

# APLICAÇÃO DA CARTA CUSUM BINOMIAL NO MONITORAMENTO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COURO ACABADO

**Rafael Silva de Lima (Universidade Federal da Bahia(UFBA) )**  
rafaelsilvadelima91@gmail.com

**Laís Neri dos Santos (Universidade Federal da Bahia(UFBA) )**  
lais.neri@hotmail.com

**Angelo Marcio Oliveira Santanna (Universidade Federal da  
Bahia(UFBA) )**  
angelo.santanna@ufba.br

**Carlos Arthur Mattos Teixeira Cavalcante (Universidade Federal  
da Bahia(UFBA) )**  
arthurtc@ufba.br



*As cartas de soma cumulativa (CUSUM) possuem a vantagem de ter maior sensibilidade na detecção de pequenas mudanças dentro de um processo. Essas cartas são aplicadas de modo geral para análise de processos de medição de variáveis, entretanto essa carta de controle pode ser aplicada para o monitoramento de atributos, analisando as proporções não conforme às especificações de um processo. Estas cartas de soma cumulativa (CUSUM) possuem a vantagem de ter maior sensibilidade na detecção de pequenas mudanças dentro de um processo. Essas cartas são aplicadas de modo geral para análise de processos de medição de variáveis, entretanto essa carta de controle pode ser aplicada para o monitoramento de atributos, analisando as proporções não conforme às especificações de um processo. Este artigo objetiva aplicar a carta CUSUM binomial no monitoramento da proporção de produtos não-conformes de uma empresa curtidora de couro. É desenvolvido o CUSUM binomial para detecção de mudanças na proporção sob controle do processo produtivo, com o valor de average run length (ARL) tolerável. Os resultados obtidos demonstram que a carta CUSUM binomial possui uma maior sensibilidade na detecção de interferências e não-conformidades dentro do processo em comparação a carta de controle de atributos proposta por Shewhart, sendo uma alternativa para aplicação em processos onde há a necessidade de detecção de pequenas mudanças de maneira rápida e efetiva. artigo objetiva aplicar a carta CUSUM binomial no monitoramento da proporção de produtos não-conformes de uma empresa curtidora de couro. é desenvolvido o CUSUM binomial para detecção de mudanças na proporção sob controle do processo produtivo, com o valor de average run length (ARL) tolerável. Os resultados obtidos demonstram que a carta CUSUM binomial possui uma maior sensibilidade na detecção de interferências e não-*

*conformidades dentro do processo em comparação a carta de controle de atributos proposta por Shewhart, sendo uma alternativa para aplicação em processos onde há a necessidade de detecção de pequenas mudanças de maneira rápida e efetiva.*

*Palavras-chave: Controle estatístico de processos, CUSUM, CUSUM binomial, distribuição binomial.*

## 1. Introdução

As cartas de controle estatístico de processos (CEP) são ferramentas amplamente utilizadas para análise de características da qualidade dentro de um processo. Tradicionalmente as cartas mais empregadas são as cartas do tipo Shewhart, pois essas apresentam uma grande facilidade de implementação e análise, na qual é avaliado o último ponto assinalado para verificar interferências dentro de um processo. Entretanto a análise apenas do último ponto observado torna essas cartas insensíveis a pequenas alterações dentro de um processo com desvio padrão na ordem de  $1,5\sigma$  ou menos (MONTGOMERY, 2004).

Uma das alternativas de aplicação para processos nos quais apresentam características da qualidade com pequenas mudanças em torno da média é a carta de controle do tipo Soma Cumulativa, do inglês *Cumulative Sum* (CUSUM). Essas cartas têm como natureza, a análise de informações acumuladas em diversas amostras anteriores e não somente em um único ponto. Isto torna essa carta mais eficaz na sinalização dos descontrole, assim como identificar o tempo em que ocorre a mudança dentro do processo analisado (HENNING *et al.*, 2011).

A carta CUSUM é comumente utilizado em processo de medição de variáveis, onde a estatística analisada é a média amostral ou o valor individual da variável em observação. Entretanto a técnica empregada nesta carta de controle pode ser aplicada para o controle da característica de qualidade do tipo atributos, analisando a não-conformidades em um grupo de amostra, como por exemplo o CUSUM para distribuição binomial (ALVES, 2003).

