conforme representado na Figura 4. O índice de confiabilidade adotado para definição dos intervalos de confiança foi de 95%.

Figura 4. Análise de Capacidade do Processo



Fonte: Autores (2022)

Na Figura 4 é possível observar que o processo não possuía uma boa capacidade para atender os limites de especificação, em que a maior parte das embalagens ultrapassam o limite superior, implicando assim um maior custo de processo. Apesar da concentração de



embalagens acima do limite superior de especificação, o processo também apresenta caixas abaixo do limite de especificação, sendo assim rejeitadas pelo cliente.

O PPM observado foi de aproximadamente 884.615 caixas que estariam fora dos limites de especificação, com uma projeção esperada de aproximadamente 886.930 caixas fora dos limites de especificação, sendo o intervalo de confiança para a projeção esperada de aproximadamente 851.868 a 914.526 caixas fora dos limites de especificação.

A maior concentração das amostras se encontra acima do limite superior de especificação, com um PPM observado de aproximadamente de 873.626 caixas. Isso demonstra que a perda de processo se encontra muito elevada, em que mais de 85% das embalagens apresentam peso excedente.

Foi verificado no processo que para evitar que caixas fossem embaladas com peso abaixo do exigido pelos clientes, os colaboradores colocavam nas caixas as maiores frutas e descartava as menores, o que elevava o peso média da caixa com frutas. Esse fato ocasionava a perda de frutas com boa qualidade que poderiam ser utilizadas nas embalagens, pois os colaboradores descartavam as frutas apenas considerando seu tamanho.

Porém esse artifício empregado não garantia o peso ideal da embalagem, pois na amostra foram identificadas embalagens com peso abaixo do limite inferior de especificação, gerando um PPM de aproximadamente 10.989 caixas.

Outra observação realizada foi que os colaboradores não possuíam instrumento de medição para aferirem o peso da caixa embalada, sendo as frutas embaladas de acordo com a percepção que o colaborador tinha em relação ao peso da caixa, ocasionando assim uma grande oscilação no peso embalado.

Outro ponto destacado é que os colaboradores não sabiam quais os limites de peso poderiam embalar em cada caixa. Dessa forma as caixas eram liberadas pelo colaborador com peso acima do limite, chegando a ter caixas com mais de 50% de sobrepeso, e caixas com peso abaixo do limite.

Em geral, primeiro avalia-se se o processo está sob controle estatístico e posteriormente sua capacidade. Porém a empresa não possuía um controle estatístico coerente com o processo, realizando apenas uma verificação amostral.

A verificação dos pesos das caixas era feita de forma amostral durante o processo, em que um colaborador coletava caixas na esteira transportadora durante o processo de embalagem e pesava em uma balança. O peso aferido então era registrado. Caso houvesse alguma caixa com peso abaixo do limite era apenas informado ao colaborador que havia embalado a caixa sobre o resultado. Os dados registrados não eram utilizados para análise.

O processo de embalagem das frutas possui baixo tempo de ciclo enquanto a atividade de aferição amostral do peso das caixas possuía um elevado tempo de ciclo. Isso fazia com que o tamanho da amostra coletada no processo não fosse representativo, não evitando assim que erros de pesagem fossem identificados antes de chegar ao cliente final.

Diante disso, foi implantado um gráfico de controle para que se possa analisar se o processo está sob controle estatístico e assim posteriormente analisar a capacidade do processo. Tendo



em vista que o tamanho da amostra para análise é igual a um, devido ao valor agregado do produto ser consideravelmente alto, e que o tamanho da mudança é relativamente grande, foi determinado que o ideal a ser utilizado para verificação do processo é o gráfico de controle *I-MR*.

