



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA

Ângela Ismênia Pereira Sousa

Controle de qualidade aplicada a dados de produtos perecíveis

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2018

Ângela Ismênia Pereira Sousa

Controle de qualidade aplicada a dados de produtos perecíveis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de bacharel em Estatística.

Orientador: Gustavo Henrique Esteves

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S725c Sousa, Ângela Ismênia Pereira.
Controle de qualidade aplicada a dados de produtos perecíveis [manuscrito] : / Angela Ismenia Pereira Sousa. - 2018.
29 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.
"Orientação : Prof. Dr. Gustavo Henrique Esteves, Coordenação do Curso de Estatística - CCT."

1. Programa R. 2. Controle Estatístico da Qualidade. 3. Gráficos de controle.

21. ed. CDD 519.5

Ângela Ismênia Pereira Sousa

Controle de qualidade aplicada a dados de produtos perecíveis

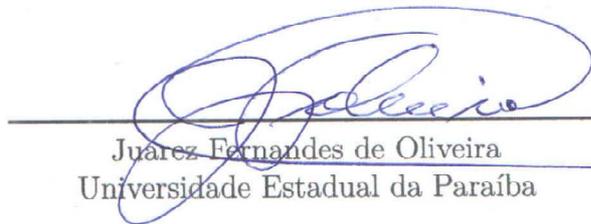
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de bacharel em Estatística.

Trabalho aprovado em 09 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Gustavo Henrique Esteves
Universidade Estadual da Paraíba



Juarez Fernandes de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba



Maria das Vitórias Alexandre Serafim
Universidade Estadual da Paraíba

A minha Mãe, Maria do Socorro Pereira de Souza.

Agradecimentos

Agradecer primeiramente a Deus, por ser minha base, para que eu chegasse ao término desse trabalho; agradecer a minha mãe, pelo incentivo, força e paciência; agradecer aos professores, sem eles não teria chegado ao fim desse curso; agradecer ao meu orientador, por ter aceitado e acreditado no meu potencial para o fim desse trabalho.

Agradecer em especial aos meus amigos fiéis, Carlos, Fátima, Vitória, Shirley e Filipe, vocês foram muito importantes ao longo da minha vida acadêmica, existe um laço que nos une e que nunca irá acabar. Agradecer ao meu noivo pelo incentivo e paciência. Agradecer de todo coração a todos que contribuíram para o término do curso e desse trabalho.

*“Não peça a Deus milhares de oportunidades, mas sim,
coragem e sabedoria para saber conquistá-las.
(Guilherme Guen Hayashida)*

Resumo

O controle estatístico de qualidade é uma ferramenta que nos possibilita desenvolver e aplicar métodos da estatística para identificar possíveis defeitos que venham a surgir, bem como na redução de custos e na busca de melhoria da qualidade de produtos e serviços. O presente trabalho apresenta uma breve revisão acerca da teoria do controle de qualidade e uma rotina no *software* R, onde pode ser observado o comportamento dos gráficos de controle para um conjunto de dados sobre produtos perecíveis. Os resultados obtidos através dos gráficos no programa indicam que, para a média o processo está sob controle estatístico, já para a amplitude e o desvio padrão o processo saiu fora do limite de controle, com isso é aconselhável fazer uma verificação nas etapas do processo para eliminar essas causas especiais de variação, para que o mesmo possa se estabilizar.

Palavras-chaves: Programa R. Controle Estatístico da Qualidade. Gráficos de Controle.

Abstract

Statistical quality control is a tool that enables us to develop and apply statistical methods to identify possible problems that may arise, as well as to reduce costs and seek to improve the quality of products and services. This work presents a brief review about the theory of quality control and a routine into R software, where we can visualize the behavior of control charts for a dataset of perishable products. The results obtained through the graphs in the program indicate that, for the mean value the process is under statistical control, however for the amplitude and the standard deviation the process went out of the control limits, so it is recommended to carry out a verification in the process steps to eliminate these special causes of variation, so that it can stabilize.

Key-words: R Software. Statistical Quality Control. Control Charts.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Gráfico de controle para a média de produtos estragados por semana.	23
Figura 2 – Gráfico de controle para amplitude de produtos estragados por semana.	24
Figura 3 – Gráfico de controle para o desvio padrão dos produtos estragados. . .	25

Lista de tabelas

Tabela 1 – Médias amostrais dos produtos que se estragaram sem ter sido vendidos, por semana.	22
Tabela 2 – Amplitudes amostrais dos produtos que se estragaram por semana. . .	24
Tabela 3 – Desvios-padrão dos produtos que se estragaram por semana.	25