A característica da qualidade de um processo definida como a proporção de produtos não-conformes às especificações compreende a razão entre o número de unidades não conformes da amostra e o tamanho da amostra, gerando dois números discretos ou dois números contínuos, contidos no intervalo  $[0,1]$  e geralmente não possuem distribuição de probabilidade Normal (SANT'ANNA; CATEN, 2010).

A carta de controle CUSUM binomial examina cumulativamente o número de não-conformidades em uma sequência de amostra de tamanho  $n$  (HENNING *et al.*, 2010). Este

trabalho tem como objetivo aplicar a carta CUSUM binomial no monitoramento da proporção de produtos não-conformes em uma empresa curtidora de couro, produtora de couro acabado e fornecedora para as indústrias de calçados e artefatos de couro.

Na seção 2 é apresentado uma breve fundamentação teórica da carta CUSUM para variáveis e CUSUM binomial. Na seção 3, são apresentados os passos para o desenvolvimento da carta

de controle CUSUM binomial. Na seção 4 um estudo de aplicação prática. Finalmente na seção 5 e 6 são apresentados a análise dos resultados e as considerações finais respectivamente.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Carta de controle de soma cumulativa(CUSUM)

Proposto por Page(1954), as cartas de controle de soma cumulativa (CUSUM) são ferramentas indicadas quando há interesse na detecção em pequenas e persistentes alterações. A carta CUSUM incorpora diretamente toda a informação de valores da amostra plotando as somas cumulativas dos desvios da amostra de um valor alvo (MONTGOMERY, 2004). Supondo que  $\bar{x}_i$  é a média  $i$ -ésima amostra e  $\mu$  é o valor alvo para o processo, o

CUSUM pode ser formulado da seguinte forma junto a amostra  $i$ :

$$c_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) = c_{i-1} + (\bar{x}_i - \mu_0), (1)$$

sendo  $c_i$  a soma acumulada da  $i$ -ésima amostra que combina informação de diversas amostras.

Supondo que o processo permanece sob controle para o valor  $\mu_0$  definidas na equação 1, a soma acumulada  $c_i$  descreve um comportamento aleatório com média zero ( $\mu_0 = 0$ ).

Entretanto se a média altera o seu valor para um valor acima, ou seja,  $\mu_1 > \mu_0$ , a soma acumulada  $c_i$  terá uma tendência crescente. Assim como se a média altera o seu valor para

um valor abaixo,  $\mu_1 < \mu_0$ , a soma acumulada terá uma tendência decrescente. Se a média

apresentar tendência ascendente ou decrescente, deve ser observado que a média do processo sofreu alteração e uma busca de causas assinaláveis deve ser realizada.

A carta CUSUM apresenta propriedades de armazenar os valores das somas de forma unilateral acumuladas do processo analisado. Assim pode-se sinalizar as estatísticas  $c_i^+$  e  $c_i^-$ ,

denominadas CUSUM superior e CUSUM inferior unilateral e a sua formulação pode ser descrita da seguinte forma:

$$c_i^+ = \text{máx}[0, \bar{x}_i - (\mu_0 + K) + c_{i-1}^+], (2)$$

$$c_i^- = \text{máx}[0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_i + c_{i-1}^-], (3)$$

onde  $K$  é o valor de referência para a carta CUSUM. Se a mudança de  $K$  for esperada em relação ao desvio padrão, então o valor de  $K$  é metade do valor do desvio:

$$K = \frac{\Delta}{2} = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} = \frac{\delta}{2} \sigma (4)$$

onde  $\delta$  é o tamanho da mudança em unidades de desvio padrão e  $\sigma$  é o desvio padrão.  $c_i$  acumula o desvio do valor de  $\mu_0$  que são maiores que  $K$ , tornando-se negativo. Se os valores acumulados excederem os limites de controle  $h$ , o processo é considerado fora de controle.

