

## O uso do gráfico de controle $\bar{X}$ e $R$ no monitoramento do volume de envase de refrigerante

Mateus Araújo Kappel<sup>1</sup>  
mat-kap@hotmail.com

Aurélia Aparecida de Araújo Rodrigues<sup>2</sup>  
aurelia@famat.ufu.br

### Resumo

O monitoramento efetivo das características da qualidade de um processo de produção depende frequentemente de ferramentas estatísticas para a detecção, identificação e análise das causas significantes responsáveis por variações que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível. Os gráficos de controle são ferramentas estatísticas utilizadas com sucesso no monitoramento do desempenho de diferentes processos industriais. O objetivo deste trabalho é utilizar os gráficos de controle  $\bar{X}$  e  $R$  para monitorar o processo de envase de refrigerantes da Indústria de Refrigerantes Ltda (IRL) e verificar se o processo está estatisticamente em controle. A variável monitorada aqui foi o volume de envase de refrigerantes em embalagens PET de 2 litros. Utilizou-se o *software Minitab* para implementar o gráfico  $\bar{X}$  e  $R$ .

**Palavras-chave:** gráficos de controle, controle estatístico de processos, gráficos  $\bar{X}$  e  $R$ .

### 1. INTRODUÇÃO

Em um processo produtivo, as características dos produtos apresentam variabilidade (desvio em relação ao valor desejado), ou seja, nunca é possível produzir dois produtos ou itens exatamente iguais. Existem dois tipos de causas de variação que podem estar presentes em um processo de produção: as causas especiais e as causas comuns. As causas especiais podem ser localizadas e eliminadas, como por exemplo, diferenças entre máquinas, variações entre lotes de matérias-primas e diferenças entre fornecedores; já as causas comuns de variação, são intrínsecas ao processo, naturais e não podem ser eliminadas. Assim, coloca-se a questão de reconhecer quando a variabilidade observada no processo é natural ou se há causas especiais presentes.

A qualidade de um produto está relacionada com essa variabilidade, no sentido de que, quanto menor o desvio, melhor a qualidade do produto. Assim, controlar a qualidade é controlar a variabilidade. Produzir com mais qualidade e menor custo são palavras essenciais no mercado competitivo das empresas.

O controle estatístico do processo (CEP) consiste de um conjunto de técnicas estatísticas que permitem a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido (Ribeiro, 2000).

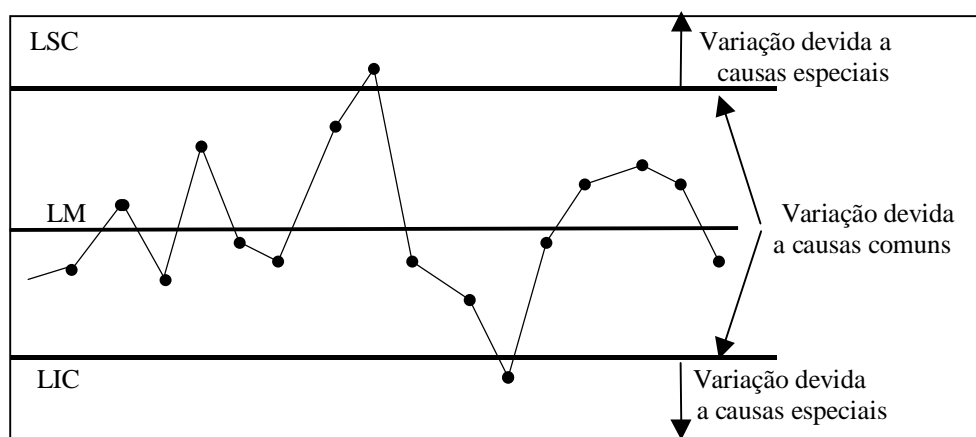
A ferramenta utilizada para monitorar os processos de produção é o gráfico de controle. Em 1924, Walter A. Shewhart, da Bell Telephone Laboratories, foi quem primeiro desenvolveu e aplicou os gráficos de controle, com o objetivo de observar se a variabilidade do processo é devida às causas especiais de variação. Para sua operação, o processo é

<sup>1</sup> Aluno de graduação em Engenharia Mecânica (UFU) e de Iniciação Científica (PROMAT).

<sup>2</sup> Orientadora. Professora Adjunto da Faculdade de Matemática (UFU).

monitorado da seguinte maneira: periodicamente, retira-se uma amostra de certo número de itens do processo, calcula-se uma ou mais estatísticas amostrais (como média e/ou amplitude ou desvio-padrão) e registram-se seus valores no(s) gráfico(s) de controle.

A figura 1 mostra um esquema ilustrativo de um gráfico de controle. A variação devida a causas especiais está sinalizada por pontos acima do limite superior de controle (*LSC*) ou abaixo do limite inferior de controle (*LIC*). As causas especiais de variação devem ser, de modo geral, localizadas e eliminadas. E, além disso, devem-se adotar medidas para evitar sua reincidência. Se nenhuma causa especial é sinalizada pelo gráfico e somente causas comuns estão agindo no processo, diz-se que o processo está *em controle*. Caso contrário, isto é, se alguma causa especial estiver atuando no processo, tem-se, então, um processo *fora de controle*.



