

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
BRUNA APARECIDA REZENDE

ANÁLISE DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE USANDO O
SOFTWARE R

FORMIGA-MG
2012

BRUNA APARECIDA REZENDE

ANÁLISE DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE USANDO O
SOFTWARE R

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do UNIFOR-MG, como requisito a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador (a): Prof.Ms. Andréa da Silva Peçanha

Co-orientador : Prof.Dr. Aladir Horácio dos Santos.

FORMIGA-MG

2012

Bruna Aparecida Rezende

ANÁLISE DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE USANDO O
SOFTWARE R

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção, como requisito a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Ms. Andréa da Silva Peçanha

Orientadora

Prof.Dr. Aladir Horácio dos Santos

Co-orientador

Prof. Ms. José Antônio Moreira de Rezende

Examinador

Formiga, 03 de Dezembro de 2012.

Dedico esse trabalho à Deus, que me deu forças para fosse possível a sua concretização, e aos meus pais Elcácia e João Batista, que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à DEUS, por ter me dado sabedoria durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, por toda força, carinho e paciência.

À minha avó Terezinha, por tantas orações durante os momentos difíceis.

Aos meus irmãos, em especial ao João Pedro e ao Igor, que torceram muito para a conclusão deste trabalho.

Ao meu namorado João Paulo, por todo carinho e apoio.

À orientadora Andréa e ao co-orientador Aladir, por terem acreditado em mim para a elaboração deste trabalho, por todo conhecimento compartilhado, e pela paciência nos momentos difíceis. Agradeço também a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica.

Às minhas amigas Fernanda Mara e Rozilene, por todo auxílio nos momentos difíceis. Jamais esquecerei dos momentos de risos, de choros e dos estudos. Agradeço também minha amiga Fernanda Daniela, pela disposição em ajudar.

A todos que de certa forma contribuíram para a elaboração deste trabalho, meu muito obrigada. Não chegaria até aqui sem a ajuda dessas pessoas que Deus colocou em minha vida.

RESUMO

O Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) é constituído de ferramentas que podem ajudar e muito as organizações quando se busca ter ou melhorar a qualidade nos produtos e serviços. Essas ferramentas devem ser implementadas de forma correta para que se tenha eficácia na utilização delas. O CEQ também é bastante utilizado no meio acadêmico, pois é matéria imprescindível nos cursos de engenharia. É de suma importância que as empresas e as instituições educacionais forneçam *softwares* estatísticos de qualidade para a elaboração dessas ferramentas, levando-se em conta o custo referente à aquisição dos mesmos. Alguns *softwares* estatísticos são bastante utilizados, como por exemplo, o R e o Minitab, sendo o primeiro um *software* livre e gratuito e o segundo um *software* que apresenta um custo de aquisição. O presente trabalho apresenta uma biblioteca de rotinas para o Controle Estatístico da Qualidade através do *software* R e compara sua performance com a do Minitab. Os resultados mostram que os dois *softwares* apresentam performances semelhantes.

Palavras-chave: Controle Estatístico da Qualidade. *Software* R. *Software* Minitab.

ABSTRACT

The Statistical Control of the Quality (CEQ) it is constituted of tools that can help and a lot the organizations when she look for to have or to improve the quality in the products and services. Those tools should be implemented in a correct way for effectiveness to be had in his/her use. CEQ is also quite used in the academic middle, because it is indispensable matter in the engineering courses. It is of addition importance that the companies and the education institutions supply statistical softwares of quality for the elaboration of those tools, being taken into account the cost regarding the acquisition of the same ones. Some statistical softwares are quite used, as for instance, R and Minitab, being the first a free and free software and the second a software that presents an acquisition cost. The present work presents a library of routines for the Statistical Control of the Quality through the software R and it compares his/her performance with the one of Minitab. The results show that the two softwares present similar performances.

Word-key: Statistical control of the Quality. Software R. Software Minitab.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de Controle	22
Figura 2 – Diagrama de Pareto	25
Figura 3 – Diagrama de Causa e Efeito	27
Figura 4 – Diagrama de Concentração de Defeito	27
Figura 5 – Diagrama de Dispersão.....	28
Figura 6 – Histograma.....	29
Figura 7 – Diagrama de ramo-e-folhas.....	30
Figura 8 – Folha de Verificação.....	30
Figura 9 – Diagrama de concentração de defeito para tanque de aplicação aeroespacial.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Como construir um diagrama de causa e efeito	26
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de Variância.....	35
Tabela 2 – Medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis	44
Tabela 3 – Medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão x e y de motores de automóveis	54
Tabela 4 – Causa do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão de motores e suas respectivas frequências	56
Tabela 5 – Lista de causas para efeito de falhas na superfície.....	58
Tabela 6 – Como construir um diagrama de causa e efeito	62
Tabela 7 – Dados para os limites de controle tentativos, exemplo 6-1 tamanho da amostra n=5	65
Tabela 8 – Forças de resistência à ruptura para 100 garrafas de refrigerante de um litro	68
Tabela 9 – Dados para Delineamento inteiramente casualizado	70
Tabela 10 – Dados para Delineamento em bloco casualizado.....	75
Tabela 11 –Dados para Delineamento fatorial em bloco casualizado.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico Xbar dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	46
Gráfico 2 – Gráfico Xbar dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	46
Gráfico 3 – Gráfico R dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	47
Gráfico 4 – Gráfico R dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	47
Gráfico 5 – Gráfico S dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	48
Gráfico 6 – Gráfico S dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	48
Gráfico 7 – Gráfico EWMA dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	49
Gráfico 8 – Gráfico EWMA dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	49
Gráfico 9 – Gráfico CUSUM dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	50
Gráfico 10 – Gráfico CUSUM dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	50
Gráfico 11 – Histograma dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	51
Gráfico 12 – Histograma dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	51
Gráfico 13 – Diagrama de ramo e folhas dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	52
Gráfico 14 – Diagrama de ramo e folhas dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	52
Gráfico 15 – Diagrama de dispersão de x e y.....	55
Gráfico 16 – Diagrama de dispersão de x e y.....	55
Gráfico 17 – Diagrama de Pareto do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	56
Gráfico 18 – Diagrama de Pareto do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão.....	57
Gráfico 19 – Diagrama de Causa e Efeito.....	59
Gráfico 20 – Diagrama de Causa e Efeito.....	59
Gráfico 21 – Gráfico NP para embalagens.....	63
Gráfico 22 – Gráfico NP para embalagens.....	63
Gráfico 23 – Gráfico P para embalagens.....	64
Gráfico 24 – Gráfico P para embalagens.....	64
Gráfico 25 – Gráfico C do nº total de não-conformidades.....	66
Gráfico 26 – Gráfico C do nº total de não-conformidades.....	66