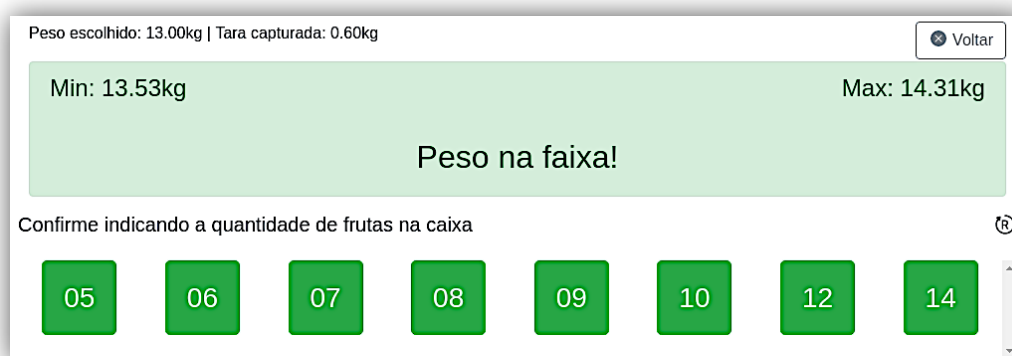
Com isso, inicialmente foram instaladas balanças em todos os postos de trabalho dos embaladores de frutas, garantindo assim que os colaboradores tenham conhecimento do valor real do peso embalado na caixa.

Visando implantar os conceitos da Indústria 4.0 em ter um processo mais integrado, coletando o máximo de informações e podendo extrair e visualizar os dados de forma *online*, o gráfico de controle *I-MR* foi implantado em um sistema digital acoplado às balanças e conectados em rede online com o servidor da empresa. O sistema digital tem a capacidade de calcular os limites exigidos pelo cliente para cada variedade possível de fruta a ser embalado, considerando as variáveis do processo.

O sistema considera o peso da embalagem, o percentual natural de desidratação da fruta e a variação de peso permitida pelos clientes. A partir desses dados o sistema apresenta em uma tela qual o peso mínimo e máximo que os colaboradores devem embalar a caixa. Caso a caixa apresente peso fora dos limites calculados o sistema impede que a caixa seja liberada e uma luz vermelha é então acesa sobre o posto de trabalho. Quando os pesos estão dentro dos limites a caixa então pode ser colocada sobre a esteira transportadora.

A Figura 5 representa a imagem da tela que fica acoplada à balança no posto de trabalho, demonstrando para o colaborador a faixa de peso mínimo e máximo que deve ser embalada. Para o caso descrito na imagem o peso líquido da caixa era de 13 kg, em que a caixa pesava 0,600 kg. Dessa forma o sistema calcula e apresenta o intervalo de mínimo 13,53 kg e máximo 14,31 kg. O peso da embalagem no dado momento estava dentro da faixa de aceitação.

**Figura 5.** Visor do sistema digital de controle de peso



Fonte: Autores (2022)

Ao liberar a caixa os dados sobre aquela embalagem são então registrados de forma *online* no banco de dados da empresa e um *QR-Code* é gerado para a caixa, em que ao fazer o escaneamento do *QR-Code* todas as informações sobre o produto podem ser extraídas como data de plantio, data de colheita, data de embalagem, peso embalado, limites calculados,

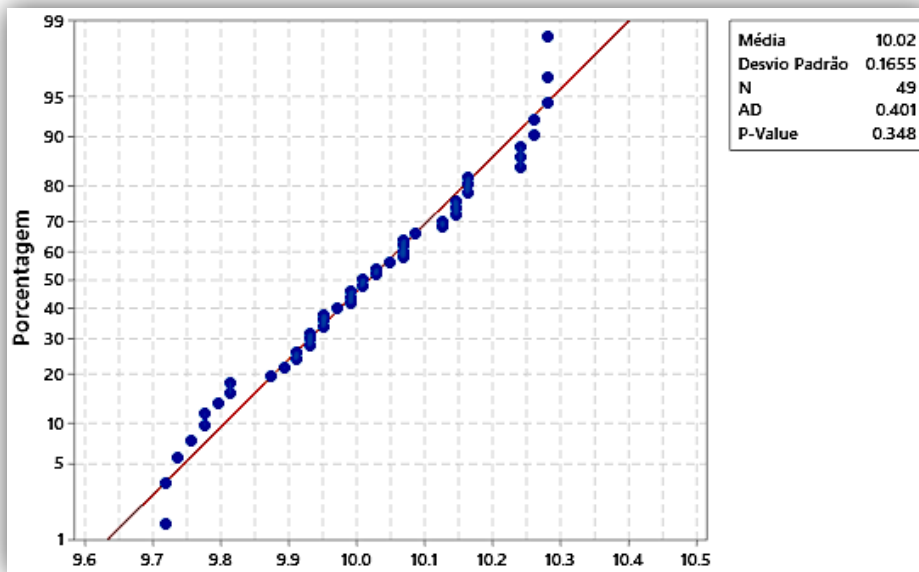


colaborador que realizou a embalagem, tempo ciclo do processo de embalagem, entre outros diversos dados.

