

# Monitoramento da qualidade do processo de manutenção de extintores

## *Quality monitoring of the extinguisher maintenance process*

Raphael Henrique Teixeira da Silva<sup>1</sup> - Univ. Federal de São João Del Rei - Dep. de Matemática e Estatística

Daniela Carine Ramires de Oliveira<sup>2</sup> - Univ. Federal de São João Del Rei - Dep. de Matemática e Estatística

**RESUMO** O Controle Estatístico do Processo (CEP) contém uma coleção de ferramentas estatísticas com o objetivo de acompanhar os processos e serve de grande auxílio para a redução da variabilidade. Por isso, este trabalho apresenta a aplicação de algumas das ferramentas propostas pelo CEP em uma empresa de extintores. Mais especificamente, foi avaliada a quantidade e quais eram os defeitos mais frequentes no processo de manutenção de extintores. Com a avaliação dos defeitos encontrados, foi identificado que o excesso de carga dos extintores de pó químico de um quilo e de classificação de pó BC gerava prejuízo à empresa. Além disso, foi verificado que o processo não era capaz de atingir os limites especificados pelo proprietário, através do estudo das razões da capacidade do processo. Vale ressaltar que, para desenvolver o trabalho foi utilizado o software livre R, não gerando custos adicionais à empresa. Nesse artigo são apresentadas as rotinas do software para execução dos gráficos, os problemas encontrados durante a avaliação do processo da empresa e a correção dos processos inadequados.

**Palavras-chave** Gráfico de Pareto. Gráficos de controle. Análise da capacidade.

**ABSTRACT** *Statistical Process Control (SPC) contains a collection of statistical tools used to monitor the processes and serves as a great aid to reduce variability. This study therefore presents the application of some of the tools proposed by SPC at an extinguisher company. More specifically, the most frequent defects and their quantity in the fire extinguisher maintenance process were evaluated. Assessment of the defects found identified that the excess load of 1 kg dry chemical extinguishers and class BC powder generated losses for the company. Furthermore, study of the process capacity ratios showed that the process was not able to achieve the limits specified by the owner. It should be noted that the software R to develop the study was used, generating additional costs to the company. This article presents the software routines used to create the charts, the problems encountered during the evaluation process of the company and the correction of inadequate processes.*

**Keywords** *Pareto chart. Control charts. Capability analysis.*

1. Avenida Custódio Silva, n.º 216, Centro, CEP: 35430-026, Ponte NovaMG, raphaelhts@hotmail.com

2. ramires.daniela@gmail.com

SILVA, R. H. T.; OLIVEIRA, D. C. R. Monitoramento da qualidade do processo de manutenção de extintores. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 11, n.º 3, jul-set/2016, p. 1-21.

DOI: 10.15675/gepros.v11i3.1437

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de produção estão se desenvolvendo rapidamente e as empresas desejam cada vez mais avaliar suas produções para garantir a qualidade de seus produtos ou serviços e evitar desperdícios. Para auxiliar as empresas, o Controle Estatístico do Processo (CEP) ganha destaque, pois possui um conjunto de ferramentas poderosas que garante a estabilidade de um processo, resultando assim, uma melhoria contínua do mesmo. Com essas ferramentas é possível controlar rigorosamente o processo e corrigir o mesmo quando é apresentada alguma causa especial. Com a correção dos processos, obtém-se a redução do custo de produção e, portanto, uma melhoria na competitividade, afinal um produto ou serviço com qualidade e com baixo custo ganha destaque no mercado.

A motivação para realizar o presente estudo foi devido ao surgimento de problemas dentro da empresa proposta. Mais especificamente, a questão crítica interna da empresa era a mão de obra, que passou a ficar sobrecarregada. Além disso, com relação à grande quantidade de matéria-prima a ser pedida aos fornecedores. Estas situações surgiram devido ao crescimento do número de serviços de manutenção de extintores. Portanto, foi de extrema importância a implantação do CEP para auxiliar no monitoramento do processo de manutenção.

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), o CEP é um dos métodos mais eficazes em uma empresa, tendo como intuito a busca da perfeição e o menor risco de erros. Existem trabalhos na literatura que representam essa aplicabilidade do CEP. Vilaça e Oliveira (2011) implantaram o CEP em uma linha de produção de massa de pastel, com o intuito de estabelecer um diagnóstico e realizar o cálculo da capacidade do processo. Inicialmente, construíram um diagrama de causa e efeito para detectar possíveis problemas com relação ao peso de embalagens de massa de pastel. Após, construíram os gráficos de controle da média, amplitude e desvio-padrão para avaliar o peso do produto embalado da massa para pastel de toda produção. Por fim, verificaram a capacidade do processo. E com os resultados obtidos, concluíram que, o processo não era capaz de atender às especificações, e que a empresa deve aplicar ações corretivas durante a produção, por exemplo, detectar balanças mal aferidas. Henning et al. (2012), utilizou os gráficos de controle para monitorar as notificações dos casos de meningite no município de Joinville, no estado de Santa Catarina. O objetivo era identificar se os casos de meningite estavam em um limite aceitável ou poderiam ser considerados uma epidemia. Com os resultados obtidos, os autores concluíram que houve uma tendência de elevação do número de notificações dos casos de meningite. Com isso, uma das propostas foi o prosseguimento ao monitoramento para verificar esta situação no final dos próximos anos. Moreira, Zepon e Santos (2013), tiveram como objetivo verificar a utilidade do gráfico CUSUM em uma empresa de saneamento básico. Para isto, utilizaram os gráficos de controle para medidas individuais (I-MR) e o próprio CUSUM para monitorar a característica da qualidade turbidez para os

mesmos dados. Portanto, os autores concluíram que, num determinado período, os gráficos I-MR não identificaram causas especiais, entretanto, neste mesmo período, o gráfico CUSUM demonstrou certa tendência à instabilidade do processo. Walter et al. (2013), propuseram um gráfico de controle combinado de Shewhart-CUSUM aplicados a um processo industrial. A característica de qualidade estudada foi a altura do topo de pistões até o centro do furo. Após a aplicação dos gráficos propostos, perceberam que o gráfico CUSUM, isolado ou combinado com o gráfico do tipo Shewhart, é uma ferramenta preventiva mais sensível para avaliar interferências na qualidade do processo de usinagem. Além disso, os autores consideraram que, na aplicação realizada, o gráfico CUSUM foi importante, pois agiu como uma ferramenta preventiva para evitar futuras interferências na qualidade do processo. Souza, Filho e Samohyl (2007), realizaram um estudo de caso em uma indústria de fundição aplicando os conceitos de CEP. Mais especificamente, utilizaram o gráfico I, o MR, o EWMA e o CUSUM. Além dessas ferramentas estatísticas, realizaram a análise da capacidade do processo. Os dados utilizados pelos autores foram provenientes de resultados de ensaios de tração de blocos de motores para caminhão. Estes ensaios foram realizados em uma linha de fundição. Aplicando as ferramentas propostas, os autores concluíram que houve a presença de pequenas oscilações em torno da média (identificado pelos gráficos EWMA e CUSUM) e o processo estudado apresentou uma alta variabilidade (identificado pelo gráfico MR). Por fim, fizeram um levantamento das possíveis causas que estavam impactando o processo de forma negativa e propuseram melhorias. Silva et al. (2014), tiveram como objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas do efluente tratado de agroindústria oleaginosa e analisar a variabilidade do processo por meio dos gráficos de controle de Shewhart. Através dos métodos propostos, perceberam que o processo em estudo estava instável. E com isso, realizaram o diagrama de causa e efeito representando as possíveis causas desta instabilidade e propuseram melhorias, sendo algumas delas: promoção de treinamentos para os técnicos da estação de tratamento de efluente e melhorias no equipamento de aeração.