## 2.2 Carta CUSUM Binomial

Segundo Vasconcelos *et al.*, (2012), o gráfico de soma cumulativa para média de um processo, pode ser planejada para monitorar processos que mensuram características de qualidade do tipo não conformidades (defeitos) ou não conformes (defeituoso), as quais seguem as distribuições de probabilidade do Poisson e Binomial, respectivamente.

A carta de controle CUSUM binomial tem como característica analisar o número de não-conformes acumulados em um determinado grupo de amostras. Esta carta tem como objetivo a detecção de aumentos ou diminuições *nps*, como é verificado na maioria das cartas por atributo (WOODALL, 1997).

Henning *et al.*, (2010) afirmam que a carta CUSUM binomial unilateral superior é aplicada para detectar um aumento do valor esperado de itens não-conformes, do valor nominal  $np_0$  para  $np_1$ , onde  $p_1 = \phi p_0$ , com  $\phi$  representando o acréscimo (%) em  $p_0$ .

Assim com uma série de amostras aleatórias  $Y_i, i = 1, 2, \dots$ , independentes, de tamanho  $n$ , a carta de controle CUSUM binomial pode ser obtida a partir de:

$$c_i = \text{máx}(0, c_{i-1} + X_i - K), i = 1, 2, \dots (5)$$

em relação a  $Y_i$  onde:

- a)  $c_i$  é a estatística CUSUM com  $c_0 = u, 0 \leq u \leq h$ ;
- b)  $X_i$  é o número de itens não-conformes nas amostras  $Y_i$ ;
- c)  $K$  é a constante de referência CUSUM;
- d)  $h$  é o limite de controle do CUSUM;

A análise é realizada de maneira similar ao CUSUM por média. Se o processo estiver sob controle, a soma descreve um percurso aleatório com média zero. Porém se houver tendências de mudança no valor da média para algum valor acima, então o valor acumulado  $c_i$  apresentará uma tendência ascendente. Se o valor de  $c_i$  ultrapassar o limite  $h$  é dito que este processo está fora de controle.

Nota-se assim que a elaboração do CUSUM binomial depende dos valores de  $K$ ,  $h$  e por consequência do  $ARL_0$  (taxa máxima de alarme falso). Este artigo aborda a aplicação da carta CUSUM binomial para a detecção de mudanças pré-especificadas na proporção sob controle, com um valor de  $ARL_0$  tolerável. Assim o limite de controle  $h$  será determinado a partir de valores de  $K$  e  $ARL_0$  pré-definidos.

### ***2.2.1 Valor de referência K para o CUSUM Binomial***

Segundo Hawkins & Olwell (1998) existem duas maneiras para a escolha do valor de referência  $K$ : (i) a primeira, se o processo estiver fora de controle devido a característica do próprio processo ou produto, a partir de cálculos teóricos e experimentais pode-se determinar o valor de  $K$  e elaborar o gráfico CUSUM para detectar alterações desses valores; (ii) a segunda forma, trata de escolher a mudança que se deseja detectar rapidamente. Assim para a

aplicação de um CUSUM binomial é abordado a média da proporção sob controle  $np_0$  e a média fora de controle estatístico  $np_1$  (HENNING *et al.*, 2011).

Gan (1993) comprovou em seu trabalho que o valor de referência  $K$  obtido a partir de uma sequência de testes SPRT (*Sequential Probability Ratio Test*) quantifica o desempenho do CUSUM binomial em relação ao ARL. A equação 6 apresenta a formulação do  $K$  que pode ser considerado um valor ótimo:

$$k = \frac{n \ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}{\ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right) - \ln\left(\frac{p_0}{p_1}\right)}. \quad (6)$$

### 2.2.2 Limite superior de controle $h$

A abordagem clássica para a determinação do limite superior  $h$  é a Markoviana. Entretanto esta traz algumas desvantagens, como por exemplo, se o valor de  $p_0$  for muito baixo, a matriz de transição da Cadeia de Markov pode ser muito grande, fazendo com que haja um grande esforço computacional (REYNOLDS E STOUMBOS, 1999).