Um *dashboard online* também foi desenvolvido capaz de apresentar todas as informações extraídas do processo e de diversos polos de embalagem. Com o *dashboard* é possível identificar polos, embaladores e produtos que apresentam pontos que podem estar fora de controle de processo.

Após a implantação de todo o sistema, foram extraídas informações do banco de dado gerado. A princípio, foi verificado se os dados que estavam sendo gerados apresentavam normalidade. A Figura 6 representa o teste de normalidade dos dados.

Figura 6. Teste de normalidade dos dados após a implantação do sistema



Fonte: Autores (2022)

Com o teste de normalidade é possível verificar que os pesos das embalagens continuam apresentando uma distribuição normal após a implantação do sistema, em que o resultado da estatística de *Anderson-Darling* foi de 0,348 que representa um *p-valor* superior a 0,05, ou seja, possuem uma distribuição normal ao nível de significância 5%.

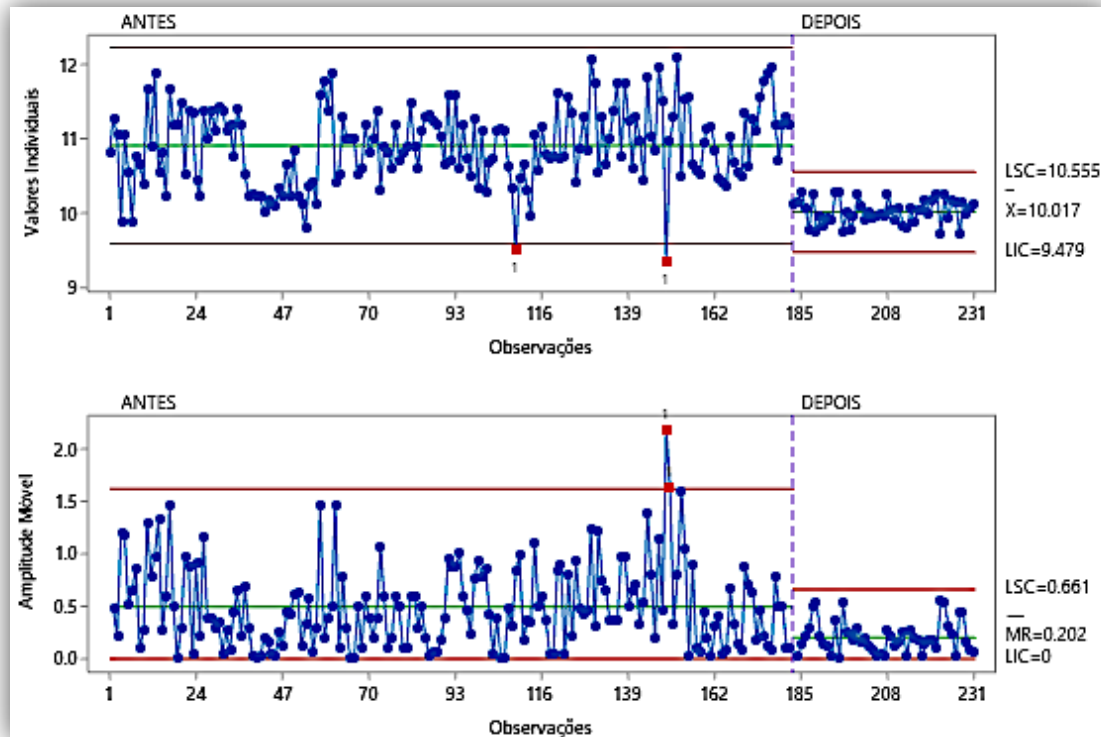
Os resultados demonstram também que a oscilação do peso embalado reduziu consideravelmente, passando de um desvio padrão de 0,52 kg para 0,17 kg, garantindo assim maior robustez do processo.