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Controle Estatístico de Processo (CEP)	13
2.2	Causas de Variabilidade do processo	14
2.3	Gráfico de controle para variáveis	14
2.3.1	Gráfico de controle para \bar{x} e R	15
2.3.2	Gráfico de controle para \bar{x} e S	16
2.3.3	Gráfico de controle de Shewhart para médias individuais	18
2.4	Gráfico de controle para Atributos	19
2.4.1	Gráfico de controle para a fração não-conforme (p)	19
2.4.2	Gráfico de controle para não conformidades (defeitos)	20
3	APLICAÇÃO	22
4	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	27
	APÊNDICE A – ROTINA NO SOFTWARE R UTILIZADA NA ANÁLISE	28

1 Introdução

Com uma evolução constante e um fácil acesso a informações, vem aumentando as exigências por uma qualidade cada vez melhor com relação a serviços e produtos ofertados pelas mais variadas empresas. É uma tarefa bastante árdua para as organizações, em oferecer produtos e serviços de qualidade, para atender a satisfação total das pessoas (CAMARGO, 2011). Quando nos referimos no contexto da empresa, “qualidade” jamais pode ser vista ou entendida como um aspecto de “controle” mas sim, um contexto amplo de gestão.

A concorrência no mercado nos dias atuais é bastante grande, por isso a busca da qualidade de serviços e produtos é bem maior. Assim, o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) é uma ferramenta de grande utilidade para auxílio na busca de uma qualidade cada vez melhor. O *software* R é uma ferramenta bastante utilizada para o uso e interpretação das técnicas do CEQ (BORTOLOTTI; SOUZA; JUNIOR, 2009).

Os gráficos de controle são artifícios úteis para descrever, de maneira precisa, o que se entende por controle estatístico e, como tal, ele pode ser usado de várias maneiras (MONTGOMERY, 2004). Em geral, o aspecto mais importante dos gráficos de controle está em melhorar o processo, tendo em vista que:

1. a grande maioria dos processos não estão em controle estatístico;
2. os gráficos de controle sempre indicam problemas, cujas causas atribuíveis, se encontradas e eliminadas, reduz a variabilidade e melhora o desempenho do processo;
3. os gráficos de controle apenas identificam causas atribuíveis.

No geral os gráficos de controle são classificados em dois tipos principais, de acordo com o tipo dos dados que estão sendo investigados, são eles:

- gráficos de controle para variáveis, quando os dados observados são de natureza numérica;
- ou gráficos de controle para atributos, quando as observações são de natureza categórica.

Ainda de acordo com Montgomery (2004), os gráficos de controle estão entre as mais importantes ferramentas de controle para o gerenciamento de processos e são tão importantes quanto os controles de custos ou de material.

No presente trabalho é apresentada uma breve revisão sobre os principais conceitos acerca do controle estatístico de qualidade, mais especificamente focada nos gráficos de controle. Além disso, com a utilização do *software* R, foi desenvolvida uma rotina para analisar um conjunto de dados de produtos perecíveis através dos gráficos de controle, com o intuito de observar a variabilidade do processo.

2 Fundamentação Teórica

O controle de qualidade é uma forma de detectarmos erros presentes em um dado processo. Nele é possível se verificar se o processo parece estar ou não sob controle estatístico, buscando sempre a melhoria da qualidade, seja ele associado a um produto ou serviço.

2.1 Controle Estatístico de Processo (CEP)

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é um conjunto de ferramentas bastante útil que nos possibilita aplicar métodos da estatística com o objetivo de identificar onde venham a surgir possíveis falhas, buscando sempre a melhoria da qualidade do processo Montgomery (2004).

As sete ferramentas principais são:

1. Apresentação em histogramas ou ramo-e-folhas,
2. Folha de controle,
3. Gráfico de Pareto,
4. Diagrama de causa-e-efeito,
5. Diagrama de concentração de defeito,
6. Diagrama de dispersão,
7. Gráfico de controle.

Essas ferramentas nos ajudam na estabilização do processo, e na melhoria da capacidade através da redução da variabilidade. De acordo com Montgomery (2004), o objetivo maior do controle é eliminar a variabilidade.

Quando fazemos uso dessas ferramentas da estatística de controle, ao longo do estudo sempre iremos nos deparar com os termos “processo sob controle” e “processo fora de controle”, que podem ser definidos como:

- Processo sob controle: é onde existe uma variabilidade natural do processo, estando agindo sobre ele apenas causas comuns aleatórias presentes, neste caso, a variabilidade se mantém estável (processo previsível). Isto é, a produção não ultrapassou os limites superior e inferior.

- Processo fora de controle: acontece quando ele está sob influência de causas especiais de variação (causas atribuíveis existentes). Isto é, a produção ultrapassou os limites inferior e superior.