O objetivo desse trabalho foi apresentar o CEP aplicado em uma empresa de extintores para a melhoria da qualidade de seus serviços. Com isso, foi realizada uma análise das não-conformidades existentes nos processos da empresa, como também, um acompanhamento para controle da concentração de carga dos extintores de 1 kg de classificação de pó BC. Para desenvolver este trabalho foi utilizado o gráfico de controle para o número médio de não-conformidades por unidade (U) e o gráfico de Pareto, para avaliar a quantidade e quais eram os defeitos mais frequentes no processo, respectivamente. O gráfico da amplitude (R), o gráfico da média ( $\bar{X}$  barra) e o gráfico de controle da soma cumulativa (CUSUM) foram utilizados para avaliar a concentração de carga (pó químico) inserida nos extintores. Logo, a análise da capacidade do processo permitiu indicar se os dados coletados eram capazes ou não de atender as especificações exigidas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é uma distribuição de frequência de variáveis qualitativas, organizadas por categoria, da mais frequente para a menos frequente. É de extrema importância para situações em que se deseja identificar quais são os defeitos mais comuns existente em um processo de produção. Por meio desse gráfico, consegue-se encontrar um resumo de todos os defeitos no processo e possibilitar o usuário tomar uma decisão de qual o defeito que deve ser atacado primeiro. Deve-se tomar cuidado, pois nem sempre o defeito mais frequente é o que está causando algo mais grave dentro da empresa (MONTGOMERY, 2009).

### 2.2. Conceitos sobre gráficos de controle

A teoria geral dos gráficos de controle foi proposta, inicialmente, por Shewhart. Os gráficos de controle são um mecanismo versátil e uma das suas funções é descrever de forma *on line* o comportamento dos processos. Portanto, os dados amostrais são coletados e utilizados para construção dos gráficos de controle. Consequentemente, é possível haver melhorias do processo, uma vez que são monitorados (MONTGOMERY, 2009).

O gráfico de controle é utilizado para verificar se um processo está sob controle estatístico com o auxílio de seus limites de controle. Um gráfico de controle consiste em um Limite Superior de Controle (LSC), um Limite Inferior de Controle (LIC) e uma Linha Central (LC). Esses limites são escolhidos de modo que, se o processo estiver sob controle, praticamente todos os pontos amostrais estarão entre eles. No entanto, um ponto que caia fora dos limites de controle é interpretado como evidência de que o processo está fora de controle. Neste caso, investigação e ação corretiva serão necessárias para encontrar e eliminar a causa ou as causas especiais responsáveis por esse comportamento (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

#### 2.2.1. Gráficos de controle da média (Xbarra) e da amplitude (R)

Quando se utiliza uma característica da qualidade que é uma variável quantitativa, é usualmente necessário monitorar a variabilidade e o valor médio da mesma. A base estatística para construção dos gráficos de controle para o monitoramento da variabilidade e da média supõe que os dados obtidos seguem uma distribuição normal com média populacional  $\mu$  e desvio padrão  $s$ . Em sua maioria,  $\mu$  e  $s$  são estimados a partir de amostras ou subgrupos preliminares, retirados quando o processo está sob controle estatístico, pois são valores não conhecidos dentro de uma organização. Os valores de  $\mu$  e  $s$  são estimados de forma eficaz quando se tem um número de amostras iguais a 20 ou 25 com um tamanho amostral igual a 4, 5 ou 6 (MONTGOMERY, 2009).

É importante dizer que, como a base estatística para construção dos gráficos de controle da média ( $\bar{X}$  barra) e amplitude ( $R$ ) supõe que os dados seguem uma distribuição normal.

O gráfico  $R$  é baseado na variabilidade do processo que pode ser monitorada plotando-se os valores das amplitudes amostrais. A linha central e os limites de controle para o gráfico  $R$  são:

$$\begin{aligned} LSC &= D_4 \bar{R} \\ LC &= \bar{R} \\ LIC &= D_3 \bar{R} \end{aligned} \quad (1)$$

Em que,

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}, \quad (2)$$

Sendo  $R_1, R_2, \dots, R_m$  as amplitudes das  $m$  amostras e as constantes  $D_3$  e  $D_4$  são valores tabelados, para vários tamanhos de amostra, obtidos de Montgomery (2009, pag. 702).

Os limites de controle para o gráfico  $\bar{X}$  barra, no qual os pontos plotados são referentes às médias de cada amostra, são dados por:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ LC &= \bar{\bar{X}} \\ LIC &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (3)$$

Em que,

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m} \text{ e} \quad (4)$$

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n}, \text{ com } i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

Sendo  $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$ , médias amostrais de tamanho  $n$ . A constante  $A_2$ , é um valor tabelado, para vários tamanhos de amostra, obtidos de Montgomery (2009, pag. 702).

## 2.2.2. Gráfico de controle da soma cumulativa (CUSUM)

Segundo Montgomery (2009), os gráficos de controle propostos por Shewhart utilizam apenas informações sobre o processo contido no último ponto plotado. Com isso, o gráfico se torna insensível a pequenas mudanças no processo. Para suprir tal deficiência, pode-se utilizar o gráfico de controle da soma cumulativa (CUSUM). O mesmo incorpora diretamente toda a sequência dos valores da amostra, plotando as somas cumulativas dos desvios dos valores da amostra de um valor-alvo.

Para a construção do CUSUM para  $n > 1$ , suponha que  $\bar{X}_i$  é a média da  $i$ -ésima amostra. Considerando  $\mu_0$  o valor-alvo para a média do processo, os pontos do gráfico da soma cumulativa são representados pela seguinte expressão:

$$C_i = C_{i-1} + (\bar{X}_i - \mu_0), \text{ com } i = 1, 2, \dots, m \text{ e } C_0 = 0, \quad (6)$$

Isto é,  $C_i$  é a soma cumulativa até, e incluindo, a  $i$ -ésima amostra.

Montgomery (2009), apresenta a construção dos limites de controle utilizando o CUSUM tabular, com o objetivo de monitorar a média do processo. O CUSUM tabular trabalha acumulando desvios de  $\mu_0$  que estão acima do alvo, com uma estatística  $C^+$ , e acumulando desvios de  $\mu_0$  que estão abaixo do alvo, com uma estatística  $C^-$ . Ambas as estatísticas são denominadas como CUSUMs unilaterais superior e inferior, respectivamente e são calculadas por:

$$C_i^+ = \max[0, \bar{X}_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (7-1)$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - \bar{X}_i + C_{i-1}^-] \quad (7-2)$$

Nas Equações (7-1) e (7-2),  $\bar{X}_i$ , é a média da  $i$ -ésima amostra e  $K$  é considerado um valor de referência, e é equivalente à metade da magnitude da mudança expressa em desvio padrão, isto é:

$$K = \left| \frac{\mu_1 - \mu_0}{2} \right| \quad (8)$$

Em que  $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ .  $C_i^+$  e  $C_i^-$  acumulam desvios a partir do valor-alvo que são maiores que  $K$ , com ambas as quantidades recolocadas em zero ao se tornarem negativas. Se tanto  $C_i^+$  ou  $C_i^-$  ultrapassarem o intervalo de decisão, isto é, os limites de controle superior e inferior definidos por  $H$ , o processo é considerado fora de controle.

### 2.2.3. Gráfico de controle para o número médio de não-conformidades por unidade (U)

Muitas vezes é desejável classificar um produto como defeituoso ou não defeituoso com base na comparação com um padrão. Isso é feito usualmente para se obter economia e simplicidade na operação de inspeção. Um item defeituoso é uma unidade do produto que não satisfaz uma ou mais das especificações para aquele produto. Consequentemente, um item defeituoso conterá pelo menos uma não-conformidade. O gráfico U é útil em situações onde o número médio de não-conformidades por unidade é uma base mais conveniente para o processo de controle (MONTGOMERY, 2009).