A média do peso embalado se manteve mais próxima do peso alvo da caixa de 10 kg. Apresentando assim uma redução no peso médio em relação ao processo sem a implantação do controle, passando de 10,900 kg para 10,017 kg, garantindo maior precisão do processo.

Para comparar o processo antes e depois da implantação do sistema, foi realizado o gráfico de controle *I-MR* comparativo dos pesos das embalagens conforme descrita na Figura 7.



Figura 7. Gráfico comparativa de controle I-MR (Autores)



Fonte: Autores (2022)

Com a Figura 7 é possível visualizar o efeito da redução do desvio padrão do processo após a implantação do sistema. No gráfico de controle de médias individuais o intervalo passou de  $\pm 1,314$  para  $\pm 0,538$  kg, uma redução de 59% no intervalo de controle. No gráfico de controle da amplitude média o limite máximo de controle passou de 1,615 kg com média de 0,494 kg para 0,661 kg com média de 0,202 kg, isso comprova que o processo após a implantação do sistema apresenta maior robustez.

A Figura 7 demonstra também que o processo no cenário “ANTES” mesmo possuindo uma média muito superior a desejada, algumas caixas embaladas apresentavam peso abaixo do limite de controle e do limite de especificação. O processo apresentava também amplitude elevada, com resultados superando o limite superior de controle.

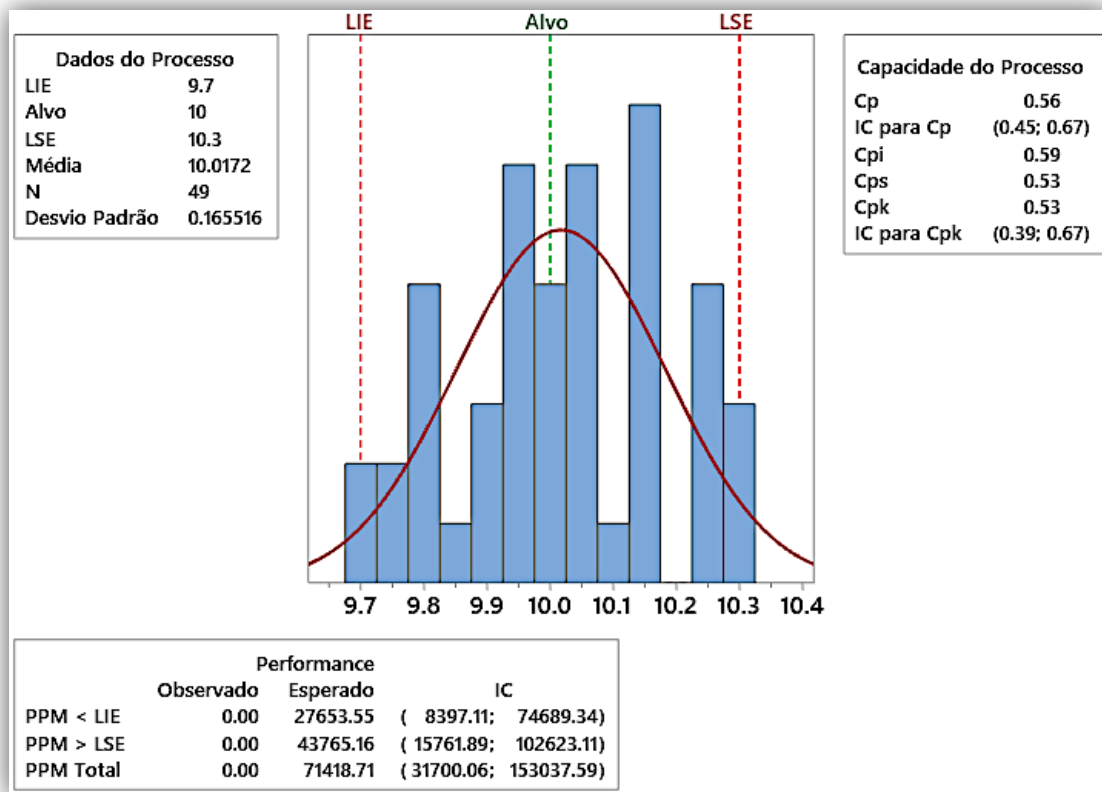
Após a implantação do sistema é possível verificar que os pesos das caixas embaladas se mantem sobre controle estatístico, com todos os seus pontos dentro dos limites, tanto para os valores individuais quanto para a amplitude móvel.