Gráfico 27 – Gráfico U do nº total de não-conformidades	67
Gráfico 28 – Gráfico U do nº total de não-conformidades	67
Gráfico 29 – Gráfico da Análise de capacidade do processo para resistência à ruptura de 100 garrafas de vidro de 1 litro de refrigerante	69
Gráfico 30 – Gráfico da Análise de capacidade do processo para resistência à ruptura de 100 garrafas de vidro de 1 litro de refrigerante	69
Gráfico 31 – Gráfico Boxplot para Delineamento inteiramente casualizado.....	73
Gráfico 32 – Gráfico Bloxplot para Delineamento inteiramente casualizado	75
Gráfico 33 – Gráfico Bloxplot para Delineamento em bloco casualizado	77
Gráfico 34 – Gráfico Bolxplot para Delineamento em bloco casualizado	78
Gráfico 35 – Gráfico Bloxplot para Delineamento Fatorial em bloco casualizado	81

LISTA DE PLANILHAS

Planilha 1 – Folha de Verificação para defeitos em um tanque usado em uma aplicação aeroespacial.....	61
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEQ – Controle Estatístico da Qualidade

CEP – Controle Estatístico de Processos

Cp – Índice de Capabilidade do Processo

LSE – Limite Superior de Especificação

LIE – Limite Inferior de Especificação

QCC – *Quality Control Charts* (Cartas de Controle da Qualidade)

σ – Desvio Padrão

Cpk – Índice de Capabilidade do Processo

Cps – Índice de Capabilidade do Processo (somente especificação superior)

Cpi – Índice de Capabilidade do Processo (somente especificação inferior)

μ – Média da população

SQ *tratamentos* – Soma dos quadrados dos tratamentos

SQ_E – Soma dos quadrados dos erros

SQ_T – Soma de quadrados total

MQ *tratamentos* – Média quadrática dos tratamentos

MQ_E – Média quadrática dos erros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Formulação do problema.....	17
1.4 Hipótese	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Histórico da Qualidade	18
2.2 Conceito de Qualidade	19
2.3 Gestão da Qualidade	20
2.4 Controle Estatístico da Qualidade	21
2.4.1 Controle Estatístico de Processos.....	21
2.4.1.1 Gráfico de Controle	22
2.4.1.2 Outras ferramentas da qualidade	24
2.4.1.2.1 Diagrama de Pareto	25
2.4.1.2.2 Diagrama de Causa e Efeito	26
2.4.1.2.3 Diagrama de Concentração de Defeito	27
2.4.1.2.4 Diagrama de Dispersão.....	28
2.4.1.2.5 Histograma	28
2.4.1.2.6 Gráfico ramo-e-folhas.....	29
2.4.1.2.7 Folha de Verificação.....	30
2.4.2 Capacidade do Processo	30
2.4.2.1 Implementação do CEP.....	32
2.4.3 Análise de Variância.....	34
2.4.3.1 Delineamento inteiramente casualizado.....	36
2.4.3.2 Delineamento em bloco casualizado	36
2.4.3.3 Ensaios fatoriais	37
3 SOFTWARE R	39
4 SOFTWARE MINITAB	41

5 METODOLOGIA.....	42
5.1 Tipo de pesquisa	42
5.2 Objeto de estudo	42
5.3 Coleta de dados	42
5.4 Interpretação dos dados.....	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
7 CONCLUSÃO.....	82
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICE A – Rotinas no R.....	86

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, as organizações se preocupam e muito em serem competitivas no mercado, pois a concorrência é relativamente grande. Diante deste cenário é possível perceber a importância da qualidade, sendo que os consumidores buscam cada vez mais produtos e serviços de qualidade, que possam atender às suas expectativas. É preciso avaliar a qualidade que se tem em um determinado produto ou serviço para que se possa melhorá-la. O Controle Estatístico da Qualidade – CEQ constitui-se de ferramentas estatísticas que auxiliam na busca pela qualidade dos processos. Torna-se essencial a escolha e utilização correta das técnicas do Controle Estatístico da Qualidade, pois só assim serão obtidos resultados confiáveis. Para a elaboração das ferramentas de controle da qualidade são utilizados *softwares* estatísticos, como o Minitab e o R, os quais merecem destaque na organização, visto que na maioria das vezes representam custos para a mesma e devem ser eficientes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma rotina para fazer análise do controle estatístico da qualidade utilizando o *software* R.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Criar uma biblioteca de rotinas no *software* R para elaboração de cada ferramenta da qualidade, da análise de capacidade do processo e análise de variância;
- Comparar a performance do *software* R para o controle estatístico da qualidade com a do *software* Minitab.

1.2 Justificativa

A maior parte dos *softwares* estatísticos é comercializada, isto é, são pagos. No entanto, o *Software R* é de livre acesso, além de ser por linhas de comando.

Assim, o presente trabalho propõe realizar uma análise do controle de qualidade através do *software R* e do Minitab, utilizando exemplos de conjunto de dados. Isso significa que o trabalho irá verificar se a performance do *software R* é igual ou semelhante a do Minitab, além de propor um modelo de rotinas para a elaboração no R.

1.3 Formulação do problema

De modo geral, as instituições de ensino que lecionam cursos de engenharia precisam disponibilizar aos alunos muitos *softwares* para resolver problemas e situações diversos, fazendo com que o custeio da mensalidade torne-se mais elevado. As empresas em geral também utilizam *softwares* estatísticos para controle da qualidade, o que não deixa de gerar custo para elas.

Tendo-se em mente que o uso de *softwares* livres pode minimizar os custos, a problemática do presente trabalho é a seguinte: “A performance do *software* livre R é igual à do *software* Minitab, o qual é comercializado?”