Segundo Montgomery (2009), na análise das não-conformidades, pode-se, em geral, obter considerável compreensão sobre suas causas. Os gráficos de controle para não-conformidades são ocasionalmente formados usando inspeção 100% do produto. Quando esse método de amostragem é usado, o número de unidades de inspeção em uma amostra será, usualmente, não constante. Os pontos plotados no gráfico U são equivalentes ao número médio de não-conformidades por unidade no instante  $i$ , isto é:

$$u_i = \frac{x_i}{n_i}, \quad (9)$$

Em que  $x_i$  é o número de não-conformidades que apareceram em toda a amostra de tamanho  $n_i$  no instante  $i$ .

O gráfico U tem uma linha central constante, entretanto, os limites de controle inferior e superior variarão inversamente com a raiz quadrada do tamanho da amostra  $n_i$ ,  $i=1,2, \dots, m$ . As Equações em (10) são os limites de controle do gráfico U.

$$\begin{aligned} LSC_i &= \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \\ LC &= \bar{u} \\ LIC_i &= \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \end{aligned} \quad (10)$$

Em que  $\bar{u}$  representa o número médio observado de não-conformidades por unidade coletados em amostras preliminares representado em (11).

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m} \quad (11)$$

Os limites definidos na Equação (10) devem ser encarados como limites de controle tentativos. Quaisquer pontos que excedam esses limites devem ser investigados.

## 2.3. Análise da capacidade do processo

A análise da capacidade do processo tem como principal objetivo relacionar a variabilidade inerente de um processo com as especificações ou exigências para o produto. A capacidade do processo é quantificada por meio de razões da capacidade do processo (RCP) (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Existem três razões comumente usadas denotadas por:  $C_p$ ,  $C_{pk}$  e  $C_{pm}$ . A RCP  $C_p$  analisa o comportamento da dispersão dos valores medidos em relação às especificações e é definida por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}, \quad (12)$$

Em que LSE e LIE são respectivamente os limites superior e inferior de especificação e  $\sigma$ , o desvio padrão. O LIE e o LSE são especificados pela produção e  $\sigma$  pode ser estimado pela variabilidade dos valores observados do processo por meio de  $\bar{R}/d_2$ , com  $d_2$  obtido de Montgomery (2009, pag. 702). Para serem obtidos resultados precisos de  $C_p$ , o processo deve estar sob controle estatístico. Além disso, os dados devem seguir uma distribuição de probabilidade normal.

Além da RCP  $C_p$ , existem as  $C_p$  unilaterais definidas por:

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad e \quad (13)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (14)$$

Em que  $\mu$  é estimado por meio da média das médias observadas no processo, ou seja, por  $\bar{\bar{X}}$ . E  $\sigma$  pode ser estimado pela variabilidade dos valores observados do processo, por meio de  $\bar{R}/d_2$ , com  $d_2$  obtido de Montgomery (2009, pag. 702).

Para analisar a centralização do processo utiliza-se a razão  $C_{pk}$  definida por:

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi}) \quad (15)$$

A RCP  $C_{pk}$  é igual a  $C_{pi}$  ou  $C_{ps}$  (definidas em (13) e (14)), dependendo de qual das duas quantidades está mais próxima do limite de especificação correspondente. Se  $C_p = C_{pk}$ , o processo é definido como centrado no ponto médio das especificações. Quando  $C_{pk} < C_p$  o processo está descentrado. A magnitude de  $C_{pk}$  em relação a  $C_p$  é uma medida direta de quanto fora de centro o processo está operando.



Montgomery (2009), denomina que  $C_p$  mede a capacidade potencial do processo, enquanto  $C_{pk}$  mede a capacidade efetiva. Mesmo que o processo possua  $C_p$  alto, o que indica uma baixa dispersão, se não centralizado, analisando  $C_{pk}$ , haverá um aumento considerável nas unidades defeituosas, pois a média do processo não estaria centralizada entre os limites de especificação superior e inferior.

A RCP  $C_{pm}$  representa a centralização do processo em torno de um valor alvo (T) e definida por:

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (16)$$

Em que LSE e LIE são respectivamente os limites superior e inferior de especificação,  $\mu$  é estimado por  $\bar{X}$ ,  $\sigma$  pode ser estimado por  $\bar{R}/d_2$  e T é um valor central alvo desejado pela empresa, órgão de fiscalização ou pelo cliente. Caso  $\mu$  seja igual a T, então a  $C_{pm}$  será igual a  $C_p$ .

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1. Objeto de estudo

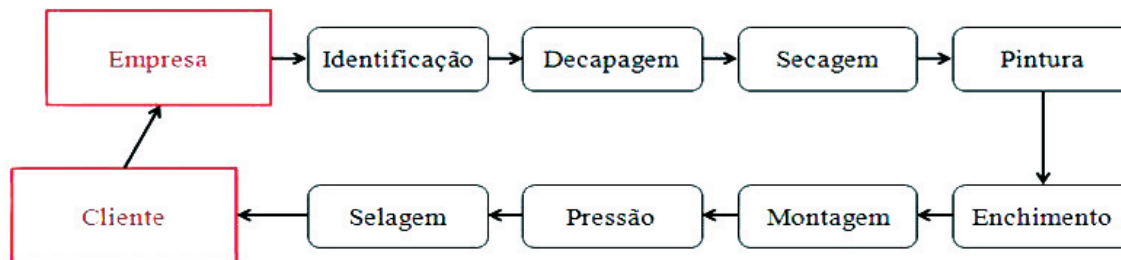
A empresa estudada é uma empresa de prestação de serviços de manutenção em extintores. A organização tem uma preocupação em controlar o seu processo de produção, pois o atual crescimento de serviços acarretou em mudanças no chão de fábrica. As mudanças foram com relação à mão de obra, que passou a ficar sobrecarregada e também com relação à grande quantidade de matéria-prima a ser pedida aos fornecedores.

Com as mudanças citadas anteriormente, houve a necessidade de implementar métodos de controle de processos, com o objetivo de avaliar o que e como estava sendo produzido.

#### 3.2. Procedimentos de Coleta de Dados

O processo (Figura 1) de realização de serviços da empresa funciona da seguinte maneira: Identificação (registro do extintor que será reformado), Decapagem (processo de remoção da tinta da parte externa do extintor), Secagem (processo no qual ocorre a secagem da parte interna do extintor), Pintura (pintar o extintor com uma nova tinta), Enchimento (reabastecer o extintor com pó químico, CO<sub>2</sub>, ou água, de acordo com a classificação de cada), Montagem (inserir a válvula, o manômetro, entre outros itens), Pressão (é dado uma carga de um gás específico para que o extintor seja acionado) e Selagem (selar o extintor adequadamente de acordo com as normas exigidas pelo Inmetro).

Figura 1 – Processo de manutenção de um extintor.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

### 3.3. Procedimentos de análise de dados

Foi realizada uma análise dos extintores após passarem por todas as etapas, sendo possível identificar quais eram os tipos de não-conformidades (1ª coluna do Anexo 1). O serviço diário realizado no mês de julho de 2013 (Anexo 2) foi contabilizado, observando as frequências de não-conformidades. Foi observado que cada lote continha tamanho de amostra variável, pois a empresa não possuía um número fixo de extintores durante um dia. Os dados coletados da empresa estudada foram testados e verificados para que o estudo de caso fosse eficaz. Cabe ressaltar que, para desenvolver este trabalho, foi utilizado um  $H = 5\sigma$  para a construção do gráfico CUSUM.