A Figura 8 apresenta a análise da capacidade do processo após a implantação do sistema em que o resultado apresentou grande melhora nos indicadores amostrais  $\hat{C}_p$  e  $\hat{C}_{pk}$ , com PPM observado de zero caixas fora dos limites de especificação. O índice de confiabilidade adotado para definição dos intervalos de confiança foi de 95%.

A análise demonstra que o PPM esperado seria de aproximadamente 71.418 caixas fora dos limites de especificação, porém o processo instalado possui sistema de controle a prova de erros em que caixas com peso fora dos limites de especificações não são liberadas, o que elimina a possibilidade de conter caixas com peso fora do padrão aceitável.



Figura 8. Análise de Capacidade do Processo



Fonte: Autores (2022)

## CONCLUSÕES

- A aplicação da capacidade de processo foi capaz de verificar que os requisitos dos clientes não eram atendidos, gerando perdas tanto para o cliente quanto para a empresa. O sistema com o gráfico de controle digital utilizado juntamente com instrumento de medição permitiu direcionar o processo e mantê-lo sobre controle, dentro dos limites de especificação.
- O CEP foi capaz de reduzir a média de peso embalado em 8,10%, tendo com o novo sistema um deslocamento do peso alvo de apenas 0,017 kg, representando 0,17%.
- O desvio padrão dos pesos das embalagens foi reduzido e conseqüentemente na amplitude dos resultados, apresentando uma redução no desvio padrão e amplitude de aproximadamente 68,33% e 59,11%, respectivamente. Isso faz com que o processo seja mais confiável para atingir os resultados desejados.
- O sistema permite também acompanhar o desempenho de todas as linhas de embalagem em tempo real, podendo dessa forma verificar oscilações do processo e realizar atuações no processo de forma mais rápida.
- A tecnologia e a metodologia apresentadas nesse trabalho pode ser aplicadas em diversos setores agrícolas, proporcionando maior robustez e confiabilidade aos processos.