1.4 Hipótese

O *Software R* não apresenta performance diferente do Minitab.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para embasar o presente trabalho, a pesquisa irá definir alguns termos básicos como qualidade, bem como seu histórico, gestão da qualidade, controle estatístico da qualidade, ferramentas da qualidade, análise de capacidade e análise de variância.

2.1 Histórico da Qualidade

A qualidade é uma variável de extrema importância nas organizações atuais, uma vez que ela é capaz de definir e diferenciar produtos oferecidos e serviços prestados aos clientes. Manter o nível de qualidade demanda um trabalho de controle, análise e acompanhamento dentro dessas empresas.

Segundo Oliveira *et al.* (2006), a qualidade passou por três eras de evolução:

Era da Inspeção: os produtos eram inspecionados pelos próprios produtores ou clientes. O objetivo desta Era focava-se na identificação de falhas ou defeitos presentes no que foi fabricado, sendo de produto a produto.

Era do controle estatístico: houve um significativo aumento da demanda, e passou a ser utilizado o controle por amostras, onde se utilizava certa quantidade de itens para se calcular a qualidade na produção toda. Esse controle era feito a partir de técnicas estatísticas.

Era da qualidade total: era de atual vivência. O principal foco da qualidade é o cliente. A empresa, seus funcionários e todos os seus setores são responsáveis pela qualidade dos produtos e serviços.

Entender a história da qualidade auxilia na compreensão de sua importância junto às empresas atuais. Apesar de não ser tangível, ela se torna um diferencial, aumentando as chances frente aos concorrentes e auxiliando no desenvolvimento de novos produtos ou serviços.

Na mesma medida, aumenta-se a competitividade entre as organizações. Para ser competitiva no mercado, uma empresa precisa oferecer ao cliente um produto ou serviço de qualidade. Segundo Alvarez (2001), as primeiras preocupações com o termo “qualidade” têm registro em 1920, nos Estados Unidos.

Segundo Alvarez (2001), a evolução do conceito de qualidade pode ser definida da seguinte forma:

Em 1950, focava-se nos padrões, numa produção em massa, cuja qualidade resumia-se no atendimento aos padrões estabelecidos no projeto do produto. A ênfase era interna à empresa, dando importância aos interesses do fabricante e produtor, cujos instrumentos eram a padronização, inspeção e controle estatístico do processo;

Em 1960, o foco estava nos usos, tendo o consumidor como fator gerador e o atendimento àquilo que ele pretendia para o produto oferecido. A ênfase era externa, sendo o cliente e seus interesses o mais importante. Os instrumentos eram a pesquisa de mercado, análise de tendências, início do envolvimento interfuncional na empresa e estrutura matricial;

Nos anos de 1970, o foco eram os custos, devido à crise do petróleo. A qualidade atendia o mercado consumidor com custos de produção mais baixos, enfatizando o aspecto interno da empresa e o controle do processo. Os instrumentos eram o controle total de qualidade, círculos de controle de qualidade e novas práticas de qualidade;

Em 1980, focavam-se os desejos, devido às mudanças sociais e políticas. A qualidade antecipava-se às necessidades do cliente, com ênfase externa, onde o mais importante era o cliente, a integração e a competição. Gestão do processo, sondagens de mercado, controle da qualidade gerencial, novas aplicações e novas formas de estruturas organizacionais eram os instrumentos;

Por fim, nos anos de 1990, o foco estava no investidor, com atenção para a globalização e cuja qualidade reconhecia o valor do produto. Com ênfase mista (interna e externa à empresa) e na economia global, os instrumentos eram, além de todos os anteriores: análise global, decisões estratégicas, importância das pessoas, preocupação ambiental e quebra de paradigmas.

2.2 Qualidade

A qualidade é um fator de seleção que se destaca no processo de decisão dos consumidores de produtos e serviços. Corrêa e Corrêa (2008) explicam que:

A qualidade é formada durante o processo de produção, ou seja, a qualidade não é um *kit* que possa ser instalado no produto (resultado de um processo), mesmo que estocável, após sua produção. As ações de qualidade, portanto devem ter como alvo os processos, e não os produtos deles resultantes. (CORRÊA E CORRÊA, 2008, p. 182).

A qualidade pode ser definida de diversas formas. Juran (1988) *apud* Corrêa e Corrêa (2008) define o termo como a característica que os produtos que atendem à necessidade do cliente possuem, ficando eles satisfeitos com os produtos ou ainda como a não existência de deficiências.

Já para Juran (2001, p. 9) a qualidade é uma “adequação para uso.”

Podem-se unir todas essas definições e terminologias, transformando a qualidade em algo intangível e, ao mesmo tempo, primordial para um produto ou serviço; trata-se de algo inerente ao que é vendido ou prestado por uma empresa, desde que atenda (ou supere) as necessidades do cliente, seja adequada ao uso e represente a “solidez” à qual se preste.

Para que isso seja realizado, é necessário que essa qualidade seja gerenciada, administrada, de modo que o resultado seja sempre o esperado.

2.3 Gestão da Qualidade

Para Toledo (2001, p. 483), a Gestão da Qualidade é “entendida como o conjunto de práticas utilizadas, nas diversas áreas funcionais da empresa, para obter-se, de forma eficiente e eficaz, a qualidade pretendida para o produto”.

A gestão da Qualidade apresenta-se como uma filosofia gerencial orientada para a reestruturação das organizações, tendo como pontos básicos:

- a) Cliente como foco;
- b) O trabalho em equipe envolvendo toda a organização;
- c) Tomada de decisões com base em fatos e dados;
- d) Constante busca da solução de problemas; e
- e) Minimização ou eliminação de erros. (AGUAYO, 1993).

Assim, a gestão ou o gerenciamento consistem em administrar, controlar, analisar, ser eficaz. Dessa forma, a “gestão da qualidade” se caracteriza por fazer com que todas as áreas da empresa trabalhem em conjunto, visando a qualidade e a eficiência.

2.4 Controle Estatístico da Qualidade (CEQ)

Moreira (2001) descreve que controle é uma maneira utilizada para manter um determinado fenômeno de acordo com o que foi programado. E os produtos resultantes de determinado processo tem características que podem ou não estarem dentro do planejado, o que é definido por qualidade.