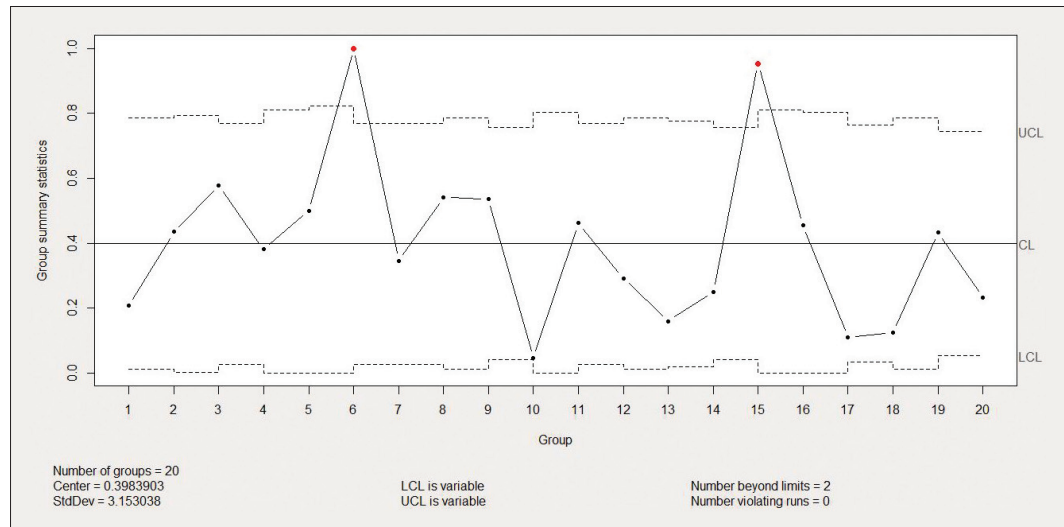
Os gráficos deste artigo foram elaborados no software estatístico R versão 3.0.2. O mesmo é um software livre, com diversas bibliotecas contendo funções específicas para cada objetivo pretendido. Neste artigo foram utilizados os pacotes *nortest* (*Tests for Normality*) (GROSS, 2013) e *qcc* (*Quality Control Charts*) (SCRUCCA, 2014).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Controle estatístico das não-conformidades

Com os dados obtidos foi possível construir o gráfico U (Figura 2). O interesse era fazer uma avaliação das não-conformidades encontradas.

Figura 2 – Gráfico U para as não-conformidades encontradas nos extintores.

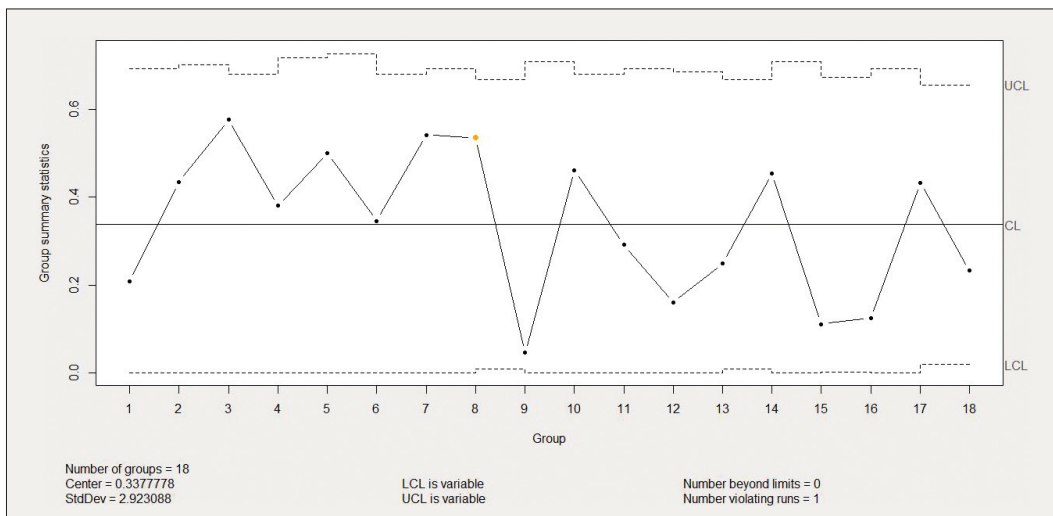


Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

Por meio da Figura 2, percebe-se que o processo não se encontra sob controle estatístico. As amostras (6) e (15) correspondentes aos dias 08/07 e 19/07 ultrapassaram os limites de controle. No dia 08/07, um funcionário do processo de Decapagem não compareceu ao serviço, então nesse mesmo dia foi selecionado um funcionário de outra função para substituição do faltoso e, com isso, houve um desajuste no processo, uma vez que o mesmo não era qualificado para o serviço. O funcionário substituto afirmou que não tinha habilidades para realizar o serviço que estava sendo imposto a ele, mas como a empresa não poderia parar de realizar os serviços, ele se dispôs a ajudar. Nesse dia apareceram extintores com corrosão na parte externa. No dia 19/07 a máquina de secagem estragou, e então, tiveram que usar uma máquina de secagem antiga que não estava funcionando adequadamente. Com isso, houve um aumento do número de não-conformidades encontradas nesse dia, pois com o mau funcionamento da máquina, a secagem completa de alguns extintores ultrapassou o tempo esperado, consequentemente, houve atrasos nos processos posteriores, o que permitiu uma pintura insuficiente e excesso de peso. Os funcionários das etapas adiante foram prejudicados por terem que agilizar suas respectivas tarefas.

Após encontrar as causas especiais do processo e avaliando o número de não-conformidades encontradas nas amostras, foi realizado o gráfico U novamente (Figura 3), retirando as amostras (6) e (15) com o objetivo de obter os limites de controle desejados pela empresa.

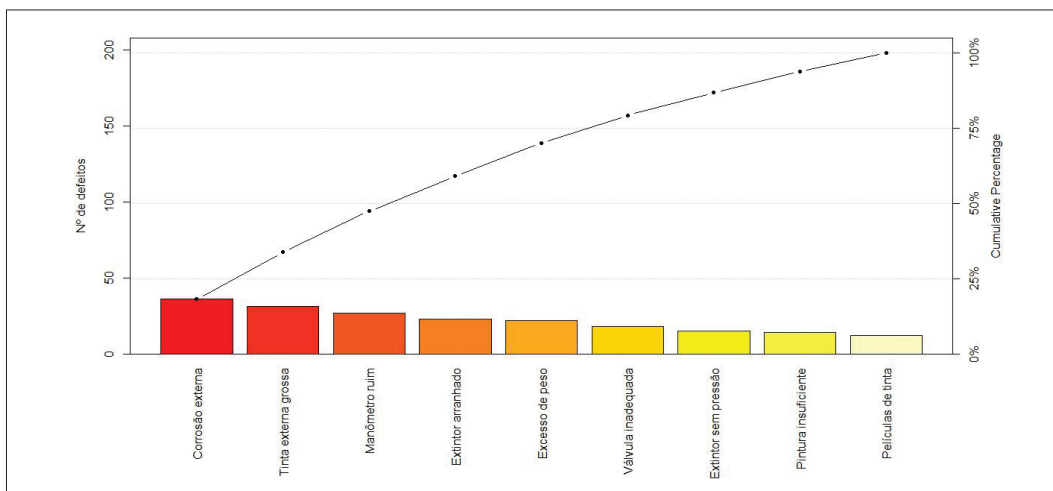
Figura 3 – Gráfico U para as não-conformidades encontradas retirando as amostras (5) e (16).



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

A Figura 3 apresentou um ponto destacado no instante (8), devido ao fato de terem havido sete pontos seguidos acima da linha central. Após análise do processo, foi verificado que não foi uma causa especial. Após quantificar as não-conformidades através do gráfico U, foi realizado um estudo aprofundado de quais eram esses tipos de não-conformidades (Anexo 1). Através dos dados no Anexo 1, foi possível construir o gráfico de Pareto (Figura 4).