Um processo está sob controle quando não existem causas especiais, ou atribuíveis, que aumentem a variabilidade de alguma medida de interesse. Mas devemos ressaltar que o fato de ele estar “sob controle” não quer dizer que ele está produzindo dentro de níveis usuais de aceitação. Esses níveis são observados através de técnicas de análise de capacidade ou performance. O objetivo maior é aplicar uma estratégia de controle que permita separar os eventos relacionados a causas comuns (falhas) das causas especiais.

2.2 Causas de Variabilidade do processo

- Causas comuns ou aleatória: Efeito acumulativo de causas, que não são controláveis, tem pouca influência de forma individual (Portal Action, 2017).
- Causas Atribuíveis ou Especiais: Falhas Ocasionais que ocorrem durante o processo, que podem ter grande influência de forma individual (Portal Action, 2017).

2.3 Gráfico de controle para variáveis

O gráfico de controle é representado através de uma figura gráfica para alguma característica de qualidade, medida através de uma amostra de dados, geralmente baseado na suposição de normalidade para sua distribuição de probabilidades, onde podemos analisar a presença ou aumento de variabilidade devida a causas atribuíveis existentes no processo (MONTGOMERY, 2004). O gráfico de controle é a ferramenta mais utilizada para monitorar processo.

Tal gráfico é composto pelo limite superior de controle (LSC); a linha central (LC), que é o valor médio da característica e onde o processo é considerado sob controle; e o limite inferior de controle (LIC). Após esses pontos serem plotados no gráfico, devemos fazer uma observação, logo se os pontos estiverem dentro dos limites de especificação, e se comportarem de forma aleatória, assim temos indícios que este gráfico está sob controle, mas se algum ponto cair fora dos limites temos indícios que o processo está fora de controle (MONTGOMERY, 2004).

Por outro lado, se os pontos estiverem dentro dos limites mas se comportarem de forma não aleatória, temos indícios que esse processo está fora de controle. A ideia principal no controle estatístico de qualidade é que estas observações e interpretações sejam repetidas frequentemente ao longo do tempo, de modo que o processo seja monitorado rotineiramente (MONTGOMERY, 2004).

2.3.1 Gráfico de controle para \bar{x} e R

Ao referirmos com algo característico da qualidade, que é por sua vez uma variável numérica, devemos fazer um monitoramento da média e da variabilidade dessa variável que reflete na qualidade monitorada. Assim, supomos que essa característica vem de uma distribuição de probabilidades com média μ e desvio padrão σ conhecidos (MONTGOMERY, 2004).

Seja x_1, \dots, x_n uma amostra de tamanho n da variável que representa a característica da qualidade a ser monitorada. Então obtemos a média da seguinte maneira:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}. \quad (2.1)$$

Agora aplicando o teorema central do limite a essa amostra, sabendo que essa média vem de uma distribuição normal com média μ e desvio padrão $\sigma\sqrt{n}$, conseqüentemente, o intervalo de confiança para a média é dado por:

$$IC(\mu, 1 - \alpha) = \left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right),$$

sabendo que para esse caso μ e σ são conhecidos.

Geralmente na prática, os valores de μ e σ não são conhecidos e, por este motivo, para darmos continuidade ao estudo deveremos estimá-los. Assim, sendo $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$, as médias de cada uma de m diferentes pequenas amostras tomadas do processo, assim o melhor estimador para a média global do processo μ é:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}. \quad (2.2)$$

Logo iremos usar esta expressão como estimador geral da média, ou seja, $\bar{\bar{x}}$ ficará na linha central do gráfico de controle.

Agora, para a estimação da variabilidade do processo trabalhamos com duas abordagens diferentes. Uma primeira usando a amplitude como estimador da variabilidade e no outro caso usaremos o desvio padrão estimado.

Na primeira abordagem, para a construção dos limites de controle, estimaremos a amplitude R , sendo uma amostra aleatória $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ de tamanho n , dada por:

$$R = x_{máx} - x_{mín}. \quad (2.3)$$

Sejam $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ as amplitudes das m amostras, então a amplitude média é dada pela seguinte forma:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m}. \quad (2.4)$$

Assim, os limites de controle para o gráfico de \bar{x} , são obtidos da seguinte maneira:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

$$LC = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R},$$

sendo que a constante A_2 dada acima para uma amostra de tamanho n encontra-se na Tabela VI do Apêndice do livro de Montgomery (2004).

Já para o gráfico da amplitude R , os limites de controle são obtidos da seguinte maneira:

$$LSC = D_4\bar{R}$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LIC = D_3\bar{R},$$

e novamente, as constantes D_3 e D_4 , para tamanhos de amostra n encontram-se na mesma tabela do caso anterior.

2.3.2 Gráfico de controle para \bar{x} e S

Como já citado anteriormente, a outra abordagem para se avaliar a variabilidade do processo envolve o cálculo do desvio padrão estimado, S . Assim, a construção dos gráficos de \bar{x} e S , envolve basicamente os mesmos passos do procedimento associado aos gráficos de \bar{x} e R , exceto para o cálculo da média amostral \bar{x} e o desvio padrão amostral S , onde deverá se feito para cada amostra.