O controle estatístico da qualidade pode ser compreendido pela junção das palavras acima, utilizando a estatística como forma de análise para a medida da qualidade.

Segundo Reis (2001, p. 48), “o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) é um dos ramos do Controle da Qualidade”.

Samohyl (2009) afirma que a principal idéia do Controle Estatístico da Qualidade é que processos que apresentam uma menor variabilidade são capazes de atingir melhores níveis de qualidade.

Woodall e Montgomery (1999) trazem a definição de CEQ como sendo uma área da Estatística Industrial, focada em inspecionar, planejar os experimentos e estudar a capacidade do processo.

2.4.1 Controle Estatístico de Processos (CEP)

O Controle Estatístico de Processos pode ser entendido da seguinte maneira:

O Controle Estatístico de Processos (CEP) envolve basicamente o desenvolvimento e interpretação dos resultados de gráficos de controle de processos e a utilização de técnicas para identificação de causas de problemas e oportunidades de melhoria da Qualidade. (REIS, 2001, p.49).

A importância do CEP é justificada pela precisão de estar analisando a variabilidade do processo para que se possa ter qualidade necessária nos produtos e serviços.

Costa, Eugenio e Carpinetti (2005) relata que em 1924 foi marcado o início do controle estatístico de processos, quando Shewhart aplicou nos Bell Telephone Laboratories os gráficos de controle.

2.4.1.1 Gráfico de Controle

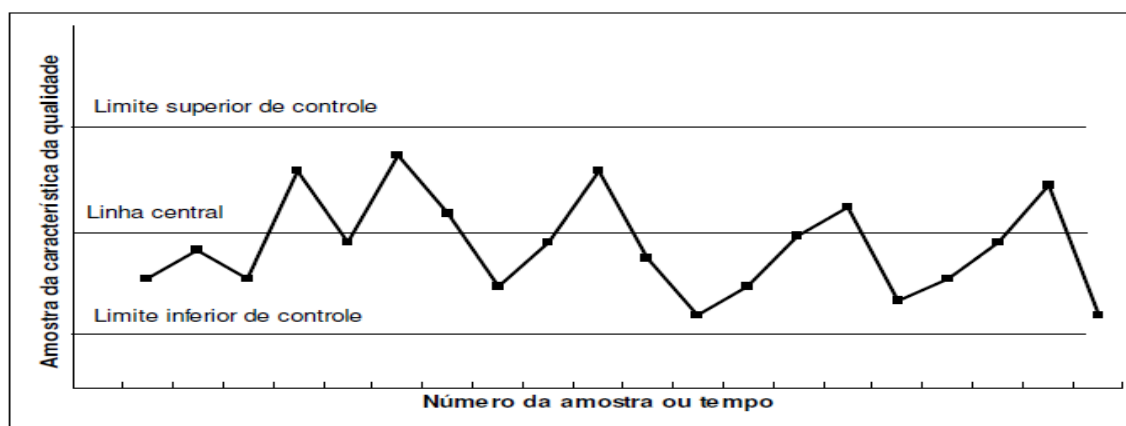
Como o gráfico de controle foi a primeira ferramenta do CEP a ser desenvolvida, merece um certo destaque em relação às outras ferramentas. A ferramenta do CEP que tem maior poder é o gráfico de controle. (MONTGOMERY e RUNGER, 2009).

O gráfico de controle permite que se obtenha a diferença entre tipos de causa de variação, ou seja, são capazes de informar se o processo está sob controle estatístico. (WERKEMA, 2006).

Para Juran *et al.* (1979) *apud* Reis (2001) os gráficos de controle são comparações de forma gráfica do comportamento de um determinado processo, sendo plotados um limite inferior de especificação e um limite superior de especificação, e os pontos devem estar distribuídos de acordo com padrões aleatórios. Nestas condições, o processo deve ser considerado sob controle estatístico. Porém, se estiverem pontos fora dos limites de especificação ou não existirem padrões aleatórios, há motivo para questionar se o processo está fora de controle estatístico. A plotagem dos dados para a elaboração do gráfico de controle deve ser feita de acordo com o número da amostra, para identificar quais as variações, de acordo com o tempo.

Os gráficos de controle são compostos por dois eixos cartesianos, onde o eixo das ordenadas representa a amostra da característica da qualidade e o eixo das abscissas representa o número da amostra ou unidade de tempo, por uma linha central que representa o valor médio da característica da qualidade e por duas linhas horizontais que representam os limites inferior e superior de controle. (NAZÁRIO, 2008, p. 34).

Figura 01 – Gráfico de Controle



Fonte: Montgomery (2004)

Existem diferentes tipos de gráficos de controle. Eles são classificados conforme avaliação dos característicos da qualidade. Montgomery (2004) classifica os gráficos de controle em dois tipos principais: Gráficos de controle para variáveis e gráfico de controle para atributos.

Os gráficos de controle para variáveis são:

- Gráfico X (Gráfico da Média): neste tipo de gráfico o valor médio da característica da qualidade é controlado pelas médias da característica em estudo, através da forma como ela é plotada. A característica da qualidade deve seguir uma distribuição normal.
- Gráfico R (Gráfico da Amplitude): neste tipo de gráfico é plotado a diferença entre o maior valor e o menor da característica da qualidade de cada amostra, ou seja, a amplitude da amostra, de forma a monitorar a variabilidade da característica da qualidade. O gráfico R deve ser estudado juntamente com o gráfico X para que seja possível um acompanhamento mais preciso da característica estudada.
- Gráfico S (Gráfico de Desvio de Padrão): neste tipo de gráfico são plotados os desvios padrões da característica da qualidade de forma a obter o controle da variabilidade da característica da qualidade. Tem o mesmo objetivo do gráfico R (amplitude).