Figura 4 – Gráfico de Pareto para as não-conformidades encontradas nos extintores.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

Analisando a Figura 4 foi possível identificar que as não-conformidades mais frequentes eram a corrosão externa do extintor, tinta externa grossa e manômetros inseridos que não eram adequados. Com esses resultados foi possível corrigir os processos relacionados a esses defeitos. Para isso, foi feito um acompanhamento do serviço realizado pelos funcionários nas etapas de Decapagem e Montagem. Foi constatado que a corrosão ocorria porque o funcionário responsável não estava reformando o produto de forma adequada no processo de Decapagem. A ferrugem não estava sendo retirada por completa, pois restavam tintas do extintor que não estavam saindo por completo quando o mesmo era lixado, gerando como consequência o que foi o segundo defeito mais frequente (Tinta externa grossa). Uma alternativa foi modificar a mão-de-obra que realizava este tipo de serviço, realocando os próprios funcionários dentro da empresa. O terceiro defeito mais frequente foi a inserção de manômetros com defeitos. Foi observado que os mesmos eram comprados de fábrica com algumas não-conformidades, mesmo não atrapalhando o desempenho do extintor, alguns estavam arranhados e/ou amassados. A solução para este problema foi a troca do fornecedor.

## 4.2. Controle estatístico da carga dos extintores

Outro defeito não muito comum indicado pelo gráfico de Pareto, mas que era de extrema importância para a empresa foi o excesso de peso encontrado nos extintores. Uma investigação foi realizada e mais especificamente, o excesso foi encontrado em sua maioria em extintores de um quilo de classificação de pó BC. Portanto, foi proposto ao proprietário que no período de 15/08 à 13/09, seria necessário avaliar a variável carga desta classificação de extintor, afinal o pó inserido no extintor tem altos custos para a empresa, e a questão da variabilidade desse suprimento é um fator crucial.

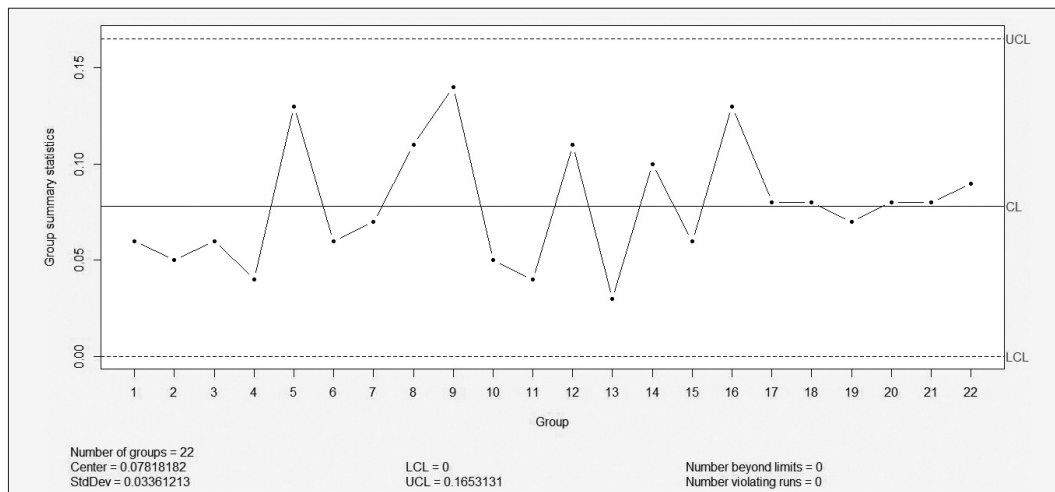
Os extintores podem ser classificados de acordo com o pó inserido nos mesmos, e a classificação do pó pode ser BC (são extintores indicados para combater incêndios de líquidos inflamáveis e equipamentos elétricos) ou ABC (além de combater incêndios exemplificados pelo BC, combatem incêndios de materiais sólidos, como por exemplo, plásticos, borrachas, madeiras e tecidos). De acordo com o Inmetro, os extintores de um quilo de classificação ABC não podem ser recarregados, pois são considerados descartáveis, com isso, a empresa realiza serviços de recarga apenas em extintores de um quilo de pó químico BC.

A carga do extintor é equivalente a concentração de pó dentro do mesmo. Se o extintor completo (carçaça, pó, válvula, entre outros equipamentos) tem o peso aproximado de 1,6 quilos, a quantidade de pó que deve conter dentro do extintor é de um quilo, o restante (0,6 quilos) é referente ao peso da carçaça e equipamentos inseridos.

O processo para encher os extintores de um quilo de pó BC é realizado da seguinte maneira: carçaças vazias são levadas à cabine de pó, o responsável pesa cada uma delas, uma vez que, os pesos das carçaças variam de acordo com o fabricante. Logo, a carçaça é preenchida com o pó químico pelo responsável e o extintor é pesado novamente. Então, diminuindo o peso da carçaça com o pó, do peso da carçaça vazia, foi obtida a concentração da carga inserida no extintor (Anexo 3).

Após a coleta da quantidade de pó dentro de cada carcaça, foi aplicado o gráfico de controle de Shewhart para amplitude (Figura 5) e para média (Figura 6). O tamanho da amostra foi igual a cinco, isto é, foram coletados dados de carga de cinco extintores ao dia. A suposição de normalidade foi comprovada, por meio do teste de Anderson-Darling com um nível de significância de 5% (p-valor = 0,2971).

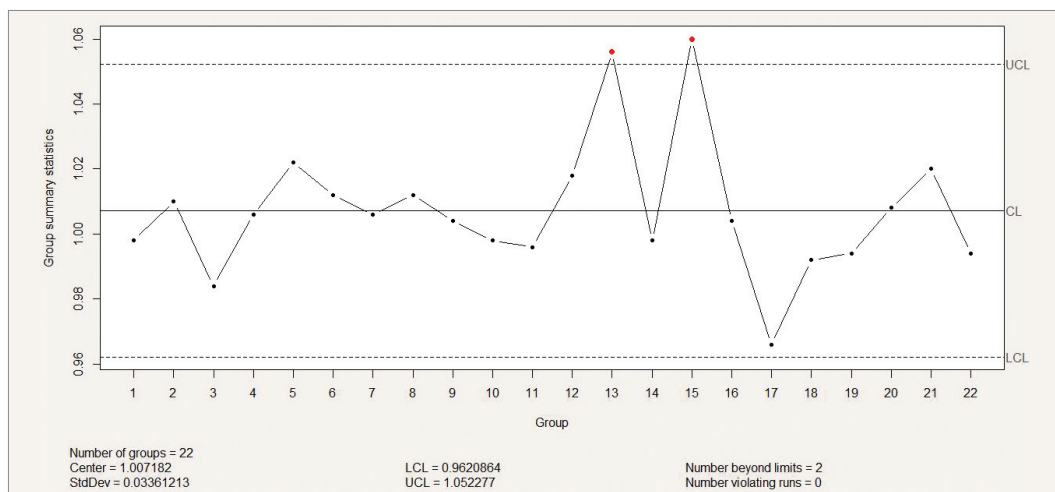
Figura 5 – Gráfico R para carga dos extintores.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

Como ilustrado na Figura 5, percebe-se que o processo tem pouca variabilidade e está sob controle estatístico, podendo ser feito o estudo do gráfico da média (Xbarra).

Figura 6 – Gráfico Xbarra para carga dos extintores.