Agora, será feito uma estimação para o σ , para amostras de tamanho n e desvio padrão S_i , temos que a média dos m desvios é:

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i,$$

e, segundo Montgomery (2004), sabe-se que $\frac{\bar{S}}{C_2}$ é um estimador não viciado de σ . Assim, os parâmetros para o gráfico de controle para S ficam:

$$LSC = \bar{S} + 3\frac{\bar{S}}{C_4}\sqrt{1 - C_4^2}$$

$$LC = \bar{S}$$

$$LIC = \bar{S} - 3\frac{\bar{S}}{C_4}\sqrt{1 - C_4^2},$$

porém, definindo outras duas constantes como

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_4}\sqrt{1 - C_4^2},$$

e

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2},$$

os parâmetros para o gráfico S podem ser reescritos de uma forma mais simplificada, da seguinte maneira

$$LSC = B_4 \bar{S}$$

$$LC = \bar{S}$$

$$LIC = B_3 \bar{S}.$$

Também é possível se mostrar que as constantes B_3 e B_4 ainda podem ser escritas em função de outras constantes, B_5 e B_6 :

$$B_4 = \frac{B_6}{C_4}$$

e

$$B_3 = \frac{B_5}{C_4}.$$

Se a variância σ^2 é desconhecida, logo o estimador não viciado para a variância amostral é:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

e o desvio padrão é dado por:

$$S = \sigma \sqrt{1 - C_4^2}.$$

Se os valores dados forem referentes ao σ , logo a $E(S) = C_4 \sigma$, que será a linha central para o gráfico. Assim os limites três-sigma ficam dados por

$$LSC = C_4 \sigma + 3\sigma \sqrt{1 - C_4^2}$$

$$LC = C_4 \sigma$$

$$LIC = C_4 \sigma - 3\sigma \sqrt{1 - C_4^2}.$$

De modo que as constantes B_5 e B_6 dadas acima ficam definidas como

$$B_5 = C_4 - 3\sqrt{1 - C_4^2}$$

e

$$B_6 = C_4 + 3\sqrt{1 - C_4^2}.$$

Logo, os limites para o gráfico de controle para S ficam

$$LSC = B_6 \sigma$$

$$LC = C_4 \sigma$$

$$LIC = B_5 \sigma$$

Todas as constantes citadas nesta seção podem ser encontradas na Tabela VI de Montgomery (2004).

Por fim, quando é feito o uso de $\frac{\bar{s}}{C_4}$ para se estimar o parâmetro σ , definiremos os limites de controle para o gráfico da média da seguinte maneira, sabendo que a constante $A_3 = \frac{3}{C_4\sqrt{n}}$, logo

$$\begin{aligned}LSC &= \bar{\bar{x}} + A_3\bar{S} \\LC &= \bar{\bar{x}} \\LIC &= \bar{\bar{x}} - A_3\bar{S}.\end{aligned}$$

Novamente as constantes B_3 , B_4 e A_3 se encontram na tabela VI de Montgomery (2004).

2.3.3 Gráfico de controle de Shewhart para médias individuais

Quando se fala em gráfico de controle para médias individuais, estamos trabalhando com apenas uma única amostra, isto é, com $n = 1$. Para esse tipo de gráfico usaremos a amplitude móvel de duas observações consecutivas, assim a estimativa da variabilidade da amplitude móvel é dada por

$$MRi = |x_i - x_{i-1}|, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

a partir do que definimos a média das amplitudes móveis:

$$\overline{MR} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m MRi.$$

Para a construção do gráfico da amplitude móvel, com $n = 2$, temos:

$$\begin{aligned}LSC &= D_4\overline{MR} \\LC &= \overline{MR} \\LIC &= D_3\overline{MR}.\end{aligned}$$

Já para o gráfico para as médias individuais, os limites de controle ficam dados da seguinte forma:

$$\begin{aligned}LSC &= \bar{\bar{x}} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \\LC &= \bar{\bar{x}} \\LIC &= \bar{\bar{x}} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2},\end{aligned}$$

onde, novamente todas as constantes envolvidas com os cálculos apresentados aqui encontram-se na Tabela VI de Montgomery (2004).

2.4 Gráfico de controle para Atributos

2.4.1 Gráfico de controle para a fração não-conforme (p)

Todos os tipos de gráficos apresentados anteriormente são voltados para medidas de qualidade representadas por variáveis numéricas. Porém, o mesmo tipo de gráfico de controle pode ser construído para atributos, ou seja, para variáveis categóricas. Neste sentido, um dos gráficos mais populares são os gráficos de controle para a fração não conforme.