Os gráficos de controle para atributos (conforme e não-conforme) são:

- Gráfico np: neste gráfico deve-se plotar o número de itens não-conformes e não a fração não-conforme. Para este gráfico Costa, Eugenio e Carpinetti (2005) dizem que a distribuição dos dados é binomial, considerando que a não-conformidade seja eventos comuns.
- Gráfico p: neste gráfico deve-se plotar a fração de itens não-conformes da amostra (divisão entre o número de itens não-conformes pelo número total da amostra). Segue a mesma distribuição do gráfico np.
- Gráfico c: neste tipo de gráfico é plotada a quantidade de não-conformidades da amostra. A distribuição dos dados segue a distribuição de Poisson, sendo

que a não-conformidade é vista como um evento raro, descreve Costa, Eugenio e Carpinetti (2005).

- Gráfico u: neste gráfico é plotado o valor da divisão entre a quantidade de não-conformidade e a quantidade de unidades que foram inspecionadas. Os dados seguem a mesma distribuição que os dados a serem plotados no gráfico c.

Montgomery (2004) descreve que a desvantagem da utilização dos gráficos de controle de Shewhart é que eles ignoram informações do restante da sequência dos pontos, ou seja, utilizam apenas informações do último ponto que foi plotado no gráfico. Há alternativas aos gráficos de Shewhart: Gráfico CUSUM e Gráfico EWMA (RYAN, 2009). As descrições acerca dos outros tipos de gráficos de controle estão relacionadas abaixo:

- Gráfico EWMA (Média Móvel Exponencialmente Ponderada): Denominados gráficos da média móvel exponencialmente ponderada, além da característica de monitoramento do processo, este tipo de gráfico pode prever onde pode estar a média do processo em estudo no próximo intervalo de tempo. (MONTGOMERY, 2004).
- Gráfico CUSUM (Soma Cumulativa): Nos gráficos denominados de controle de somas cumulativas deve ser plotada a soma dos desvios das médias de forma cumulativa. Essa soma refere-se à característica da qualidade que está sendo estudada. Como se trata de soma cumulativa, pequenos desvios podem ser consideráveis ao longo do processo. (MONTGOMERY, 2004).

2.4.1.2 Outras Ferramentas da Qualidade

Montgomery e Runger (2003) afirmam que o controle estatístico da qualidade é como um conjunto de ferramentas da qualidade para a resolução de problemas.

Assim, as ferramentas são capazes de apoiar e auxiliar na tomada de decisões para a resolução de um problema ou melhoramento de situações. Essas ferramentas foram desenvolvidas com o objetivo de ajudar no controle e resoluções de problemas relacionados à qualidade.

Corrêa e Corrêa (2008) citando Ishikawa destaca a importância dessas ferramentas ao afirmar que problemas que estão relacionados com a qualidade, sendo cerca de noventa e cinco por cento, podem ser resolvidos através delas.

2.4.1.2.1 Diagrama de Pareto

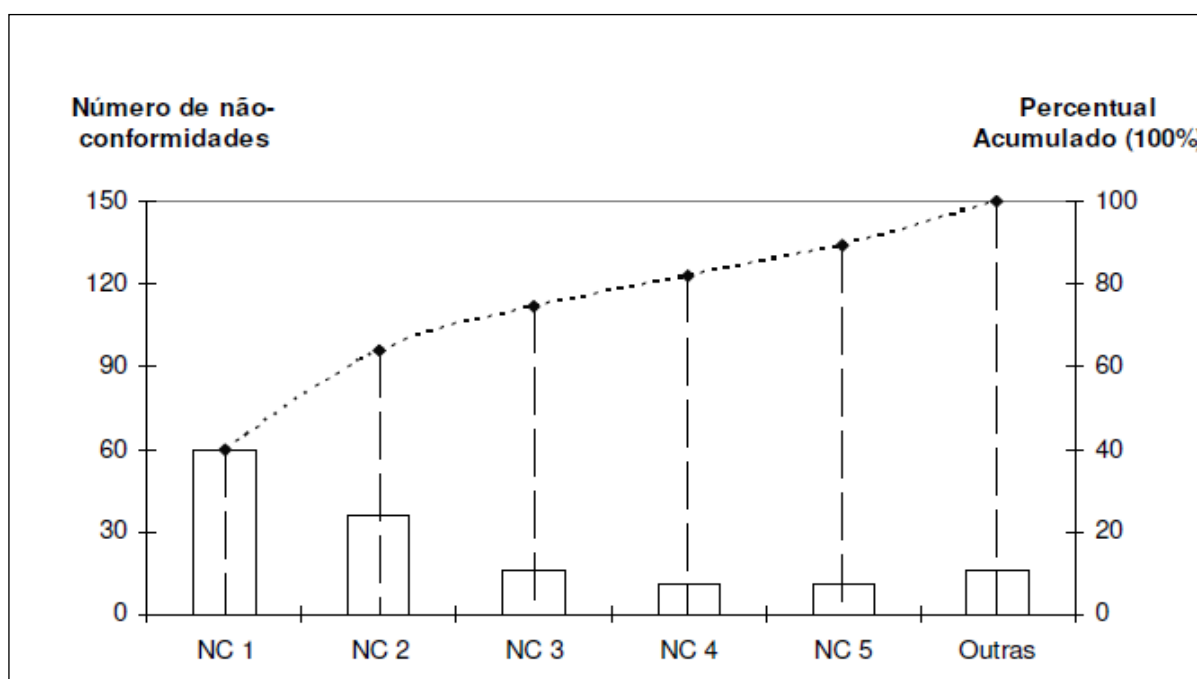
Segundo Rotondaro (2010), o Diagrama de Pareto é uma descrição, na forma de gráfico, demonstrando que os esforços devem ser concentrados onde se tem maior oportunidade de melhoria.

É um gráfico de barras verticais, que apresenta as seguintes características:

- As diversas classes de causas devem ser dispostas na horizontal;
- A frequência de ocorrência de cada causa deve ser disposta na vertical e de maneira decrescente;
- À direita das colunas deve ser traçada uma curva da porcentagem das ocorrências de forma acumulada.

Abaixo segue um exemplo do Diagrama de Pareto.

Figura 02 – Diagrama de Pareto



Fonte: Marshall Junior *et al.* (2006)

2.4.1.2.2 Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito, ou Espinha de Peixe, é também conhecido como diagrama de Ishikawa, sendo ele o criador, no ano de 1943.