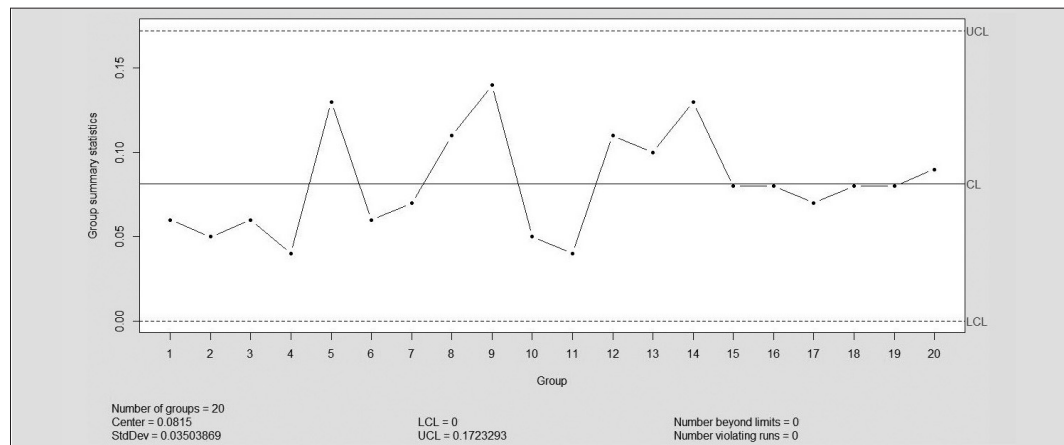


Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

Por meio da Figura 6, percebe-se que o processo não se encontra sob controle estatístico. As amostras (13) e (15) correspondentes aos dias 02/09 e 04/09 respectivamente, ultrapassaram o limite superior de controle. No dia 02/09 na parte da manhã seria realizada a entrega da matéria-prima (pó químico) para abastecer os extintores, porém, a entrega não foi feita na hora certa. O pó chegou ao final da tarde, o que sobrecarregou o funcionário responsável para encher os extintores. Com isso, realizou o serviço de forma rápida não se preocupando com a quantidade de pó inserida dentro do extintor, pois precisava realizar todo o seu serviço em pouco tempo. No dia 04/09 o funcionário responsável pelo serviço de Enchimento foi alocado para outro serviço. Por esse fator, teve que agilizar suas tarefas na parte da manhã para ficar à disposição à tarde para outra operação. Por esse motivo, o funcionário não ficou atento à quantidade de carga introduzida nos extintores novamente, o que causou o descontrole do processo.

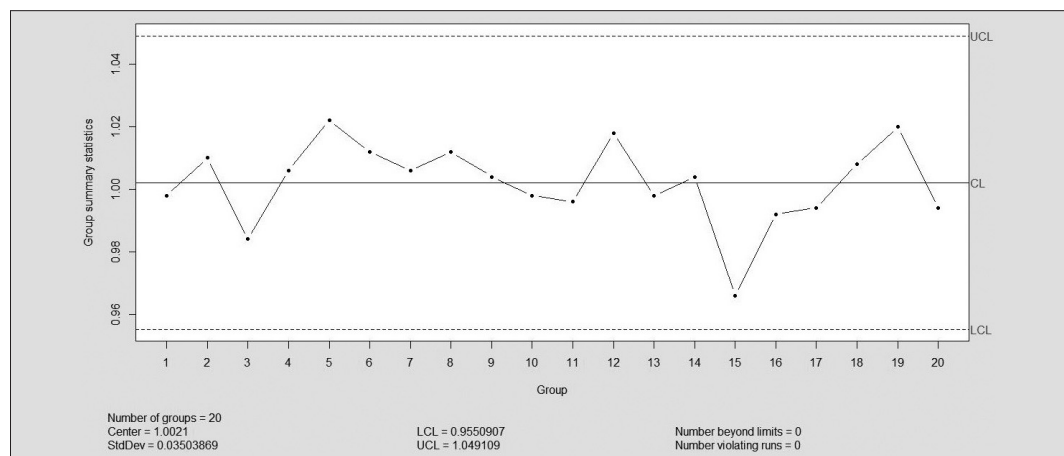
Após identificar as causas atribuíveis, as amostras (13) e (15) foram retiradas e os gráficos R (Figura 7) e Xbarra (Figura 8) foram plotados novamente.

Figura 7 – Gráfico R para carga dos extintores retirando as amostras (13) e (15).



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

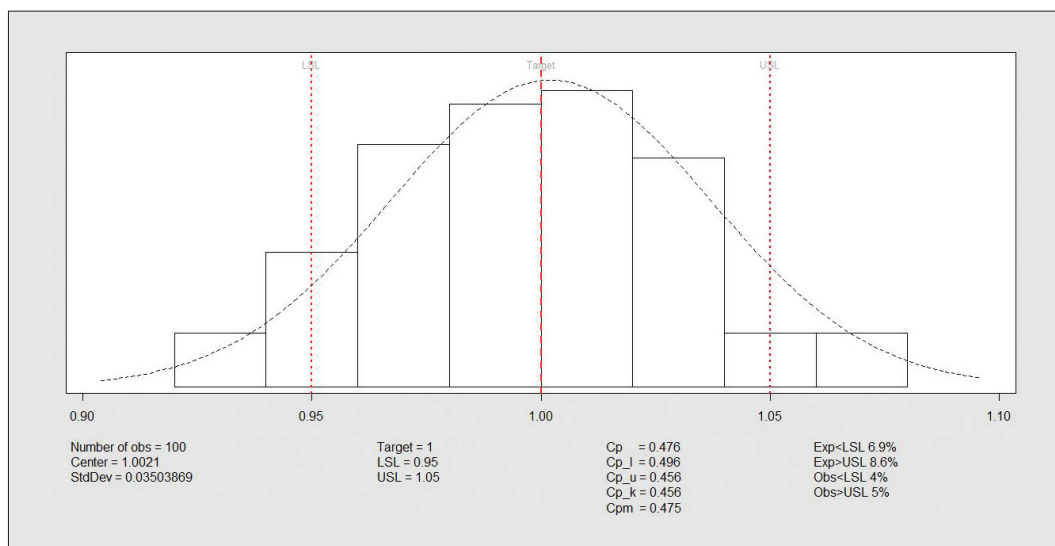
Figura 8 – Gráfico Xbarra para carga dos extintores retirando as amostras (13) e (15).



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

A partir das Figuras 7 e 8, verificou-se que todos os pontos estão dentro dos limites de controle, o que indica que o processo está sob controle estatístico. Após o processo ficar sob controle, é importante verificar a capacidade do mesmo, para certificar se o processo atende às especificações da característica de qualidade. Para realizar a análise da capacidade do processo, os valores do LIE e do LSE foram 0,95 e 1,05, respectivamente. Os mesmos são valores estipulados pelo Inmetro. O valor alvo indicado foi 1, equivalente à concentração de carga ideal a ser inserida nos extintores. A Figura 9 contém os resultados obtidos para as razões da capacidade do processo.

Figura 9 – Análise da capacidade do processo para variável carga, sem as amostras (13) e (15).