A fim de contornar o problema de esforço computacional, Henning *et al.*, (2010) apresenta em seu trabalho a aproximação do limite superior  $h$ , onde a função Lambert  $W$  e o seu desenvolvimento em série foi utilizado para aproximar o valor do parâmetro  $h$  para o CUSUM binomial. A formulação abordada no trabalho pode ser visto nas equações 7, 8 e 9:

$$h \approx \frac{1}{r_2} \left( - \left( \frac{nyr_2}{e^{-nyr_2} - 1} \right) + nARL_0(p_0r_2 - r_1) - \left( L_1 - L_2 + \frac{L_2}{L_1} + \frac{L_2(L_2 - 2)}{2L_1^2} \right) \right) - \frac{(1 - 2p_0)}{3}, \quad (7)$$

onde:

$$L_1 = \ln \left( - \left( - \left( \frac{1}{e^{-nyr_2} - 1} \right) \left( e^{nyr_2 + n(r_1 - p_0r_2)} (-ARL_0 - (r_2/1 - e^{-nyr_2}) nyr_2) \right) \right) \right); \quad (8)$$

$$L_2 = \ln(-L_1), \quad (9)$$

sendo  $r_1 = -\ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)$ ;  $r_2 = -\ln\left(\frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}\right)$ ;  $\gamma = \frac{r_1}{r_2}$ , e o valor de referência  $K=ny$ .

Desta forma, neste trabalho é utilizado a aproximação do valor de  $h$  para o CUSUM binomial apresentada por (HENNING *et al.*, 2010) .

### 3. Etapas para a aplicação do CUSUM binomial

Segundo Montgomery(2004), as cartas de controle são desenvolvidas em duas etapas operacionais, denominadas Fase I ou *offline* e Fase II ou *online*. Na primeira fase os dados são coletados e verifica-se a aderência dos dados aos tipos de cartas de controle. Nesta primeira etapa são calculados os parâmetros necessários para a aplicação da carta de controle, como os limites de controle e o  $ARL_0$ . A segunda etapa, é a fase de monitoramento, onde os parâmetros

obtidos na Fase I são utilizados para a observação. O desenvolvimento da carta CUSUM binomial, ocorre assim de acordo com as etapas descritas a seguir:

- a) Coleta de dados com valores amostrais;
- b) Verificação de aderência dos dados a distribuição binomial;
- c) Definir o valor da proporção que se deseja detectar rapidamente  $p_1$ ;
- d) Calcular os parâmetros  $h$ ,  $ARL_0$  e  $K$ ;
- e) Construir carta de controle CUSUM binomial;

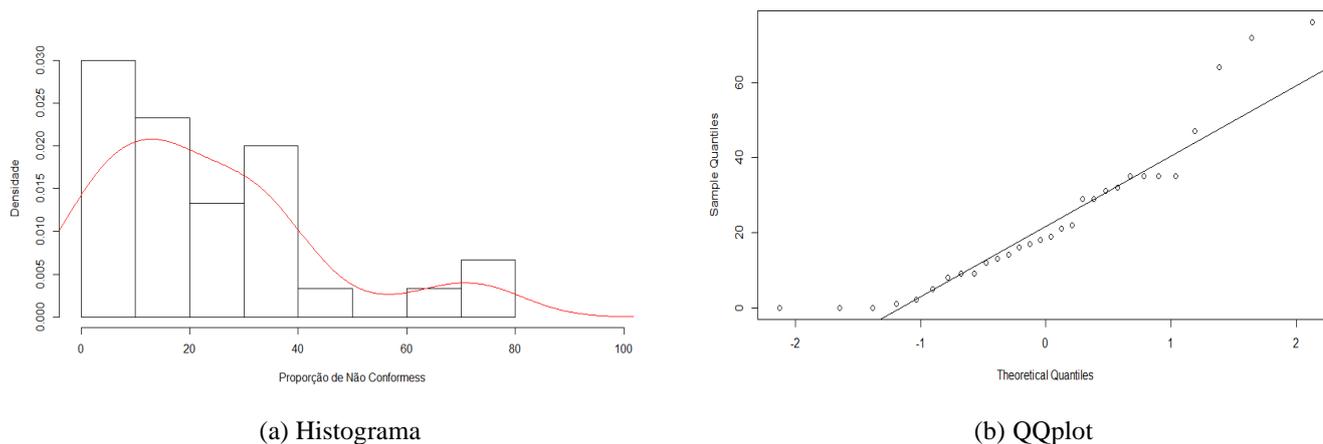
### 4. Desenvolvimento da carta de controle CUSUM binomial