**Figura 1:** Ilustração esquemática de um gráfico de controle

O modelo geral de um gráfico de controle tradicional, ou **gráfico de controle de Shewhart**, é, como foi visto, composto pela Linha Média (*LM*) e pelos limites *LIC* e *LSC*, cujos valores (coordenadas no eixo vertical) são calculados por:

$$LSC = \mu_w + L\sigma_w \quad (1)$$

$$LM = \mu_w \quad (2)$$

$$LIC = \mu_w - L\sigma_w \quad (3)$$

onde  $w$  é a estatística de interesse,  $\mu_w$  e  $\sigma_w$  são sua média e seu desvio-padrão na hipótese de o processo estar em controle, e  $L$  é a distância dos limites de controle em relação à linha média, expressa em unidades de desvios-padrão  $\sigma_w$ . Quando os valores de  $\mu_w$  e  $\sigma_w$  forem desconhecidos, esses valores deverão ser estimados a partir de amostras preliminares do processo, num período de tempo em que se acredite que ele está em controle (Montgomery, 2004)

Se a característica de qualidade de interesse for representada por variáveis contínuas (mensuráveis), como por exemplo, teor de carbono em uma liga metálica, diâmetro de um eixo, volume de saquinhos de leite ou volume de latas de refrigerante, então, os tipos de gráfico indicado para monitorar o processo são os gráficos de controle por variáveis.

Os gráficos de controle para variáveis resultam na utilização do gráfico da média ( $\bar{X}$ ), que é o mais usado para controlar a média de um processo, e do gráfico da amplitude ( $R$ ) ou do gráfico do desvio-padrão ( $S$ ), que controlam a variabilidade do processo. Em certas situações é recomendável e usual a implantação simultânea dos gráficos de  $\bar{X}$  e  $R$  ou  $S$  para controlar a média e a variabilidade do processo.

A Indústria de Refrigerantes Ltda (IRL), que é mais conhecida como Refrigerantes Golé, foi inaugurada em 1º de Setembro de 1966. Atualmente, com sede em Uberaba - Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro, a IRL atende quase todo Triângulo e Alto Paranaíba,

atendendo cidades como: Uberlândia, Araguari, Araxá, Nova Ponte, Conceição das Alagoas, Delta e outras.

Na IRL, a equipe responsável pelo controle de qualidade retira amostras de 2 garrafas a cada meia hora para medir a quantidade de gás carbônico e o volume de envase de refrigerante das garrafas. Além disso, ocorre também inspeção visual constante após a rotulagem, onde um funcionário inspeciona o nível do volume e a presença de alguma não conformidade da produção.

Através do monitoramento é possível observar e analisar o comportamento do volume de refrigerante no processo de envase, que deve ser mantido em níveis adequados com a finalidade de evitar tanto perdas por excesso de volume nas garrafas como apresentar um volume abaixo do seu volume nominal, ou seja, aquele volume citado no rótulo do produto, que poderá causar muitas geradas pelo organismo responsável pela fiscalização, resultando insatisfação ou até perda de clientes.

Alternativamente, é possível monitorar o volume de refrigerantes no processo de envase utilizando os gráficos de controle, que é uma ferramenta estatística simples de construir e fácil de utilizar, o qual pode complementar ou substituir com vantagens o método de controle adotado pela IRL. A eficácia de um gráfico de controle é medida pela rapidez com que esse método detecta e sinaliza alterações no processo, o que permite que ações sejam tomadas para evitar que itens não conformes sejam produzidos.

O objetivo deste trabalho é utilizar o gráfico de controle  $\bar{X}$  e  $R$  para monitorar o processo de produção de refrigerantes da Indústria de Refrigerantes Ltda (IRL) e verificar se o volume de envase nas embalagens PET (politereftalato de tila) de 2 litros está estatisticamente em controle.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta de dados