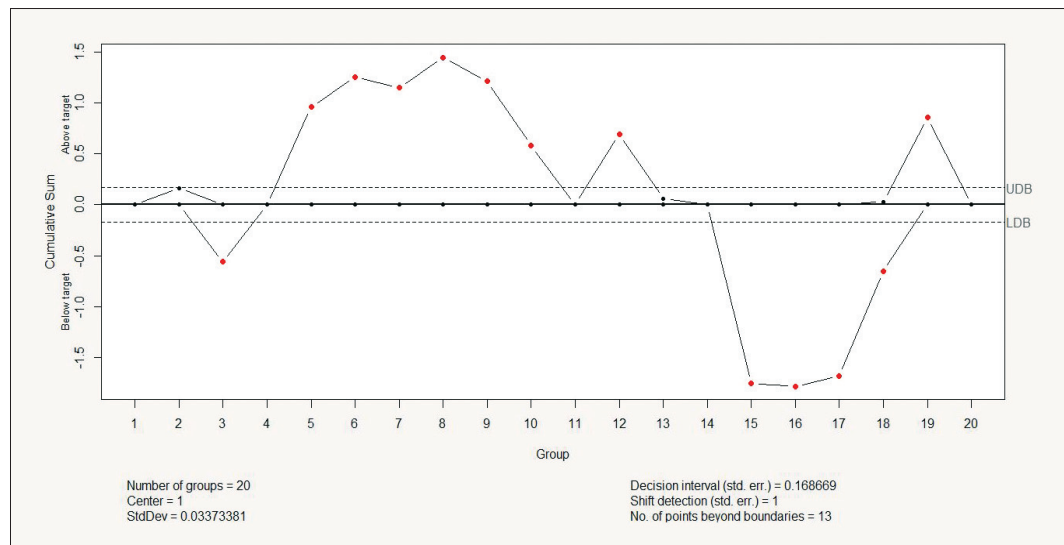
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

Por meio da Figura 9 verifica-se que os índices de capacidade calculados ( $C_p = 0,476$ ,  $C_{pk} = 0,456$  e  $C_{pm} = 0,475$ ) estão todos abaixo de um, o que classifica o processo como incapaz. Esta incapacidade demonstra que é necessário reduzir a variabilidade e centralizar o processo.

Com o objetivo de observar os pequenos desvios no processo, foi gerado também, o gráfico de controle CUSUM para os dados sem as amostras (13) e (15). Para construir este gráfico, foi estimado o valor do desvio padrão do processo, o valor obtido foi 0,03373381, com base nos dados coletados de 15/08 à 13/09. O intervalo de decisão (H) foi igual a cinco vezes o desvio padrão estimado, isto é, 0,16866905.



Figura 10 – Gráfico de controle CUSUM tabular para carga dos extintores sem as amostras (13) e (15).



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2013).

Observando a Figura 10, o processo não se encontra sob controle estatístico. O gráfico identificou vários pontos com uma tendência de acréscimo e decréscimo na média. Portanto, foi necessário realizar uma análise mais abrangente do processo. Para descobrir as possíveis causas, uma investigação dentro da cabine de pó BC foi realizada. Foi constatado que alguns equipamentos estavam inadequados, por exemplo: uma das lâmpadas queimou e o funil utilizado para encher os extintores com o pó quebrou. A solução foi comprar novos equipamentos mais resistentes e duráveis. Além disso, o método de inserção de pó no extintor não era adequado, pois, o funcionário utilizava uma espécie de pá, que vai direto à barrica de pó e depois, o mesmo era despejado no funil para encher os extintores. Com isso, possibilitava muita variação de pó inserida nos extintores. Uma forma mais econômica, e com o intuito de reduzir a variabilidade do processo é: antes de encher os extintores, devem-se encher sacos plásticos, equivalentes a 1 kg e após, passar o pó do saco plástico para os extintores. Com isso, a etapa de Enchimento será dividida em duas etapas (Enchimento dos sacos e Enchimento dos extintores), sendo que o funcionário teria tempo e maior cautela para encher os sacos e pesá-los de forma correta, e só depois, despejar o pó nos extintores.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme se pode concluir através dos resultados obtidos, a metodologia indicou que os problemas estavam diretamente relacionados à matéria-prima e à mão de obra. O atraso da mercadoria e a sobrecarga do trabalho de um funcionário causaram o descontrole do processo. Após a identificação e a correção dessas causas, foi feito o estudo das razões da capacidade do processo. Mesmo após as correções, o processo não atendia às especificações do Inmetro. A empresa, portanto, precisou ajustar o seu processo para centralizar o seu valor alvo (1 kg) e, também, reduzir a variabilidade.

Vale ressaltar, que o trabalho contou com o auxílio de um software estatístico livre, não gerando nenhum custo adicional. Além disso, os funcionários da empresa foram capacitados para continuarem utilizando as ferramentas da qualidade.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Atlas, 2012.
- GROSS, J. **Tests for Normality**. Package 'nortest'. CRAN, 2013. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf>>. Acesso em: 30 de jun de 2014.
- HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; ALVES, C. C.; SAMOBYL, R. W. Aplicação de gráficos de Controle Estatístico de Processos para o monitoramento dos casos de meningite no município de Joinville. **Produção em Foco**, v. 2, n. 1, p. 1-26, 2012.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. Estados Unidos da América: John Wiley & Sons, 2009.
- MOREIRA, A.; ZEPON, T. C.; SANTOS, A. J. Utilização do Gráfico de Controle CUSUM para monitoramento da variabilidade do processo em um Laboratório de Análises Físico-Químicas. **Produção em Foco**, v. 3, n. 1, p. 78-95, 2013.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 30 jun 2014.
- SCRUCCA, L. **Quality Control Charts**. Package 'qcc'. CRAN, 2014. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/qcc/qcc.pdf>>. Acesso em: 30 de jun de 2014.
- SILVA, T. A. L.; DA SILVA, H. A.; SANTOS, D. Q.; RODRIGUES, E. C. Utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) na Avaliação de uma Estação de Tratamento de Efluente Agroindustrial. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 310-322, 2014.
- SOUZA, G. P.; FILHO, M. D.; SAMOBYL, R. W. Aplicação dos conceitos de Controle Estatístico de Processo (CEP) em uma indústria de fundição do Norte Catarinense. **Produção Online**, v. 7, n. 2, 2007.
- VILAÇA, A. C.; OLIVEIRA, R. C. B. Utilização do Controle Estatístico de Processo para Avaliação de Peso de Massas para Pastel. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 8, p. 137-146, 2011.
- WALTER, O. M. F. C.; HENNING, E.; CARDOSO, M. E.; SAMOBYL, R. W. Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 2, p. 271-286, 2013.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – Defeitos encontrados nos produtos durante o mês de Julho (01/07 à 26/07)

Defeitos	Quantidade	Defeitos	Quantidade
Tinta externa grossa	31	Corrosão externa	36
Películas de tinta	12	Excesso de peso	22
Pintura insuficiente	14	Extintor arranhado	23
Extintor sem pressão	15	Manômetro ruim	27
Válvula inadequada	18		

Fonte: Dados de uma empresa que realiza manutenção em extintores (2013).

### ANEXO 2 – Número de não-conformidades encontradas no mês de Julho (01/07 à 26/07)

Dia	Tamanho da amostra	Número de Não-conformidades	Dia	Tamanho da amostra	Número de Não-conformidades
01/07/2013	24	5	15/07/2013	26	12
02/07/2013	23	10	16/07/2013	24	7
03/07/2013	26	15	17/07/2013	25	4
04/07/2013	21	8	18/07/2013	28	7
05/07/2013	20	10	19/07/2013	21	20
08/07/2013	26	26	22/07/2013	22	10
09/07/2013	26	9	23/07/2013	27	3
10/07/2013	24	13	24/07/2013	24	3
11/07/2013	28	15	25/07/2013	30	13
12/07/2013	22	1	26/07/2013	30	7

Fonte: Dados de uma empresa que realiza manutenção em extintores (2013).