O estudo de caso consistiu na análise do processo de produção de produtos em couro acabado na etapa *wet blue* do processo produtivo, avaliando as matérias-primas que não satisfazem às especificações e classificando como produtos não conformes às especificações, por lote. Os dados coletados contemplaram uma amostra de 30 lotes de tamanho ( $n = 100$ ). Ou seja, o classificador recebe um lote de contendo as matérias-primas e verifica se as características de qualidade satisfazem às especificações, por métodos cognitivos.

Numa análise preliminar da amostra, a proporção média de produtos não-conformes às especificações foi de 0,235, desvio-padrão de 0,204 e coeficiente de variação de 87%. Nota-se que os gráficos de histograma e o QQplot da ilustram claramente que os dados não seguem a distribuição Normal (ver Figura 1(a) e (b)).

A proporção de produtos não conformes às especificações do processo de produção de couro acabado processo não segue a distribuição Normal, baseado no teste de aderência Shapiro-Wilk ( $W = 0,888$ ), com 95% de confiança ( $\alpha = 0,05$ ), sendo o valor obtido para valor-p menor que  $0,01 (p = 0,00437)$ .

Figura 1 - Distribuição da proporção de produtos não conformes



Fonte: Autoria própria (2019)

A partir da análise exploratória, se iniciou o desenvolvimento da carta de controle CUSUM binomial unilateral superior utilizando os dados da empresa curtidora de couro.

Estes dados apresentaram aderência com a distribuição de probabilidade binomial e são utilizados na primeira fase (*offline*) de desenvolvimento da carta de controle, onde são calculados os parâmetros do CUSUM binomial. A proporção sob controle  $p_0 = 0,235$  é

obtida a partir dos valores amostrais. A proporção fora de controle  $p_1$  é obtida a partir do acréscimo  $\phi$  em  $p_0$ . A Tabela 2 apresenta os valores de  $p_1$  para cada valor de  $\phi$ .

Tabela 2 – Valor de  $p_1$  com acréscimos  $\phi$

$p_0$	$\phi(\%)$	$p_1$	K
<b>0,235</b>	5	0,247	24,10
<b>0,235</b>	10	0,259	24,68
<b>0,235</b>	15	0,270	25,25
<b>0,235</b>	20	0,282	25,82

Fonte: Autoria própria (2019)

A carta de controle CUSUM binomial foi planejada para um valor de ARL de 350. As equações 6 e 7 foram utilizadas para obter os valores de  $K$  e do limite superior  $h$  respectivamente, para cada valor de  $p_1$ .

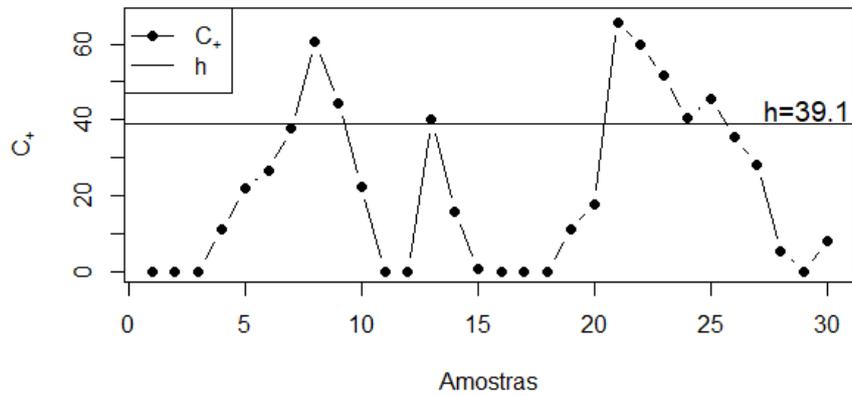
As análises dos dados deste trabalho foram realizadas no *software* R (R, 2016), com a utilização do pacote QCC (SCRUCCA, 2004). Para o cálculo do limite superior  $h$  é utilizado o código disponibilizado por (HENNING *et al*, 2010) .