Tais gráficos são feitos para a proporção de itens que não atingem critérios específicos de qualidade, ou seja, para a fração de não conformidades. Essa fração pode ser definida como o número de itens defeituosos, dividido pelo total de itens da amostra, esses itens podem ter diversas características da qualidade que passam pelo processo de observação e, caso um desses itens falhar de acordo com essas características da qualidade, logo esse item é não conforme. Os princípios para a construção do gráfico de controle para a fração não conforme vem de uma distribuição binomial. Se temos uma amostra de n elementos e D é o número de unidades não conformes, então,

$$P\{D = x\} = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, \dots, n. \quad (2.5)$$

Logo, a fração não-conforme é definida por

$$\hat{p} = \frac{D}{n},$$

e os limites de controle para o gráfico de tal fração podem ser calculados por

$$LSC = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$LC = p$$

$$LIC = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}.$$

A fração não conforme geralmente não é conhecida, com isso é preciso estimá-la. Logo, a partir de uma amostra de itens observados do processo de produção, será feita a estimação da fração de não conformidades por \hat{p} , e se sua estimativa estiver dentro dos limites especificados e os pontos plotados estiverem dispostos de forma aleatória podemos dizer que esse processo está sob controle. Por outro lado, se o ponto \hat{p} estiver fora dos limites e os pontos plotados estiverem de forma não aleatória, logo o processo está fora de controle (MONTGOMERY, 2004).

Além disso, na prática se observa um conjunto de m amostras diferentes de tamanhos n e, para cada amostra se calcula a fração de itens não conformes, ou seja:

$$\hat{p}_i = \frac{D_i}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

e calculamos a proporção, ou fração média de não conformidades, dada por:

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^m \frac{\hat{p}_i}{m}.$$

Deste modo, os limites de controle para o gráfico ficarão dados da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ LC &= \bar{p} \\ LIC &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}. \end{aligned}$$

2.4.2 Gráfico de controle para não conformidades (defeitos)

Quando se fala em não conformidades, nos referindo a um dado produto que passou por uma avaliação e mostrou falhas, isto é, não satisfaz suas especificações, chamamos isso de defeito ou não conformidade. Caso o interesse esteja em se avaliar o número de não conformidades ao invés da fração não conforme, admitimos que tal variável siga distribuição de Poisson, isto é, sua função de probabilidade fica dada por

$$p(x) = \frac{e^{-c}c^x}{x!}, \quad x = 0, 1, \dots, \quad (2.6)$$

onde x é o número de não conformidades e c é a taxa com que elas acontecem. Assim, os limites para o gráfico de controle para o número de não conformidades ficam

$$\begin{aligned} LSC &= c + 3\sqrt{c} \\ LC &= c \\ LIC &= c - 3\sqrt{c}. \end{aligned}$$

Caso a taxa de não conformidades não seja conhecida, então será preciso estimar c a partir do número médio de não conformidades, assim os limites de controle para o gráfico a partir da taxa estimada ficam definidos como,

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ LC &= \bar{c} \\ LIC &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}. \end{aligned}$$

Neste caso, como a taxa c é estimada e os os limites de controle são dados a partir desta taxa, este tipo de gráfico é conhecido como gráfico c .

Podemos ressaltar que também é possível se construir o gráfico de controle para o número médio de não conformidades por unidade de inspeção, ou gráfico u , onde

$$u = \frac{x}{n},$$

onde x é a realização de uma variável aleatória de Poisson. Assim, a partir de um conjunto de amostras diferentes calcula-se \bar{u} , e os limites de controle ficam dados por

$$\begin{aligned}LCS &= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \\LC &= \bar{u} \\LIC &= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}},\end{aligned}$$

lembrando que as interpretações para este tipo de gráfico são similares as do gráfico anterior.

3 Aplicação

Os dados apresentados nesse trabalho foram cedidos pelo senhor Mailson Pereira de Negreiros, proprietário do mercadinho Nossa Senhora Aparecida, situado na cidade de Caturité - PB. Neste sentido o objetivo aqui foi apresentar uma análise de controle de qualidade aplicada a produtos perecíveis, onde foram escolhidos alguns legumes e frutos: macaxeira, tomate, batata, goiaba, manga, cenoura, batata doce, cará, cebola, beterraba, maracujá, e inhame.

Ao longo de seis semanas foi observada a quantidade destes itens que estragavam no mercado sem que tivessem sido vendidos, em quilogramas. O objetivo principal deste trabalho foi construir os gráficos de controle para a média, amplitude e desvio padrão da quantidade de produtos que estragavam por semana. Como foram observados dados apenas ao longo de seis semanas, foram simulados mais 14 observações seguindo distribuição normal com média e variância estimadas a partir dos dados originais para cada produto. Isso foi feito para garantir uma quantidade mínima de 20 observações, de modo a estimar os limites de controle com uma certa segurança, e tornar possível ilustrar a utilização dos gráficos de controle.