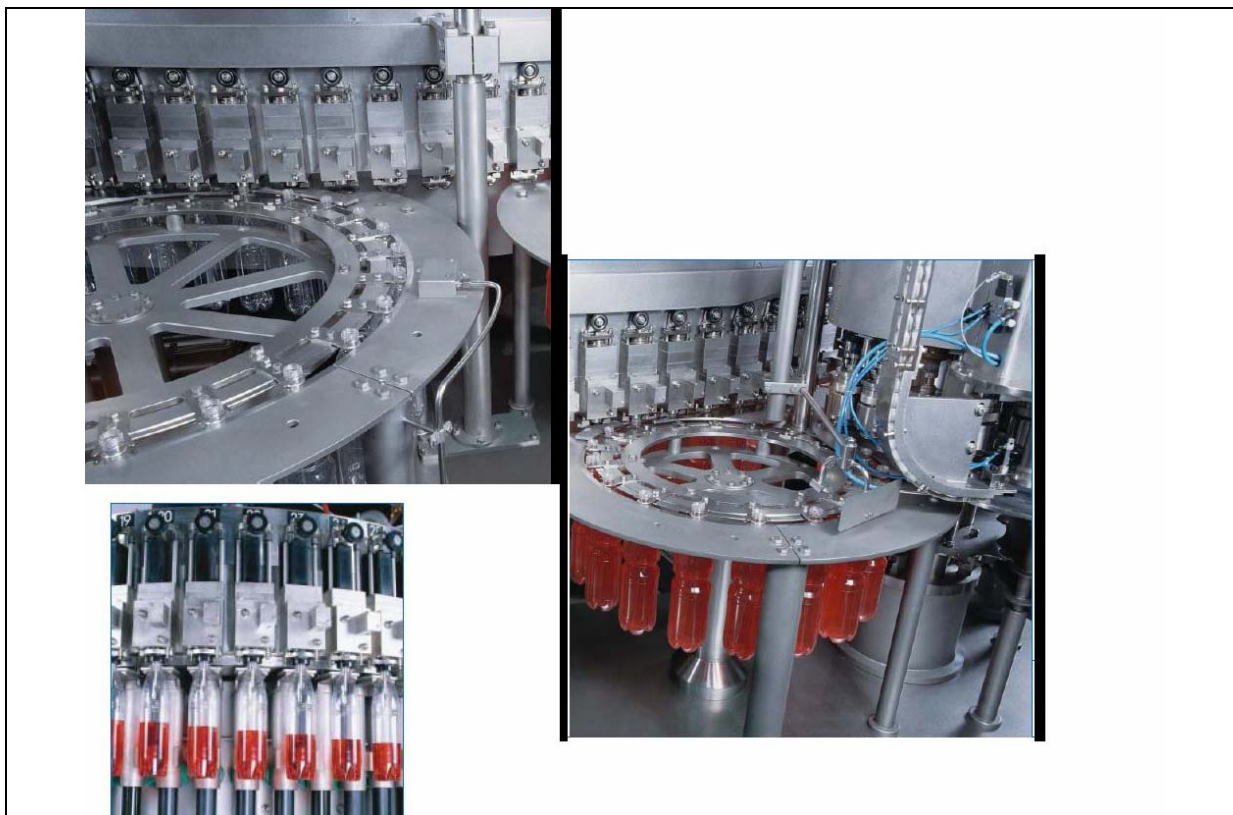
Para a realização do trabalho, os dados foram fornecidos pela Indústria de Refrigerantes Ltda (IRL) de Uberaba-MG, que é mais conhecida pelos consumidores, como Refrigerantes Golé, a qual produz e/ou engarrafa refrigerantes de vários sabores, água mineral, refrescos e bebida ice (mistura levemente gaseificada de vodka com suco de limão).

O Controle de Qualidade de qualquer empresa tem como objetivo acompanhar e dar suporte em todo processo de fabricação, mantendo um padrão e assegurando as características do produto final para o consumidor. Na IRL, esse controle inicia com a chegada da matéria-prima na fábrica, que passa por dois laboratórios (microbiologia e físico-química) de controle de qualidade (IRL, 2008). Após aprovação da matéria-prima pelos laboratórios, inicia-se o processo de produção, que também é acompanhado continuamente pelos técnicos do setor até obtenção do produto final. Além disso, para avaliação desse produto, os técnicos da empresa coletam periodicamente amostras (uma amostra por lote fabricado) nos mais variados pontos de venda (IRL, 2008).

Para a qualidade do refrigerante, é muito importante o acompanhamento diário e eficiente do sistema de envase. Na IRL, o processo de envase de refrigerante ocorre em um local, com acesso restrito, onde há inspeção de características como o volume de envase e a higiene. Posteriormente, as embalagens envasadas são rotuladas e codificadas (datadas e numeradas com o número do lote). Finalizado o processo de produção, as garrafas são embaladas e armazenadas.

Neste trabalho, a variável de interesse é o volume de envase de refrigerante em garrafas PET de 2 litros, cuja peça fundamental do processo é a máquina envasadora, fabricada pela KHS, vide Figura 2. A envasadora contém 28 bicos injetores independentes, a qual funciona com sistema a vácuo. Para facilitar o enchimento, a máquina envasadora é dotada de bombas que retiram o ar antes da entrada da bebida. Nestas bombas, o vácuo é

obtido por colunas barométricas, equipamento que utiliza jatos de água para produzir pressão negativa numa tubulação. Nesse tipo de sistema, em geral, perde-se água, uma vez que parte da água sai junto com o ar que é expelido das garrafas.



Fonte: KHS (2008)

**Figura 2:** Ilustração de uma máquina de envase atual -KHS

A máquina envasadora da IRL possui um número grande de bicos injetores, os quais são independentes. Neste trabalho, a fim de facilitar o processo de coleta de dados e análise, foram coletadas amostras de volumes de envase em apenas um bico. Vale ressaltar que o gráfico de controle aqui aplicado pode ser estendido para a implementação do monitoramento dos demais bicos injetores e, assim, promover um monitoramento simultâneo de todos os bicos do processo de envase.

Como não se dispunha de um histórico do volume de envase, foi durante a fase inicial, chamada fase 1, que se obteve amostras preliminares a fim de identificar os parâmetros do processo (média e desvio padrão) e determinar os limites de controle ideais dos gráficos  $\bar{X}$  e  $R$ , sem a influência de causas especiais. Uma discussão sobre o planejamento do número de amostras  $m$ , do tamanho  $n$  dessas amostras e do intervalo entre cada amostra  $t$  é encontrada em Montgomery (2004).

Neste trabalho, para a fase 1 do monitoramento da produção, foram coletadas vinte amostras ( $m = 20$ ) de tamanho 5 ( $n = 5$ ), com intervalos de 15 minutos entre cada amostra ( $t = 15$  min). Cada amostra foi medida através de proveta graduada e registrada na tabela 1.