## 5. Análise dos Resultados

As Figuras 2,3, 4 e 5 apresentam as cartas de controle CUSUM binomial unilateral para os valores de  $p_1 = 0,247$ ,  $p_1 = 0,259$ ,  $p_1 = 0,270$  e  $p_1 = 0,282$ . O valor de ARL planejado é de 350, entretanto quando este valor é aplicado na rotina do cálculo para aproximação do  $h$  para o CUSUM binomial, estes são recalculados. Assim os valores de  $ARL_{p_1=0,247} = 347,05$ ,  $ARL_{p_1=0,259} = 346,54$ ,  $ARL_{p_1=0,270} = 346,89$  e  $ARL_{p_1=0,282} = 357,40$  foram obtidos a partir de simulações.

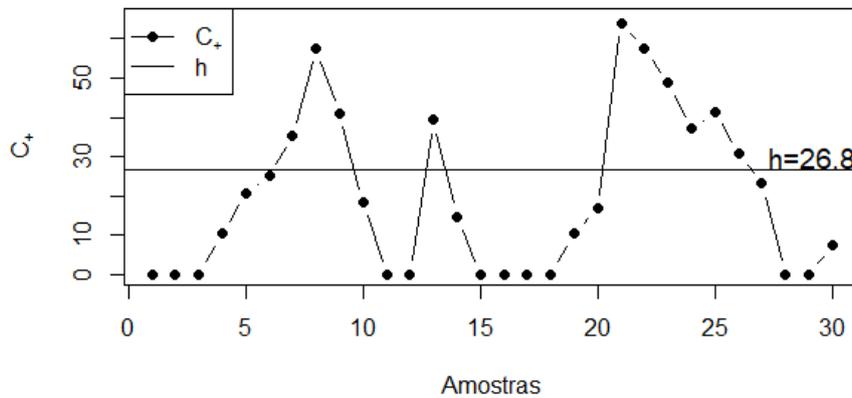
Nota -se nas cartas de controle que para os casos analisados, quanto maior for o valor do acréscimo  $\phi$ , maior será o valor de referência  $K$  para o CUSUM binomial e por consequência menor será o valor do limite superior  $h$ , para os valores de ARLs similares. Isso faz com que tenhamos uma análise da carta de controle com os limites mais relaxados ou mais estreitos. Com isso é possível notar que além dos valores numéricos amostrais, é necessário que haja um conhecimento do processo no qual a carta de controle está sendo aplicada. Para exemplificar, se compararmos os resultados das análises das cartas geradas na Figura 2 e 5, podemos observar que em ambas as cartas o valor da média possui tendência ascendente a partir da 3ª amostra, um decaimento iniciando na 9ª amostra e voltando a ter uma tendência crescente na 120ª amostra. Entretanto na Figura 2 o valor da média  $np_o$ , só ultrapassa o valor do limite superior  $h$ , na 8ª amostra, no primeiro momento, enquanto na carta de controle da Figura 5 notamos que a média  $np_o$ , na 5ª ultrapassa o limite superior  $h$ .

Figura 2 – Carta CUSUM binomial para  $p_1 = 0,247$



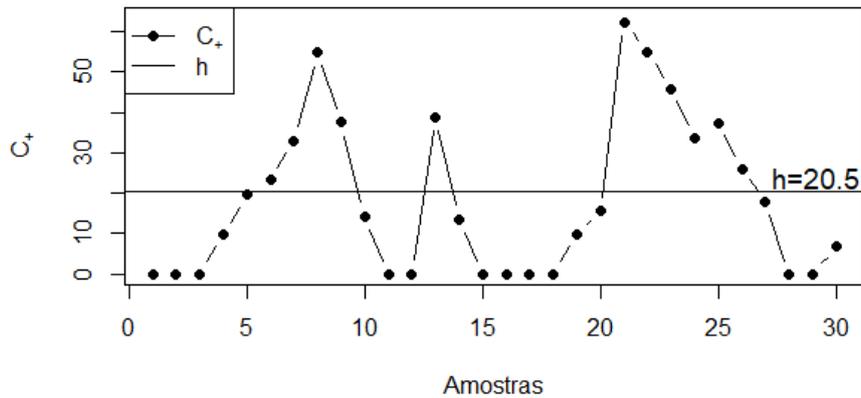
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 3 – Carta CUSUM binomial para  $p_1 = 0,259$ .