## REFERÊNCIAS

- Abbas, Z., Nazir, H. Z., Akhtar, N., Abid, & M., Riaz, M. (2020). On designing an efficient control chart to monitor fraction nonconforming. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(2), 547–564. <https://doi.org/10.1002/qre.2590>
- Addeh, J., Ebrahimzadeh, A., Azarbad, M., & Ranaee, V. (2014). Statistical process control using optimized neural networks: A case study. *ISA Transactions*, 53(5), 1489–1499. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2013.07.018>
- American Society for Quality (2000). *ANSI/ISO/ASQ 9004-2000*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Aslam M., Azam M., Khan N., & Jun C. (2015). A mixed control chart to monitor the process. *International Journal of Production Research*, 53(15), 4684–4693. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1031354>
- Casella, G. & Berger, R. L. (1990). *Statistical Inference* (2<sup>a</sup> ed.). Florida: Duxbury Press.
- Cheng, C. B. (2005). Fuzzy process control: construction of control charts with fuzzy numbers. *Fuzzy sets and Sustems*, 154(2), 287-303. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.03.002>
- Cooksey, R. W. (2020). *Illustrating Statistical Procedures: Finding Meaning in Quantitative Data*. (3<sup>a</sup> ed). Nova Iorque: Springer.
- Darestani, S. A., & Nasiri, M. (2016). Statistical process control: Fuzzy  $\bar{X}$ -S control chart and process capability indices in normal data environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 33(1), 2-24. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2013-0130>
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis* (1<sup>a</sup> ed.). Cambridge: Massachusetts Inst Technology.
- Faria S., C. E., Jardim, F. S., Camargo, V. C. B., Lizarelli, F. L., & Oprime, P. C. (2020). Unconditional performance of the  $\bar{X}$  chart: Comparison among five standard deviation estimators. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(5), 1808-1819. <https://doi.org/10.1002/qre.2661>
- Finnerty, P., Provost, L., O'donnell, E., Selk, S., Stephens, K., Kim, J., & Berns, S. (2019). Using Infant Mortality Data to Improve Maternal and Child Health Programs: An Application of Statistical Process Control Techniques for Rare Events. *Maternal and Child Health Journal*, 23(6), 739–745. <https://doi.org/10.1007/s10995-018-02710-3>
- Fonseca, L. A., Jr., Gomes, L. C. P., Santos, A. G., & Peruchi, R. S. (2019). Análise da percepção da satisfação dos clientes de uma empresa de produtos de máquinas e implementos agrícolas. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 1-18. [https://doi.org/10.0001/V05N03\\_01](https://doi.org/10.0001/V05N03_01)
- Haq, A. & Munir, W. (2021). New CUSUM and Shewhart-CUSUM chart for monitoring the process mean. *Quality and Reliability Engineering International*, 37(8), 3512-3528. <https://doi.org/10.1002/qre.2930>
- Jardim, F. S., Chakraborti, S., & Epprecht, E. K. (2019).  $\bar{X}$  Chart with Estimated Parameters: The Conditional ARL Distribution and New Insights. *Production and Operations Management*, 28(6), 1545–1557. <https://doi.org/10.1111/poms.12985>
- Keller, D. S., Paula, T. R., Yu, G., Zhang, H., Al-Mazrou, A., & Kiran, R. P. (2020). Statistical Process Control (SPC) to drive improvement in length of stay after colorectal surgery. *The American Journal of Surgery*, 219(1), 1006-1011. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.08.029>





- Kennedy, C. W., Hoffman E. G., & Bond S. D. (1987). *Inspection and gaging* (6<sup>a</sup> ed.). New York: Industrial Press Inc.
- Khan, M. Z., Khan, M. F., Aslam, M., Akhavan Niaki, S. T., & Mughal, A. R. (2018). A fuzzy EWMA attribute control chart to monitor process mean. *Information (Switzerland)*, 9(12), 1-13. <https://doi.org/10.3390/info9120312>
- Knauer, W. A., Godden, S. M., Dietrich, A., Hawkins, D. M., & James, R. E. (2018). Evaluation of applying statistical process control techniques to daily average feeding behaviors to detect disease in automatically fed group-housed preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 101(9), 8135-8145. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13947>
- Kottner, J. (2014). The value of Statistical Process Control in quality improvement contexts: Commentary on Unbeck et al. (2013). *International Journal of Nursing Studies*, 51(1), 346-349. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2013.04.011>
- Kringel, D. H., Dias, A. R. G., Zavareze, E. R., & Gandra, E. A. (2020). Fruit Wastes as Promising Sources of Starch: Extraction, Properties, and Applications. *Starch - Stärke*, 72(3-4), 1-9. <https://doi.org/10.1002/star.201900200>
- Lee, L. Y., Khoo, M. B. C., Teh, S. Y., & Lee, M. H. (2015). A variable sampling interval synthetic Xbar chart for the process mean. *PLoS ONE*, 10(5), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126331>
- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399-402. <https://doi.org/10.2307/2283970>
- Lim, S. A. H., Antony, J., He, Z., & Arshed, N. (2017). Critical observations on the statistical process control implementation in the UK food industry: A survey. *International Journal of Quality & Reliability*, 34(5), 684-700. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0035>
- Mizaei, N., Niroomand, S., & Zare, R. (2016). Application of statistical process control in service industry. *Journal of Modelling in Management*, 11(3), 763-782. <https://doi.org/10.1108/JM2-06-2014-0046>
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control* (7<sup>a</sup> ed.). Nova Jersey: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. & Runger, G. C. (2020). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (6<sup>a</sup> ed.). Nova Jersey: John Wiley & Sons.
- Oakland, J. & Oakland, R. (2018). *Statistical Process Control* (7<sup>a</sup> ed.). Nova Iorque: Routledge.
- Oliveira, G. D., Santos, J. D., Silva, V. L., & Röder, C. (2018). Aplicação do controle estatístico do processo em uma indústria de autoadesivos. *Exacta*, 16(2), 135-154. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v16n2.7340>
- Peruchi, R. S., Rotela, P., Jr., Brito, T. G., Paiva, A. P., Balestrassi, P. P., & Araújo, L. M. M. (2020). Integrating multivariate statistical analysis into Six Sigma DMAIC projects: A case study on AISI 52100 hardened steel turning. *IEEE Access*, 8(1), 34246-34255. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2973172>
- Polhemus, N. W. (2017). *Process Capability Analysis* (1<sup>a</sup> ed.). Florida: CRC Press.
- Prata, E. R. B. A., Chaves, J. B. P., Gomes, S. G. S., & Passos, F. J. V. (2020). Statistical quality control in the food industry: a risk-based approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(2), 437-452. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2019-0272>
- 