De acordo com Paladini (1997), para a análise das causas potenciais do efeito indesejável, é necessário que se tenha identificado primeiramente o problema, e colocar esse efeito do lado direito do diagrama.

Conforme Montgomery (2004), alguns passos são importantes para a elaboração de um Diagrama de Causa e Efeito:

Quadro 01 – Como construir um Diagrama de Causa e Efeito

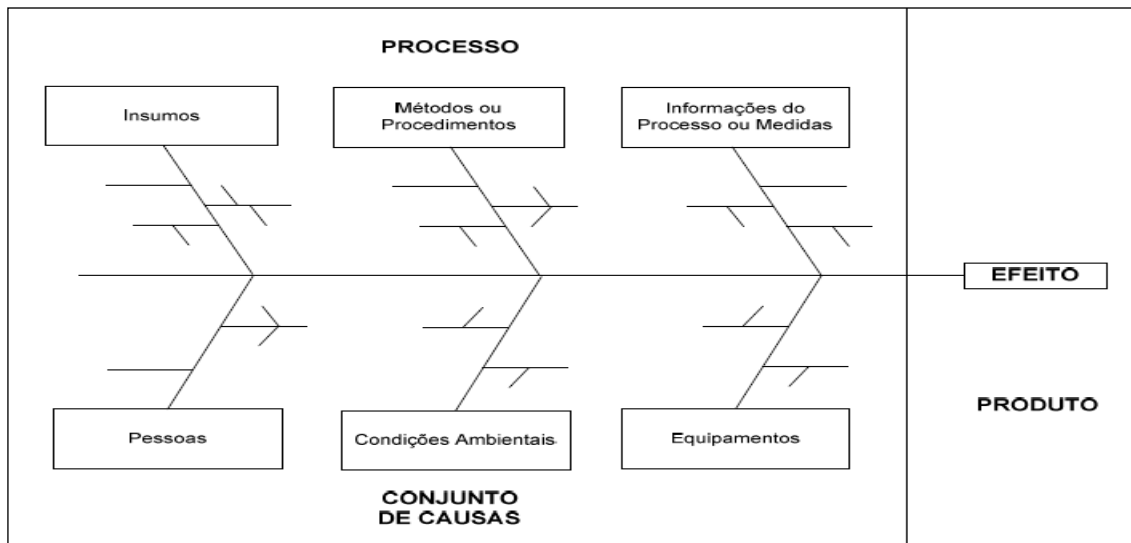
Como construir um Diagrama de Causa e Efeito

1. Defina o problema ou efeito a ser analisado;
2. Forme a equipe para realizar a análise. Em geral, essa equipe descobrirá causas potenciais sem sessões *brainstorming*;
3. Desenhe a caixa de efeito e a linha central;
4. Especifique as principais categorias de causas potenciais e coloque-as em caixas, ligadas à linha central;
5. Identifique as causas possíveis e classifique-as nas categorias do passo anterior. Crie novas categorias se necessário;
6. Ordene as causas para identificar aquelas que parecem mais prováveis de causar impacto sobre o problema;
7. Adote ações corretivas

Fonte: Montgomery (2004)

Na figura a seguir é possível visualizar o formato do Diagrama e seus componentes:

Figura 03 – Diagrama de Causa e Efeito



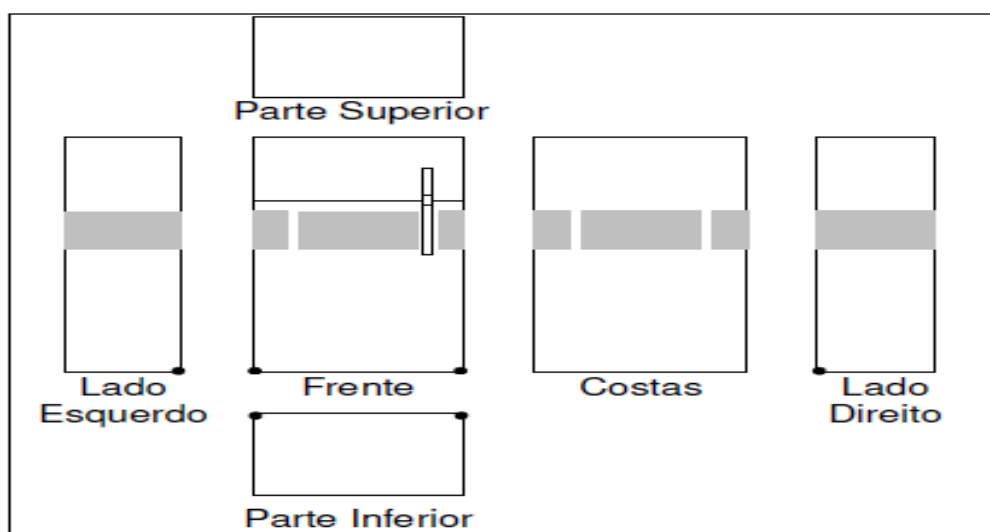
Fonte: Werkema (1995)

2.4.1.2.3 Diagrama de Concentração de Defeito

Montgomery (2004, p.111) define o Diagrama de Concentração de Defeito como uma “figura da unidade mostrando todas as vistas relevantes. Este diagrama é analisado para determinar se a localização dos defeitos na unidade fornece alguma informação útil sobre as causas potenciais dos defeitos”.