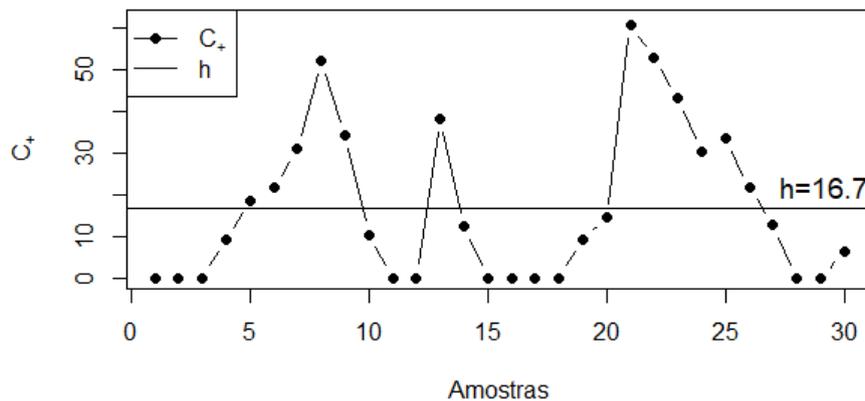
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 4 – Carta CUSUM binomial para  $p_1 = 0,270$ .



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 5 – Carta CUSUM binomial para  $p_1 = 0,282$ .



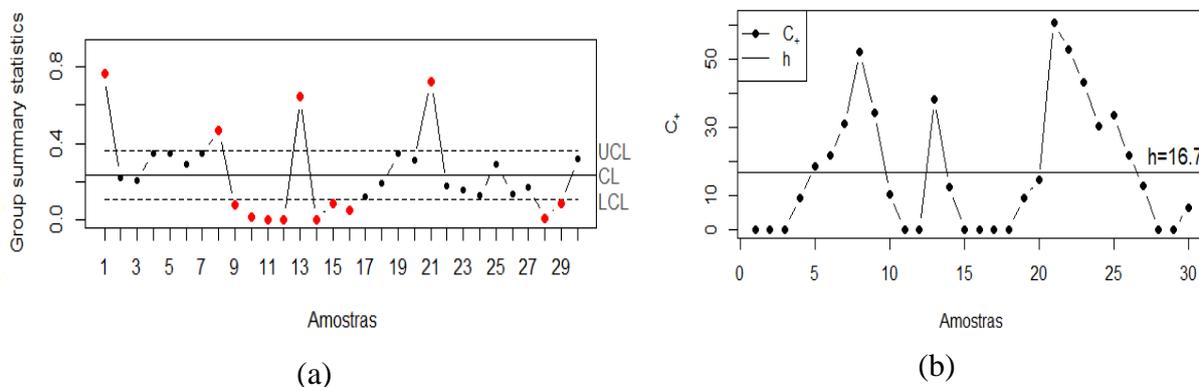
Fonte: Autoria própria (2019)

É realizado uma comparação entre a carta CUSUM binomial com a carta de controle para proporções (Carta P) proposta por Shewhart aplicada no mesmo processo. A carta CUSUM utilizada é a da Figura 5, onde o CUSUM binomial apresenta um valor mais estreito de  $h = 16,7$ . Os valores de  $p_0 = 0,235$  e  $p_1 = 0,282$ , significam um acréscimo  $\phi$  de 20% em  $p_0$ . O valor de referência é  $K=25,82$  para um  $ARL_{p_1=0,282} = 357,40$  obtido a partir de simulações.