Para a implementação da fase 2, que visa o monitoramento futuro da produção, foram coletadas mais quinze amostras ( $m = 15$ ) de tamanho 5 ( $n = 5$ ), com intervalos de 15 minutos entre cada amostra ( $t = 15$  min). Cada amostra foi medida através de proveta graduada e registrada na tabela 2.

**Tabela 1:** Volume de refrigerante, em ml, fase 1

Amostra	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{i3}$	$X_{i4}$	$X_{i5}$	$\bar{X}_i$	$R_i$
1	2020,0	2000,0	2025,0	2010,0	2005,0	2012,0	25,0
2	2010,0	2010,0	2010,0	2005,0	2000,0	2007,0	10,0
3	2000,0	2000,0	2000,0	1980,0	2000,0	1996,0	20,0
4	2000,0	2000,0	2000,0	1998,0	2000,0	1999,6	2,0
5	2000,0	1998,0	2002,0	2000,0	2002,0	2000,4	4,0
6	2000,0	2002,0	2002,0	2005,0	2005,0	2002,8	5,0
7	2000,0	2003,0	2000,0	2002,0	1996,0	2000,2	7,0
8	2000,0	2004,0	2002,0	2000,0	2000,0	2001,2	4,0
9	2005,0	2000,0	2000,0	2005,0	2000,0	2002,0	5,0
10	1998,0	2000,0	1998,0	2000,0	2010,0	2001,2	12,0
11	2000,0	2002,0	2000,0	2025,0	2025,0	2010,4	25,0
12	2000,0	2010,0	2005,0	2010,0	2020,0	2009,0	20,0
13	2005,0	2000,0	2000,0	2000,0	2005,0	2002,0	5,0
14	2010,0	2010,0	2000,0	2005,0	2005,0	2006,0	10,0
15	2000,0	2000,0	1998,0	2000,0	2000,0	1999,6	2,0
16	1995,0	2000,0	2000,0	1993,0	1998,0	1997,2	7,0
17	2000,0	2005,0	2005,0	2000,0	2000,0	2002,0	5,0
18	2000,0	2005,0	2010,0	2010,0	2005,0	2006,0	10,0
19	2005,0	2000,0	2000,0	2005,0	2000,0	2002,0	5,0
20	2000,0	2000,0	1998,0	2000,0	1995,0	1998,6	5,0

$$\bar{\bar{X}} = 2002,8 \quad \bar{R} = 9,4$$

**Tabela 2:** Volume de refrigerante, em ml, fase 2.

Amostra	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{i3}$	$X_{i4}$	$X_{i5}$	$\bar{X}_i$	$R_i$
1	2000,0	2000,0	1980,0	1980,0	1995,0	1991,0	20,0
2	1990,0	2005,0	2000,0	1990,0	1995,0	1996,0	15,0
3	2010,0	2010,0	2000,0	2020,0	2000,0	2008,0	20,0
4	2000,0	2005,0	2000,0	2010,0	1990,0	2001,0	20,0
5	2000,0	2005,0	2005,0	2005,0	2005,0	2004,0	5,0
6	2020,0	2010,0	2010,0	2010,0	2020,0	2014,0	10,0
7	2005,0	2020,0	2020,0	2020,0	2010,0	2015,0	15,0
8	2000,0	2005,0	2005,0	2000,0	2010,0	2004,0	10,0
9	2000,0	2003,0	2010,0	2010,0	2010,0	2006,6	10,0
10	1990,0	2000,0	2010,0	2010,0	2000,0	2002,0	20,0
11	2005,0	2005,0	2000,0	2020,0	2010,0	2008,0	20,0
12	2010,0	2000,0	2005,0	2010,0	2025,0	2010,0	25,0
13	2005,0	2000,0	2010,0	2005,0	2010,0	2006,0	10,0
14	2010,0	2010,0	2020,0	2010,0	2000,0	2010,0	20,0
15	2005,0	2000,0	2010,0	2005,0	2010,0	2006,0	10,0

$$\bar{\bar{X}} = 2005,4 \quad \bar{R} = 5,3$$

## 2.2 Gráficos de controle para $\bar{X}$ e $R$

Neste trabalho, será utilizado o gráfico de controle  $\bar{X}$  e  $R$ , que é recomendado para monitorar, respectivamente, a média e a variabilidade de um processo cuja variável de interesse é contínua, por exemplo volume de refrigerante (Montgomery, 2004).

O monitoramento é feito através da análise periódica de amostras: a cada intervalo de tempo  $h$  retira-se uma amostra de tamanho  $n$  para análise. Para cada amostra, é calculada a média  $\bar{X}$  dos valores medidos e a amplitude amostral  $R$ , que é a diferença entre o maior e o menor valor da amostra. Os valores de  $\bar{X}$  e  $R$  das várias amostras são plotados, respectivamente, nos gráficos da média e da amplitude.

Sendo a característica de qualidade  $X$ , com distribuição normal e o processo em controle, têm-se

$$\bar{X} = \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad (4)$$

normalmente distribuída com média e variância dadas, respectivamente, por

$$E(\bar{X}) = \mu_0 \quad (5)$$

$$Var(\bar{X}) = \sigma_0^2 / n \quad (6)$$

onde  $X_{ij}$  é o  $j$ -ésimo elemento do  $i$ -ésimo amostra,  $n$  é o tamanho das amostras.