Tabela 1 – Médias amostrais dos produtos que se estragaram sem ter sido vendidos, por semana.

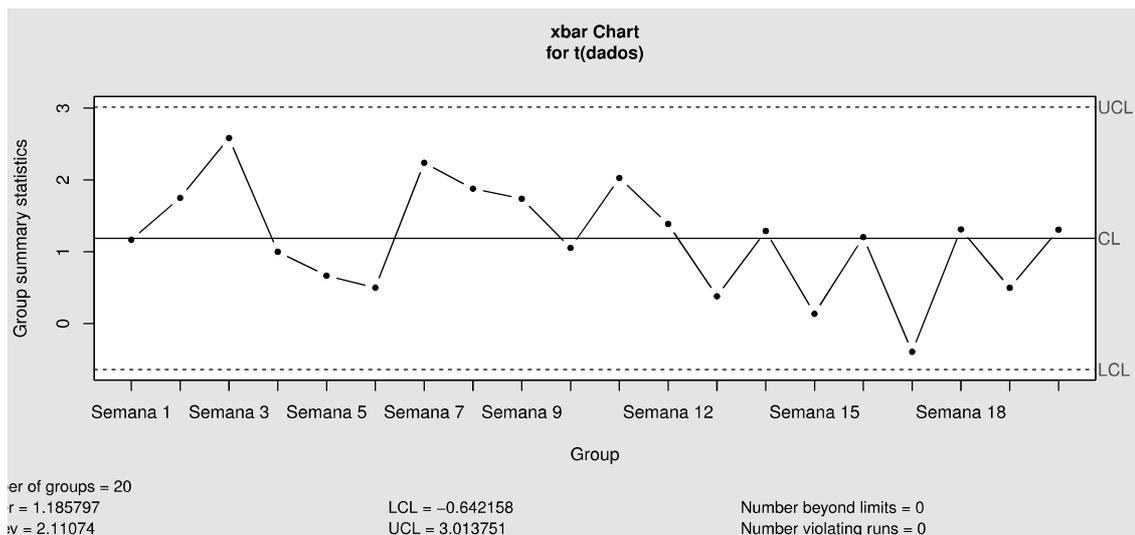
Semanas	Médias
1	1,1666667
2	1,7500000
3	2,5833333
4	1,0000000
5	0,6666667
6	0,5000000
7	2,2382540
8	1,8773733
9	1,7377524
10	1,0523595
11	2,0259722
12	1,3870239
13	0,3800112
14	1,2889256
15	0,1354900
16	1,2033916
17	-0,3932491
18	1,3114290
19	0,4977244
20	1,3068090

Todas as análises foram executadas no *software* estatístico R (R Core Team, 2017), que é gratuito, com uso do pacote `qcc` (SCRUCCA, 2004). Tal pacote, cujo nome se origina do termo em inglês (*quality control chart*), é específico para controle estatístico de qualidade, mais especialmente para a construção dos gráficos de controle.

Inicialmente iremos apresentar o gráfico de controle para a média de produtos que se estragaram, por semana, sem que tivessem sido vendidos. Assim, a Tabela 1 apresenta os valores médios de produtos estragados, em Kg, para as 20 semanas estudadas.

Assim, o gráfico de controle para a média está representado na Figura 1, onde temos que os limites inferior (LIC) e superior de controle (LSC) ficaram dados por $-0,642158$ e $3,013751$, respectivamente. No gráfico observa-se que as médias para as 20 semanas se comportam dentro dos limites de controle, pois os pontos estão dispostos de forma aleatória e entre os limites de controle, o que nos indica que o processo parece estar sob controle.

Figura 1 – Gráfico de controle para a média de produtos estragados por semana.



Na sequência iremos apresentar o gráfico de controle para as amplitudes dos valores observados. Assim, a Tabela 2 apresenta os valores mínimos e máximos, com as respectivas amplitudes para os dados de todas as semanas observadas.

O gráfico de controle para a amplitude está representado na Figura 2, onde é possível observar os limites inferior (LIC) e superior (LSC) dados por $1,947238$ e $11,80635$, respectivamente. Observa-se que o gráfico para amplitude nos mostra que os pontos saíram fora dos limites de controle em cinco momentos (semanas 3, 6, 7, 11 e 18), o que nos indica uma possível causa especial de variação. Isto é, o processo aparenta estar fora de controle, e as causas atribuíveis ao possível problema deveriam ser investigadas.

Tabela 2 – Amplitudes amostrais dos produtos que se estragaram por semana.