- Raji, I. A., Lee, M. H., Riaz, M., Abujiya, M. R., Abbas, N. A robust multivariate Shewhart chart for contaminated normal environments. *Quality and Reliability Engineering International*, 37(6), 2665-2684. <https://doi.org/10.1002/qre.2882>
- Riaz M., & Does R. J. M. M. (2009). A process variability control chart. *Computational statistics*, 24(2), 345–368. <https://doi.org/10.1007/s00180-008-0122-z>
- Ross, J. E. (2017). *Total Quality Management: Text, Cases and Readings* (3<sup>a</sup> ed.). Nova Iorque: Routledge.
- Sahay, A. (2017). *Process Capability Analysis for Quality and Lean Six Sigma* (1<sup>a</sup> ed). Nova Iorque: QMS Global LLC.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product* (1<sup>a</sup> ed). Nova Iorque: Van Nostrand.
- Shewhart, W. A. (1939). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control* (1<sup>a</sup> ed). Washington: Graduate School of the Department of Agriculture.
- Soela, D. M., Vitória, E. L., Oliveira, R. F., Crause, D. H., Freitas, I. L. J., & Locatelli, T. (2020). Controle Estatístico de Processo em pulverização usando veículo aéreo não tripulado na cultura do café Conilon. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(4), 52-63. <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/30180/20928>
- Sower, V. E., Quarles, R., & Broussard, E. (2007). Cost of quality usage and its relationship to quality system maturity. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24(1), 121–140. <https://doi.org/10.1108/02656710710722257>
- Sutterfield, J. S. & Daramola, T. R. (2016). Using the Tools of Quality to Improve Production Operations at Wilmington Textile. *ProQuest*, 9(2), 118-133. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/using-tools-quality-improve-production-operations/docview/2044296482/se-2>
- Vetter, T. R. & Morrice, D. (2019). Statistical Process Control: No Hots, No Runs, No Errors? *Anesthesia and analgesia*, 128(2), 374-382. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000003977>
- Wiemken, T. L., Furmanek, S. P., Mattingly, W. A., Wright, M. O., Persaud, A. K., Guinn, B. E., Carrico, R. M., Arnold, F. W., & Ramirez, J. A. (2018). Methods for computational disease surveillance in infection prevention and control: Statistical process control versus Twitter's anomaly and breakout detection algorithms. *American Journal of Infection Control*, 46(2), 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.08.005>
- Zerbato, C., Furlani, C. E. A., Ormond, A. T. S., Girio, L. A. S., Carneiro, F. M., & Silva, R. P. da (2017) Statistical process control applied to mechanized peanut sowing as a function of soil texture. (Research Article)(Report). *PLoS ONE*, 12(7), 1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180399>
- Zhao, F., Chen, L., Xia, T., Ye, Z., & Zheng, Y. (2019). Gas turbine exhaust system health management based on recurrent neural networks. *Procedia CIRP*, 83, 630–635. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.122>
- Zhou, W., Cheng, C., & Zheng, Z. (2019). Optimal design of an attribute control chart for monitoring the mean of autocorrelated processes. *Computers and Industrial Engineering*, 137(January), 106081, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2019.106081>
- 