Logo, os limites de controle do gráfico de  $\bar{X}$ , com os limites de  $3\sigma$  propostos por Shewhart, fazendo  $L = 3$  nas equações (1) a (3) são:

$$LSC_{\bar{X}} = \mu_0 + 3\sigma_0 / \sqrt{n} \quad (7)$$

$$LM_{\bar{X}} = \mu_0 \quad (8)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \mu_0 - 3\sigma_0 / \sqrt{n} \quad (9)$$

Já os limites de controle para o gráfico  $R$ , também situados usualmente a três desvios-padrão de afastamento da média, são:

$$LSC_R = d_2\sigma_0 + 3d_3\sigma_0 \quad (10)$$

$$LM_R = d_2\sigma_0 \quad (11)$$

$$LIC_R = d_2\sigma_0 - 3d_3\sigma_0 \quad (12)$$

As constantes  $d_2$  e  $d_3$  dependem apenas do tamanho da amostra  $n$ , vide quadro 1.

**Quadro 1:** Valores das constantes  $d_2$  e  $d_3$

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$d_2$	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078	3,173	3,258
$d_3$	0,853	0,888	0,880	0,864	0,848	0,833	0,820	0,808	0,797	0,787	0,778

Fonte: Costa *et al.* (2004)

Segundo Costa *et al.* (2004), na prática, os valores de  $\mu_0$  e  $\sigma_0$  não são conhecidos com exatidão absoluta, e, portanto, suas estimativas disponíveis são utilizadas em seu lugar. De um conjunto inicial de  $m$  amostras, a estimativa usual para  $\mu_0$  é o valor médio das médias das amostras:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m} \quad (13)$$

onde  $\bar{X}_i$  é a média da  $i$ -ésima da amostra, enquanto que a estimativa para  $\sigma_0$ , em caso de se estar utilizando o gráfico de  $\bar{X}$  em conjunto com um gráfico de  $R$ , é



$$S_d = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (14)$$

sendo  $\bar{R}$  é a média aritmética dos  $m$  valores de  $R_i$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (15)$$

Aqui,  $S_d$  é adotado como estimativa do desvio-padrão do processo, por ser robusto às alterações na média do processo e por ser simples de calcular (Costa *et al.*, 2004).

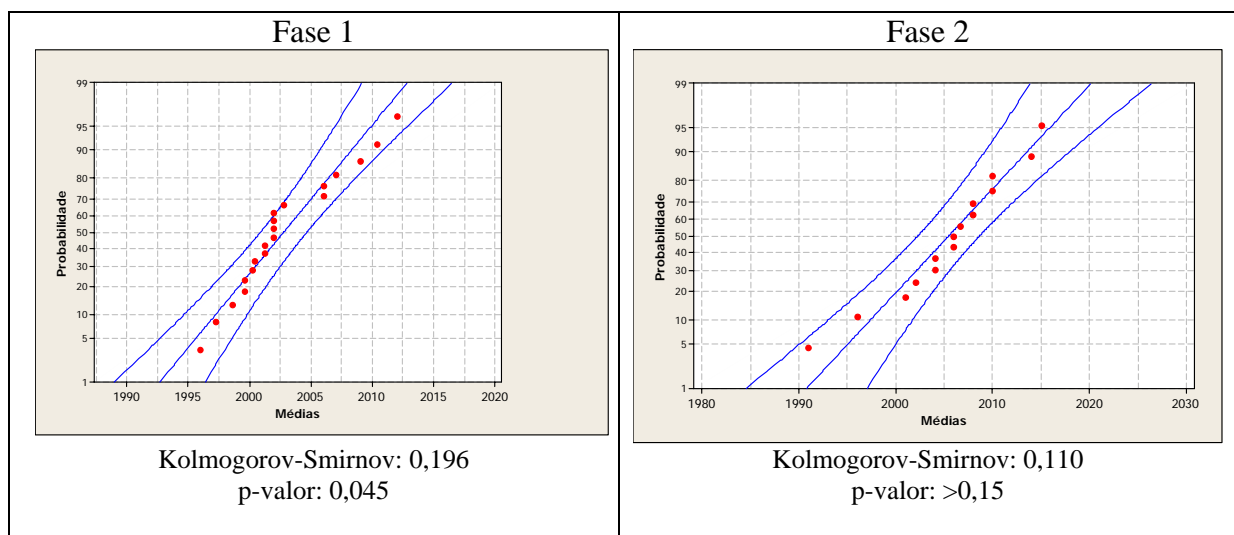
Suspeita-se que um processo esteja fora de controle quando um ponto se encontra acima do limite de controle superior ou abaixo do limite de controle inferior, ou ainda, se os pontos apresentam um padrão, como por exemplo, pontos consecutivos crescendo ou decrescendo. Outras regras que identificam indícios de processos fora de controle foram desenvolvidas e são chamadas de regras suplementares (Costa *et al.*, 2004).

Quando for localizado um ponto fora dos limites de controle ou identificado um comportamento não aleatório dos pontos no gráfico, passa-se, então, ao processo de investigação para descobrir se, de fato, o processo está fora de controle; e se ele, de fato, estiver, as causas especiais devem ser removidas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, será verificado se as médias amostrais ( $\bar{X}_i$ ) do volume de envase de refrigerante em garrafas PET de 2 litros, as quais serão usadas nas fases 1 e 2, seguem uma distribuição normal.