Semanas	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude
1	0	5	5
2	0	7	7
3	0	13	13
4	0	4	4
5	0	2	2
6	0	1	1
7	-0,2237829	11,7655017	11,9892846
8	-1,246159	7,838597	9,084756
9	-0,7714282	6,3730272	7,1444554
10	-0,9252603	3,5495996	4,4748599
11	0,05194494	12,27822236	12,22627742
12	-0,6034849	7,4391378	8,0426227
13	-2,122598	2,516710	4,639308
14	-0,2607791	4,8162519	5,077031
15	-4,959272	1,787452	6,746724
16	-1,046248	3,537471	4,583719
17	-8,278887	1,932804	10,211691
18	-4,127544	10,977378	15,104922
19	-1,055761	2,714488	3,770249
20	0,01330517	2,45324624	2,43994107

Por fim, será apresentado o gráfico de controle para os desvios-padrão estimados para as 20 semanas. Deste modo os respectivos valores estimados para cada semana estão colocados na Tabela 3. No geral, o desvio-padrão médio para todas as semanas foi calculado em 1,90652.

Assim, finalmente na Figura 3 temos o gráfico de controle para o desvio padrão, onde é importante observar que o limite inferior de controle (LIC) foi calculado em 0,6739775,

Figura 2 – Gráfico de controle para amplitude de produtos estragados por semana.

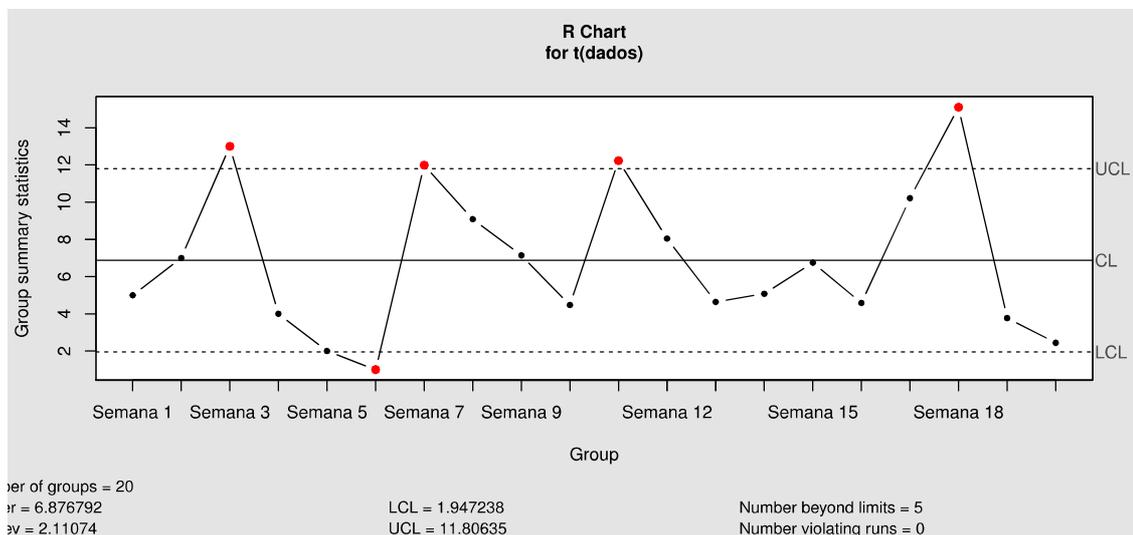
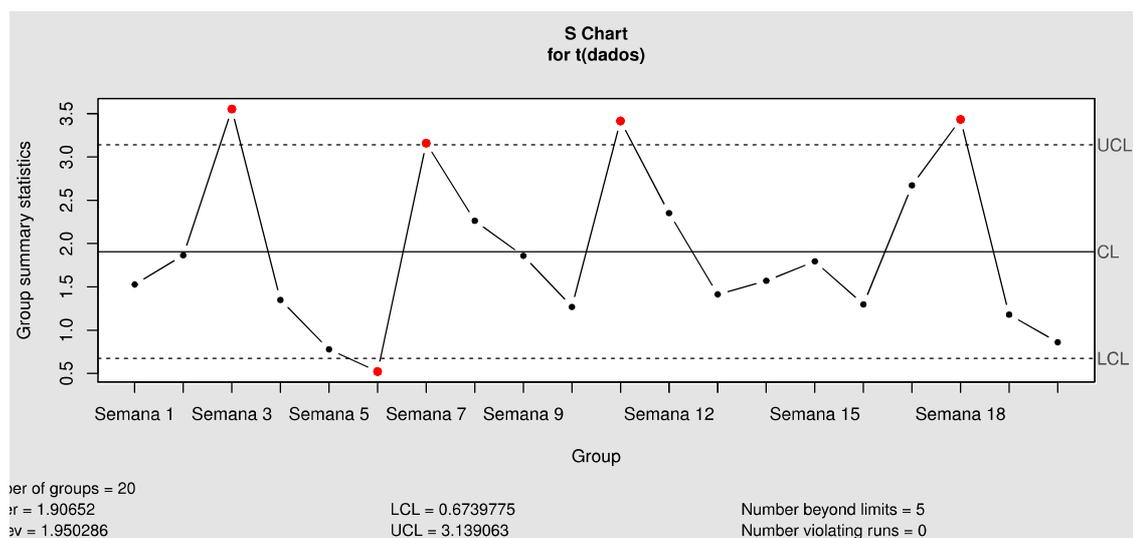


Tabela 3 – Desvios-padrão dos produtos que se estragaram por semana.