A figura a seguir representa um diagrama de concentração de defeito:

Figura 04 – Diagrama de Concentração de Defeito



Fonte: Montgomery (2004)

2.4.1.2.4 Diagrama de Dispersão

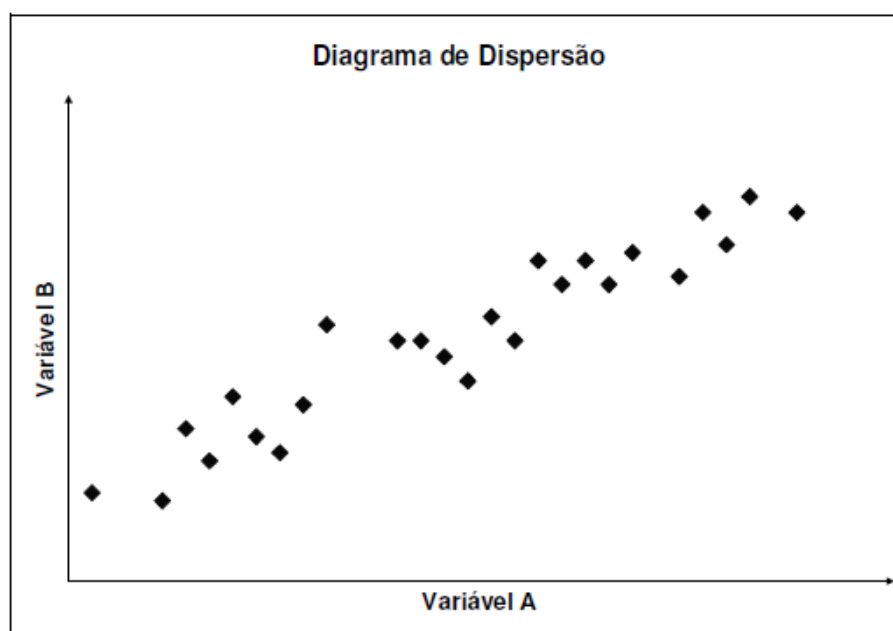
O diagrama de dispersão é utilizado para identificar a relação existente entre duas variáveis que podem estar correlacionadas. Paladini (1997, p.74) relata que os diagramas de dispersão são resultantes de:

[...] simplificações efetuadas em procedimentos estatísticos usuais e são usuais e são modelos que permitem rápido relacionamento entre causas e efeitos. O diagrama cruza informações de dois elementos para os quais se estuda a existência (ou não) de uma relação. (PALADINI, 1997, p.74).

Ainda segundo Paladini (1997), para a elaboração de um diagrama de dispersão os dados coletados devem estar ordenados de dois a dois.

A figura abaixo retrata o esquema do diagrama de dispersão:

Figura 05 – Diagrama de Dispersão



Fonte: Davis, Aquilano e Chase (2001)

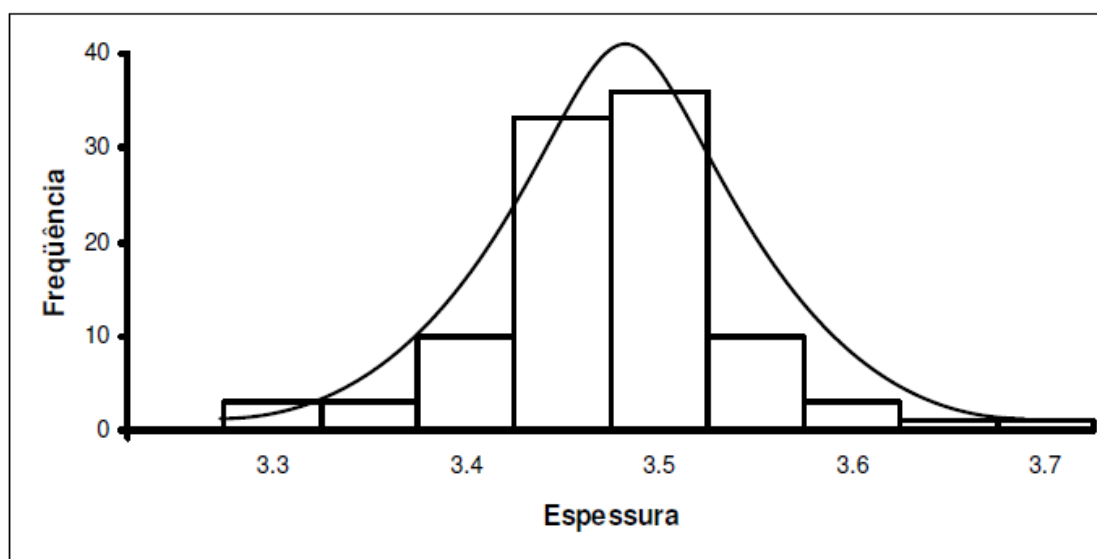
2.4.1.2.5 Histogramas

Para Rotondaro (2010) o histograma é uma forma quantitativa de descrever os dados graficamente, sendo esses dados agrupados de acordo com a frequência das classes.

Histograma é um “gráfico formado por retângulos contíguos com base nas faixas de valores da variável em estudo, e com altura definida pela frequência de ocorrência dos dados no intervalo definido pela base do retângulo”. (ROTONDARO, 2010, p. 146).

Uma forma genérica do histograma é mostrada na figura abaixo:

Figura 06 – Histograma



Fonte: Brassard (2000)

2.4.1.2.6 Gráfico ramo-e-folhas

O gráfico ramo-e-folhas é uma representação gráfica dos dados através de um ramo e de várias folhas.

Para construir um gráfico deste tipo, considerando que os dados sejam representados por $n_1, n_2, n_3, \dots, n_x$, e que cada número contenha no mínimo dois dígitos, deve-se dividir o número em duas partes: um ramo e uma folha. O ramo é formado pelos dígitos iniciais, e a folha é formada pelos dígitos restantes. (MONTGOMERY, 2004).

A figura a seguir demonstra um exemplo do gráfico ramo-e-folhas.

Figura 07 – Gráfico ramo-e-folhas

Ramo	Folha	Frequência
1	1 2 3 4 5	5
2	1 2 3 4 5 6	6
3	6 6 3 4	4
4	1 6 9 8 4 6 5	7
5	2 3	2

Fonte: Próprio autor (2012)

2.4.1.2.7 Folhas de verificação

Werkema (2006) relata que a folha de verificação é uma ferramenta que tem o objetivo de organizar e melhorar a forma de coleta e de registro dos dados, para que se aperfeiçoe a operação de análise posterior desses dados.

Para a elaboração de uma folha de verificação ou folha de controle deve-se levar em consideração a natureza dos dados que serão coletados, a data da operação e número, qual o responsável por ela e outras informações que forem julgadas necessárias.

A próxima figura apresenta um exemplo de Folha de Verificação.

Figura 08 – Folha de Verificação

PROBLEMA	MÊS			TOTAL
	1	2	3	
A	II	II	I	5
B	I	I	I	3
C	HHH	II	HHH	12
TOTAL	8	5	7	20

Fonte: Brassard (2000).