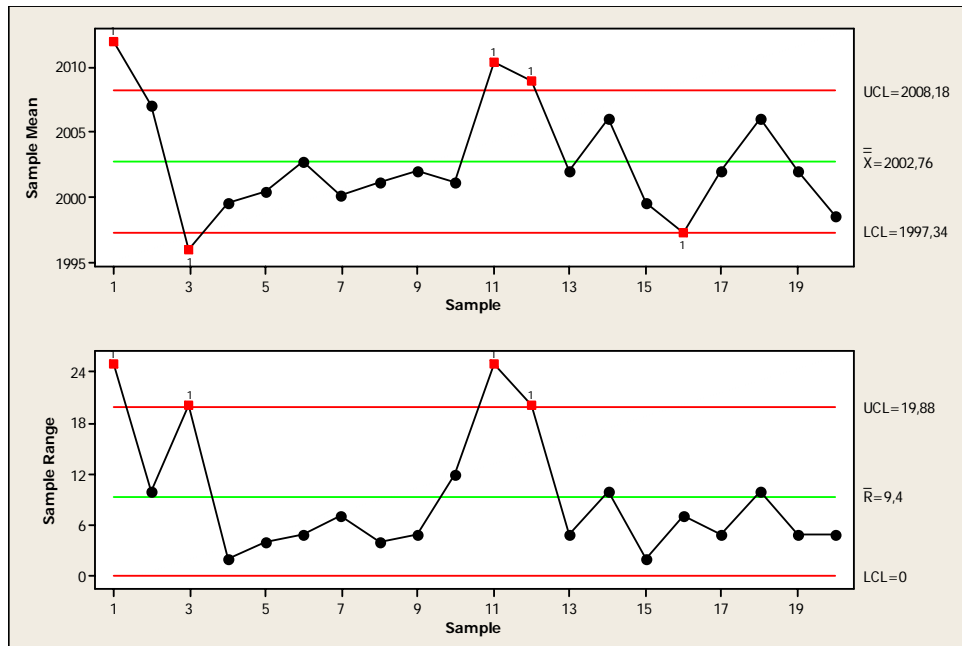
Através do gráfico de probabilidade normal e do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, mostrados na figura 3, conclui-se que as médias amostrais do volume de envase de refrigerante em garrafas PET de 2 litros, obtidas das tabelas 1 e 2, se comportam como uma distribuição aproximadamente normal.



**Figura 3:** Gráfico de probabilidade normal e teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov

#### 3.1. Fase 1: análise retrospectiva

Foi durante a fase inicial (fase 1) que se obteve amostras preliminares a fim de identificar os parâmetros do processo (média e desvio padrão) e determinar os limites de controle ideais dos gráficos  $\bar{X}$  e  $R$ , os quais não são influenciados pelas causas especiais. Abaixo, no gráfico 1, apresentam-se os gráficos  $\bar{X}$  e  $R$  que foram construídos para os dados da tabela 1, utilizando no software Minitab.



**Gráfico 1:** Gráfico  $\bar{X}$  e R para o volume de envase - Fase 1.

**Interpretação do gráfico 1:** os pontos referentes às amostras 1, 3, 11, 12 e 16, estão fora do limite de controle, indicando presença de causas especiais. Após investigação, constatou-se que essas observações foram influenciadas por causas especiais (má regulagem das válvulas e dos bicos de enchimento da máquina envasadora, má estocagem e utilização não sistemática das garrafas PET, vazamento e perda de pressão na tubulação, excesso de “set up” em decorrência do uso da linha para a produção de mais que um produto, falta de um controlador que atue diretamente na regulagem do sistema, troca de operadores, excesso de cuidado para não obter produtos com volume abaixo do valor nominal e sofrer penalizações do INMETRO e erros atribuídos a medição da proveta). Portanto, as observações 1, 3, 11, 12 e 16 foram eliminadas. Restaram as 15 observações que são mostradas na tabela 3.

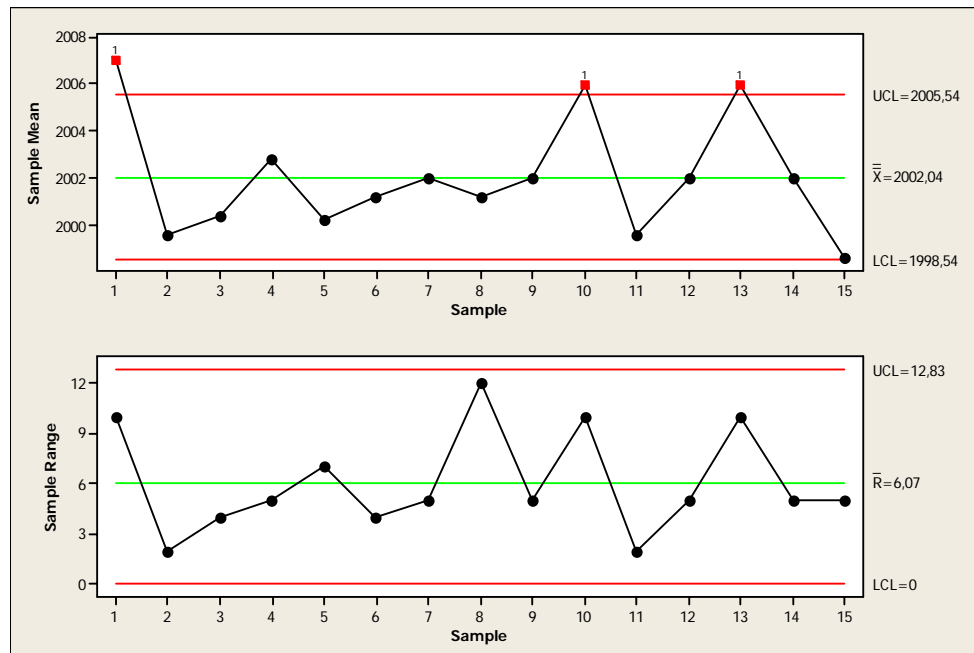
**Tabela 3:** Volume de refrigerante após eliminação, em ml, fase 1