A Figura 6 demonstra a comparação entre as cartas, onde a Carta P apresenta os pontos 1, 8 e 13 acima do limite superior de controle e os pontos e os pontos de 9 a 16, 27 e 28 abaixo dos limites inferiores de controle, entretanto os demais pontos estão sob controle estatístico

de processo (ver Figura 6(a)). Enquanto a carta CUSUM binomial por apresentar a característica de acúmulo dos valores das amostras anteriores, apresenta uma tendência de variação nos valores de  $np_o$  a partir da 5ª amostra (Ver Figura 6(b)). O conjunto de amostras possuem característica crescente no valor acumulado das não-conformidades acima do valor do limite superior  $h$ , o que representa uma situação fora de controle. Nessa aplicação podemos notar que a carta CUSUM binomial apresenta uma maior sensibilidade para detecção de pequenas mudanças dentro do processo de maneira mais rápida.

Figura 6 – Comparação carta CUSUM binomial e carta P



Fonte: Autoria própria (2019).

## 6. Considerações Finais

A aplicação da carta CUSUM binomial é uma extensão da aplicação da carta de Soma Cumulativa para média e a sua utilização é recomendável na detecção de pequenas alterações na análise de não conformidades dentro do processo.

O trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de uma carta de controle CUSUM binomial em dados de um processo de produção acabado de couro. Nesta aplicação foi possível observar as etapas de desenvolvimento e as vantagens da utilização do CUSUM binomial em determinadas situações. A característica da tendência de variação no valor da média  $np_o$ , demonstra que a carta CUSUM analisa os dados de forma conjunta, uma vez que acumula dados de amostras anteriores, o que torna possível verificar o comportamento do processo de maneira mais minuciosa, quando comparada com a carta P.

A utilização da carta CUSUM binomial não é restrita apenas em aplicações industriais, podendo ser utilizada na área de saúde, segurança e monitoramento.

Para estudos futuros é recomendado um estudo específico dos limites de controle  $h$ , com variações nos valores de ARL aplicados no CUSUM binomial para a avaliação de desempenho da carta de controle. Além disso é recomendado a aplicação do estudo com outras distribuições de estatística para analisar as não conformidades do processo, como por exemplo a distribuição BETA.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, C. C. *Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos*. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- GAN, F. F. **An optimal design of CUSUM control charts for binomial counts**. Journal of Applied Statistics, v. 20, n. 4, p. 445-460, 1993.
- HAWKINS, D. & OLWELL, D. *Cumulative Sum Charts and Charting for Quality Improvement*, Springer-Verlag, New York, 1998.
- HENNING, E.; SAMOHYL, R. W.; ALVES, C. C. **Aproximação do limite superior de um gráfico CUSUM binomial**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos, Anais... São Carlos, 2010.
- HENNING, E.; WALTER, O. F. C.; ALVES, C. C.; SAMOHYL, R. W. **Análise de uma aplicação do gráfico combinado SHEWHART-CUSUM BINOMIAL**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2011, Belo Horizonte, Anais. Belo Horizonte 2011
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.
- PAGE, E.S. *Continuous Inspection Scheme*”, Biometrics, vol.41, p.100-115, 1954.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria: 2009. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>.
- REYNOLDS, M. R.; STOUMBOS, Z. G. **A CUSUM chart for monitoring a proportion when inspecting continuously**. Journal of Quality Technology, v. 31, n.1, p. 87-108, 1999.

SANT'ANNA, A. M. O.; CATEN, C.S. Modelagem da fração de não-conformes em processos industriais. **Pesquisa Operacional**, vol. 30, no 1, p. 53-72, janeiro/abril, 2010.

SCRUCCA, L. QCC package: **An R package for qualitycontrolchartingandstatisticalprocesscontrol**. R News, v. 4, n.1, p. 11-17, 2004. Disponível em: <[http:// www.r-project.org](http://www.r-project.org). >.

VASCONCELOS, A. L. M.; WANDERLEY, M. N. D.; OLIVEIRA, J. B.; BARBOSA, E. A. **O uso de gráficos avançados CUSUM na verificação do comportamento de um processo a partir das não conformidades em uma indústria do segmento gráfico**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2012, Bento Gonçalves, Anais. Bento Gonçalves 2012.

WOODALL, W.H. **Control Charts based in Attribute Data: Bibliography and Review**. Journal of Quality Technology, v.29, p.172-183, 1997.