**ANEXO 3 – Medidas para a carga dos extintores do dia 15/08 à 13/09**

Dias	Carga (kg)	Dias	Carga (kg)	Dias	Carga (kg)	Dias	Carga (kg)	Dias	Carga (kg)
15/08/2013	0,98	21/08/2013	1,04	27/08/2013	1,08	03/09/2013	0,99	09/09/2013	1,01
15/08/2013	1,01	21/08/2013	1,07	28/08/2013	0,98	03/09/2013	0,95	09/09/2013	0,96
15/08/2013	0,97	21/08/2013	1,03	28/08/2013	1,02	03/09/2013	0,96	10/09/2013	1,02
15/08/2013	1,03	22/08/2013	1,01	28/08/2013	1,02	03/09/2013	1,05	10/09/2013	0,95
15/08/2013	1,00	22/08/2013	0,98	28/08/2013	1,00	04/09/2013	1,03	10/09/2013	1,02
16/08/2013	1,03	22/08/2013	1,04	28/08/2013	0,97	04/09/2013	1,06	10/09/2013	1,01
16/08/2013	1,00	22/08/2013	1,02	29/08/2013	0,98	04/09/2013	1,05	10/09/2013	0,97
16/08/2013	0,98	22/08/2013	1,01	29/08/2013	0,98	04/09/2013	1,09	11/09/2013	1,01
16/08/2013	1,02	23/08/2013	0,97	29/08/2013	1,02	04/09/2013	1,07	11/09/2013	1,04
16/08/2013	1,02	23/08/2013	1,04	29/08/2013	1,00	05/09/2013	1,00	11/09/2013	1,00
19/08/2013	0,99	23/08/2013	1,00	29/08/2013	1,00	05/09/2013	1,02	11/09/2013	1,03
19/08/2013	0,97	23/08/2013	1,04	30/08/2013	1,03	05/09/2013	0,92	11/09/2013	0,96
19/08/2013	0,96	23/08/2013	0,98	30/08/2013	1,00	05/09/2013	1,03	12/09/2013	0,99
19/08/2013	0,98	26/08/2013	0,95	30/08/2013	1,01	05/09/2013	1,05	12/09/2013	1,02
19/08/2013	1,02	26/08/2013	1,00	30/08/2013	0,97	06/09/2013	1,00	12/09/2013	1,01
20/08/2013	0,99	26/08/2013	1,02	30/08/2013	1,08	06/09/2013	0,95	12/09/2013	1,07
20/08/2013	0,99	26/08/2013	1,06	02/09/2013	1,05	06/09/2013	0,99	12/09/2013	1,01
20/08/2013	1,03	26/08/2013	1,03	02/09/2013	1,07	06/09/2013	0,97	13/09/2013	0,95
20/08/2013	1,00	27/08/2013	0,96	02/09/2013	1,06	06/09/2013	0,92	13/09/2013	1,00
20/08/2013	1,02	27/08/2013	1,05	02/09/2013	1,06	09/09/2013	1,04	13/09/2013	1,00
21/08/2013	0,94	27/08/2013	0,99	02/09/2013	1,04	09/09/2013	0,97	13/09/2013	1,04
21/08/2013	1,03	27/08/2013	0,94	03/09/2013	1,04	09/09/2013	0,98	13/09/2013	0,98

Fonte: Dados de uma empresa que realiza manutenção em extintores (2013).

## ANEXO 4 – Algoritmo computacional do software R para gerar os gráficos propostos

```

require(qcc)
require(nortest)
nconformidades=matrix(c(5,10,15,8,10,26,9,13,15,1,12,7,4,7,20,10,3,3,13,7))
tamanho=matrix(c(24,23,26,21,20,26,26,24,28,22,26,24,25,28,21,22,27,24,30,30))
q<-qcc(nconformidades,sizes=tamanho,type="u") #Gráfico U
newnconformidades=matrix(c(5,10,15,8,10,9,13,15,1,12,7,4,7,10,3,3,13,7))
newtamanho=matrix(c(24,23,26,21,20,26,24,28,22,26,24,25,28,22,27,24,30,30))
q<-qcc(newnconformidades,sizes=newtamanho,type="u") #Gráfico U sem as amostras (6) e (15)
Defeitos<-c(31,12,14,15,18,36,22,23,27)
names(Defeitos)<-c("Tinta externa grossa","Películas de tinta","Pintura insuficiente","Extintor sem
pressão","Válvula inadequada","Corrosão externa","Excesso de peso","Extintor arranhado","Manômetro ruim")
pareto.chart(Defeitos,ylab="Nº de defeitos",main="Defeitos nos Extintores")#Gráfico de Pareto
Carga=matrix(c(0.98,1.03,0.99,0.99,0.94,1.01,0.97,0.95,0.96,0.98,0.98,1.03,1.05,1.04,1.03,1.00,1.00,1.04,1.02,1.01,0.99,
0.95,1.01,1.00,0.97,0.99,1.03,0.98,1.04,1.00,1.05,1.02,0.98,1.00,1.07,0.99,1.06,1.02,0.95,0.97,0.95,1.04,1.02,1.00,0.97,
0.98,0.96,1.03,1.04,1.04,1.00,1.02,0.99,1.02,1.02,1.01,1.06,0.95,1.05,0.92,0.99,0.98,1.02,1.00,1.01,1.00,1.03,1.02,0.98,
1.00,1.07,1.02,1.04,1.06,0.94,1.00,1.00,0.97,1.06,0.96,1.09,1.03,0.97,1.01,1.01,1.03,1.07,1.04,1.00,1.02,1.02,1.02,1.03,1.01,
0.98,1.03,1.08,0.97,1.00,1.08,1.04,1.05,1.07,1.05,0.92,0.96,0.97,0.96,1.01,0.98),ncol=5)
ad.test(Carga) #Teste de Normalidade
q1<-qcc(Carga,type="R") #Gráfico R
q2<-qcc(Carga,type="xbar") #Gráfico Xbarra
Carganew=matrix(c(0.98,1.03,0.99,0.99,0.94,1.01,0.97,0.95,0.96,0.98,0.98,1.03,1.04,1.00,1.00,1.04,1.02,1.01,0.99,0.95,
1.01,1.00,0.97,0.99,1.03,0.98,1.04,1.00,1.05,1.02,0.98,1.00,0.99,1.02,0.95,0.97,0.95,1.04,1.02,1.00,0.97,0.98,0.96,1.03,
1.04,1.04,1.00,1.02,0.99,1.02,1.02,1.01,0.95,0.92,0.99,0.98,1.02,1.00,1.01,1.00,1.03,1.02,0.98,1.00,1.07,1.02,1.04,1.06,
0.94,1.00,1.00,0.97,0.96,1.03,0.97,1.01,1.01,1.03,1.07,1.04,1.00,1.02,1.02,1.02,1.03,1.01,0.98,1.03,1.08,0.97,1.00,1.08,1.05,
1.05,0.92,0.96,0.97,0.96,1.01,0.98),ncol=5)
q3<-qcc(Carganew,type="R") #Gráfico R retirando as amostras (13) e (15)
q4<-qcc(Carganew,type="xbar") #Gráficos Xbarra retirando as amostras (13) e (15)
process.capability(q4,spec.limits=c(0.950,1.050),target=1) #Análise da Capacidade
Sigma=c(0.98,1.03,0.99,0.99,0.94,1.01,0.97,0.95,0.96,0.98,0.98,1.03,1.04,1.00,1.00,1.04,1.02,1.01,0.99,0.95,1.01,1.00,
0.97,0.99,1.03,0.98,1.04,1.00,1.05,1.02,0.98,1.00,0.99,1.02,0.95,0.97,0.95,1.04,1.02,1.00,0.97,0.98,0.96,1.03,1.04,1.04,
1.00,1.02,0.99,1.02,1.02,1.01,0.95,0.92,0.99,0.98,1.02,1.00,1.01,1.00,1.03,1.02,0.98,1.00,1.07,1.02,1.04,1.06,0.94,1.00,
1.00,0.97,0.96,1.03,0.97,1.01,1.01,1.03,1.07,1.04,1.00,1.02,1.02,1.02,1.03,1.01,0.98,1.03,1.08,0.97,1.00,1.08,1.05,1.05,0.92,
0.96,0.97,0.96,1.01,0.98)
sd(Sigma)
#Gráfico de Controle CUSUM para os dados sem as amostras (13) e (15)
q5<-cusum(Carganew,sizes=5,center=1,std.dev=0.03373381,decision.interval=0.16866905)

```

Fonte. Algoritmo computacional desenvolvido pelos autores (2013).