Amostra	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{i3}$	$X_{i4}$	$X_{i5}$	$\bar{X}_i$	$R_i$
1	2010,0	2010,0	2010,0	2005,0	2000,0	2007,0	10,0
2	2000,0	2000,0	2000,0	1998,0	2000,0	1999,6	2,0
3	2000,0	1998,0	2002,0	2000,0	2002,0	2000,4	4,0
4	2000,0	2002,0	2002,0	2005,0	2005,0	2002,8	5,0
5	2000,0	2003,0	2000,0	2002,0	1996,0	2000,2	7,0
6	2000,0	2004,0	2002,0	2000,0	2000,0	2001,2	4,0
7	2005,0	2000,0	2000,0	2005,0	2000,0	2002,0	5,0
8	1998,0	2000,0	1998,0	2000,0	2010,0	2001,2	12,0
9	2005,0	2000,0	2000,0	2000,0	2005,0	2002,0	5,0
10	2010,0	2010,0	2000,0	2005,0	2005,0	2006,0	10,0
11	2000,0	2000,0	1998,0	2000,0	2000,0	1999,6	2,0
12	2000,0	2005,0	2005,0	2000,0	2000,0	2002,0	5,0
13	2000,0	2005,0	2010,0	2010,0	2005,0	2006,0	10,0
14	2005,0	2000,0	2000,0	2005,0	2000,0	2002,0	5,0
15	2000,0	2000,0	1998,0	2000,0	1995,0	1998,6	5,0

$$\bar{\bar{X}} = 2002,04 \quad \bar{R} = 6,07$$



A seguir, no gráfico 2, apresenta-se o gráfico de controle  $\bar{X}$  e  $R$  após a eliminação dos pontos influenciados por causas especiais.



**Gráfico 2:** Gráfico  $\bar{X}$  e  $R$  para o volume de envase, após eliminação, fase 1.

**Interpretação do gráfico 2:** os pontos referentes às amostras 1, 10 e 13 estão fora do limite de controle, indicando presença de causas especiais. Após investigação, não se constatou que essas observações foram influenciadas por causas especiais. Portanto, o conjunto das observações da tabela 3 será usado com referência para calcular os limites de controle da fase 2.

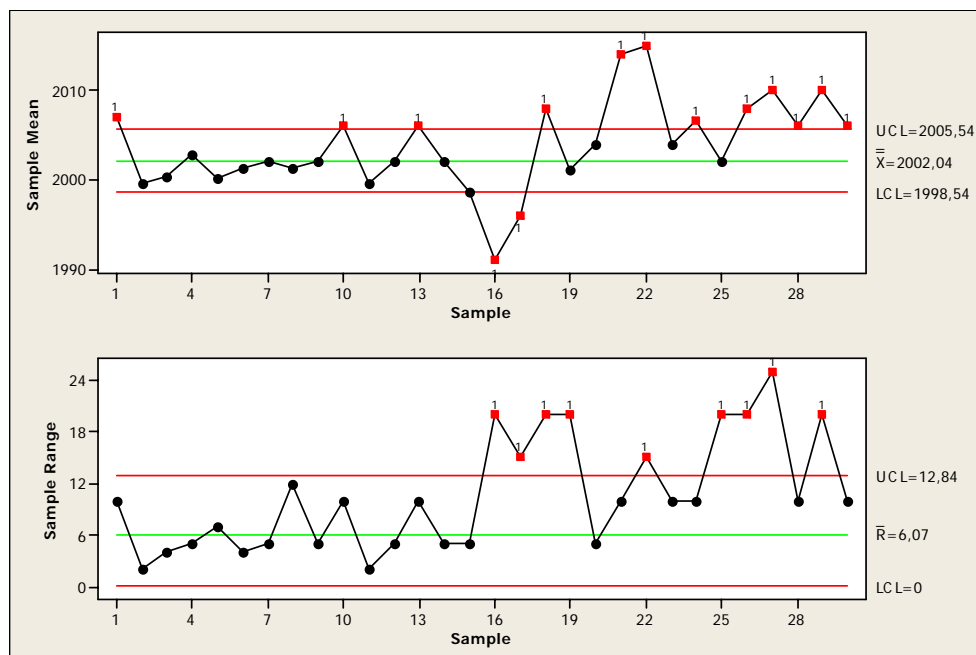
De qualquer forma, como há mais de um ponto fora dos limites, suspeita-se que o processo não esteja estável. O ideal seria voltar à etapa inicial e prolongar o período de coleta de dados até obter observações suficientes (Costa *et al* , 2004). Se esta recomendação fosse seguida, provavelmente a faixa entre os limites de controle seria muito “estreita”, tornando o monitoramento extremamente rigoroso, com sinais de alerta frequentes, o que não é desejável na prática. Aqui, optou-se por faixa “larga” entre limites com o compromisso de reavaliá-los periodicamente, ou seja, a busca pelo processo ideal será feita de forma gradativa e contínua.