Semanas	Desvios Padrão
1	1,5275252
2	1,8647447
3	3,5537006
4	1,3483997
5	0,7784989
6	0,5222330
7	3,1590226
8	2,2627456
9	1,8586379
10	1,2680293
11	3,4159617
12	2,3517759
13	1,4126796
14	1,5698810
15	1,7942008
16	1,2980393
17	2,6718142
18	3,4337599
19	1,1790770
20	0,8596775

enquanto o limite superior de controle (LSC) ficou dado por 3,139063. É possível observar que no gráfico do desvio padrão que os valores associados às mesmas cinco semanas identificadas no gráfico de controle para a amplitude também estão fora de controle aqui, o que reforça o resultado anterior.

Figura 3 – Gráfico de controle para o desvio padrão dos produtos estragados.



4 Conclusão

De acordo com as análises obtidas, o gráfico de controle para a média mostrou que entre a primeira e a quarta semanas um ponto chegou perto do limite superior de controle e entre a décima quinta e a décima oitava semanas um ponto chegou próximo ao limite inferior de controle, mas mesmo assim o gráfico para a média se comportou de maneira satisfatória ficando dentro dos limites de controle. Já em ambos os gráficos de controle para a amplitude e para o desvio-padrão os pontos se comportaram de maneira aleatória, mas os valores obtidos para cinco semanas (3, 6, 7, 11 e 18) saíram fora dos limites de especificação, o que indica que o processo aparenta estar fora de controle para a variabilidade dos dados. Com isso, é aconselhável fazer uma verificação para determinar qual a razão para este ocorrido; onde deve-se eliminar esta possível causa especial de variação para que o processo possa se estabilizar.

Com esse levantamento feito, mostraremos ao proprietário do negócio qual o índice de perda desses produtos e, junto com a identificação das causas do problema, indicar uma eventual solução visando a redução dos prejuízos e do desperdício. Entretanto, é importante lembrar que a maior parte dos dados utilizados neste trabalho foram simulados computacionalmente, o que inviabiliza a interpretação direta dos resultados. Mas, uma vez que os dados reais sejam observados é possível que a análise seja refeita e que o controle estatístico de qualidade seja colocado no dia-a-dia do negócio.

Referências

- BORTOLOTTI, S. L. V.; SOUZA, R. A. de; JUNIOR, A. F. de S. Análise da qualidade do produto final no processo de envase de azeitonas verdes. In: *V Congresso Nacional de Excelência em Gestão*. [S.l.: s.n.], 2009. Citado na página 11.
- CAMARGO, W. *Controle de Qualidade Total*. 2011. Disponível em: <<http://ead.ifap.edu.br/netsys/public/livros/LIVROS%20SEGURAN%C3%87A%20DO%20TRABALHO/M%C3%B3dulo%20I/Livro%20Controle%20da%20Qualidade%20Total.pdf>>. Acesso em: 23 de outubro de 2017. Citado na página 11.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. Citado 7 vezes nas páginas 11, 13, 14, 15, 16, 18 e 19.
- Portal Action. *Controle Estatístico do Processo*. 2017. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/control-e-estatistico-do-processo>>. Acesso em: 23 de outubro de 2017. Citado na página 14.
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Citado na página 23.
- SCRUCCA, L. qcc: an r package for quality control charting and statistical process control. *R News*, v. 4/1, p. 11–17, 2004. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>>. Citado na página 23.

APÊNDICE A – Rotina no software R utilizada na análise

```
###Aplicação de Controle de qualidade###

setwd("C:/Users/Ismênia/Dropbox/PlanilhaTCC")

## Carregando os dados simulados

load("dados_simulados.RData")
dados <- dadosS

## Calculando as médias amostrais

apply(t(dados), 1, mean)

## Calculando as amplitudes

apply(t(dados), 1, range)

## Calculando os desvios padrão (e a média dos deles)

apply(t(dados), 1, sd)
mean(apply(t(dados), 1, sd))

## Carregando o pacote qcc (de Quality Control Chart)

library(qcc)

## Gráfico de controle para a média

qcc(t(dados), "xbar")

## Gráfico de controle para a amplitude

qcc(t(dados), "R")
```

```
## Gráfico de controle para o desvio padrão
```

```
qcc(t(dados), "S")
```