### 3.2. Fase 2: Monitoramento da produção

A tabela 3 apresenta os valores de  $X_{ij}$ ,  $\bar{X}$  e  $\bar{R}$  das 15 amostras de tamanho 5 ( $m = 15$ ,  $n = 5$ ), sem observações influenciadas por causa especiais. Logo, utilizando a equação (13) obtém-se  $\hat{\mu}_0 = \bar{\bar{X}} = 2002,04$  e utilizando a equação (14) obtém-se  $\hat{\sigma}_0 = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{6,07}{2,326} = 2,61$ .

Para se obter os limites de controle que serão usados no monitoramento futuro a seguir no gráfico 3,  $\hat{\mu}_0$  e  $\hat{\sigma}_0$  foram substituídas nas equações (7) a (12).

No gráfico 3, observações 1 a 15 correspondem aos dados da tabela 3 e as observações de 16 a 30 correspondem aos dados do monitoramento da tabela 2,



**Gráfico 3:** Gráfico  $\bar{X}$  e  $R$  para monitoramento do volume de envase, fase 2

**Interpretação do gráfico 3:** os pontos 16 e 17, correspondentes respectivamente às observações 1 e 2 da tabela 2, estão abaixo do limite inferior; o que indica presença de causas especiais. Após análise dos dados, observa-se que essas observações foram coletadas no início do turno, o que pode ter afetado o processo. Os pontos 18 a 30 correspondem, respectivamente, às observações 3 a 15 da tabela 2. Note que a maioria desses pontos ultrapassou os limites de controle, o que mostra que houve alteração na média e na variabilidade. O gráfico 3 sinalizou a variação na média das observações monitoradas, ou seja, a média deslocou de 2002,04 ml (fase 1) para 2005,4 ml (fase 2)

#### 4. CONCLUSÃO

Os gráficos de controle são uma das principais técnicas do controle estatístico de processos. Seu uso é vantajoso para monitorar a variabilidade natural do processo sinalizando uma falta de controle diante da presença de uma causa especial. Além disso, estas técnicas estatísticas produzem informações através do valor de seus parâmetros e sua estabilidade sobre o tempo que permitem a estimativa da capacidade do processo. Quando fontes não comuns de variação estão presentes, pode aparecer a demarcação de pontos fora dos limites de controle ou alguma forma de seqüência e/ou tendência. Isto é um sinal que alguma investigação deve ser feita no processo com a tomada de ação corretiva para remover as fontes de variabilidade. O uso sistemático de gráficos de controle é uma excelente maneira de reduzir a variabilidade (Alves, 2003).

Neste trabalho, foi utilizado o gráfico de controle  $\bar{X}$  e  $R$  para monitorar o processo de envase de refrigerantes da empresa IRL (Indústria de Refrigerantes Ltda). O gráfico de controle  $\bar{X}$  e  $R$  sinalizou alterações na média e na variabilidade desse processo, identificando, portanto, que o processo de envase de refrigerantes em embalagens PET de 2 litros não apresentava estabilidade estatística. Se o monitoramento tivesse sido feito em tempo real, algumas medidas poderiam ter sido tomadas já no primeiro ponto fora dos limites de controle, a fim de evitar que produtos com a média de volume acima da que foi preestabelecida na fase 1 continuassem sendo produzidos.

O processo de envase de refrigerantes em embalagens PET de 2 litros, assim como qualquer outro, deve ser monitorado continuamente. Recomenda-se rever periodicamente os limites, mesmo que o processo permaneça estável. Os limites devem ser revistos quando melhorias no processo são feitas (Montgomery e Runger, 2003).

A implementação de técnicas de controle estatístico de processo, em qualquer ambiente, pode ser feita por um funcionário que possua conhecimentos de estatística básica e que tenha sido adequadamente treinado para implementar o gráfico de controle. O uso dessas técnicas promoverá um aumento na capacidade de produção, com diminuição do custo de fabricação e elevação da produtividade, sem qualquer investimento adicional em novos equipamentos e utilizando os dados que são habitualmente gerados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C. C. Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2003.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. *Controle Estatístico de Qualidade*. São Paulo: Editora Atlas, 2004.
- IRL. Indústria de Refrigerantes Ltda (homepage internet) Disponível em <<http://www.gole.com.br>>. Acesso em 06/04/2008.
- KHS. Indústria de Máquinas Ltda (homepage na internet) Disponível em <<http://www.khs.com>>. Acesso em 06/04/2008.
- MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. 5. ed. New York: John Wiley, 2004.
- MONTGOMERY, D. C.; Runger G. C. , *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. São Paulo, LTC, 2003.
- RIBEIRO, J. L. D., TEN CATEN, C. S. *Controle Estatístico do Processo*. Série monográfica Qualidade. Apostila do programa de pós graduação em engenharia de produção – PPGEPP – UFRGS, Porto Alegre, 2000