2.4.2 Capacidade do Processo

“A capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade.”
(MONTGOMERY, 2004, p. 220).

A variabilidade do processo é a medida dessa uniformidade.

Medir a capacidade de um processo é analisar a performance dele durante seu estado de controle.

As principais técnicas para o cálculo da análise de capacidade do processo são descritas a seguir, define (MONTGOMERY, 2004).

Uma das formas mais usuais é através do histograma. Com ele pode-se ter uma visão rápida da forma como o processo está desempenhando. Com o histograma avalia-se o tipo de distribuição da característica da qualidade, comparando com os níveis de especificações exigidos.

Uma segunda maneira seria o cálculo dos índices de capacidade. Os mais usuais são o C_p e o C_{pk} . O C_p pode ser definido pela fórmula:

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

Onde:

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

σ = desvio padrão

Já o C_{pk} é obtido pela escolha do menor valor das seguintes equações a seguir:

$$\frac{C_{ps} = LSE - \mu}{3\sigma} \text{ (somente para especificação superior) (equação 2)}$$

Onde:

LSE = limite superior de especificação

μ = média

σ = desvio

$$\frac{C_{pi} = \mu - LIE}{3\sigma} \text{ (somente para especificação inferior) (equação 3)}$$

LIE = limite inferior de especificação

μ = média

σ = desvio padrão

“Uma terceira maneira, especialmente aplicável quando a avaliação é feita por atributos, consiste simplesmente em comparar o valor médio do característico com um valor limite, geralmente superior (um percentual máximo de itens defeituosos)”. (REIS, 2001, p.61).

Montgomery (2004) relata que a avaliação da capacidade de um processo é relativamente significativa para a existência de roteiro para a melhoria da qualidade. Com isso as utilizações mais importantes dos dados dessas análises são:

1. Antecipar uma ideia do nível de tolerância do processo
2. Ajudar os trabalhadores responsáveis pelo planejamento na escolha ou alteração do processo
3. Favorecer o estabelecimento de espaço entre amostras, afim de monitorar o processo
4. Estabelecer índices para um aparelho/equipamento desempenhar
5. Optar entre os fornecedores concorrentes
6. Estabelecer ordem do processo de produção, quando esse interferir nas tolerâncias
7. Minimizar as variações na fabricação de produtos

2.4.2.1 Implementação do CEP

As técnicas do controle estatístico da qualidade, se implementadas de maneira correta, podem contribuir e muito para o sucesso de uma organização.

Segundo Montgomery e Runger (2009, p. 426) “o envolvimento gerencial e compromisso com o processo de melhoria da qualidade são os componentes mais vitais do sucesso potencial do controle estatístico do processo”.

A gerência é um fator do CEP bem sucedido. Assim como ela, outros fatores também se configuram em importantes agentes desse processo, como por exemplo, o modo de trabalho em equipe, o nível de informação dos funcionários de forma

holística, foco na minimização da variabilidade do processo, análise da eficácia do CEP a nível econômico e procedimento para divulgação dos resultados satisfatórios que a empresa pode ter. (MONTGOMERY, 2004).

Montgomery e Runger (2009) ainda descrevem que para a implementação do controle estatístico da qualidade tenha êxito, W. Edwards Deming elaborou 14 pontos que norteiam a execução dessa técnica, sendo os seguintes:

1. Crie uma constância de finalidade focada na melhoria de produtos e serviços.
É necessário o investimento em pesquisas e projetos inovadores para a melhoria contínua do produto ou serviço.
2. Adote uma nova filosofia de rejeitar acabamento pobre, produtos defeituosos ou serviços ruins.
É preciso buscar metodologias que abandonem a possibilidade da existência de retrabalho.
3. Não confie na inspeção em massa para “controlar” a qualidade.
A qualidade deve ser tratada de forma preventiva, a fim de eliminar defeitos ou erros que os produtos podem vir a apresentar. Inspeccionar é apenas uma forma de detectar os problemas e não de preveni-los.
4. Não faça negócios com os fornecedores, com base somente no preço, mas também considere a qualidade.
A consideração do produto envolve o preço e a qualidade deste, sendo assim, o seu custo total dependente desses dois aspectos.
5. Foque na melhoria contínua.
O aperfeiçoamento do sistema e do serviço deve ser visado de maneira constante.
6. Pratique os métodos modernos de treinamento e invista no treinamento de todos os empregados.
O treinamento com métodos modernos, além de permitir que os funcionários apropriem de suas técnicas de trabalho, encoraja estes a praticá-los dia a dia.
7. Pratique métodos modernos de supervisão.
A supervisão tem por finalidade melhorar cada vez mais o serviço e o produto.
8. Expulse o medo.

A gerência é encarregada de deixar seus funcionários à vontade para, frequentemente, tirarem dúvidas, resolver problemas e até sugerir ideias que visem à melhoria do trabalho.

9. Quebre as barreiras entre as áreas funcionais do negócio.
Todos os setores da organização devem trabalhar em conjunto, para que haja produtividade.
10. Elimine alvos, lemas (*slogans*) e objetivos numéricos para a força de trabalho.
Além do alvo é preciso ter um plano de ação para que se alcance o objetivo desejado.
11. Elimine cotas numéricas e padrões de trabalho.
Modelos de trabalho e números não são as melhores opções para que a gerência execute um bom trabalho. Eles evidenciam a incapacidade do gestor em melhorar o processo.
12. Remova as barreiras que desencorajam empregados de fazer os seus trabalhos.
O trabalhador deve ser um participante ativo no planejamento e execução do processo produtivo.
13. Institua um programa continuado de treinamento e de educação para todos os empregados.
A educação deve estar difundida entre todos os empregados. Esses devem conhecer das ferramentas básicas do controle estatístico da qualidade para que possam intervir nas causas da falta de qualidade e a propor medidas de melhoria.
14. Crie uma estrutura na gerência que defenderá vigorosamente os 13 primeiros pontos.

A empresa deve ter responsáveis para desenvolver o planejamento e supervisionar a execução desses 13 passos.

2.4.3 Análise de Variância

Segundo Werkema (1996) decidir se exemplos de fatores como operadores, matérias primas e turnos diferentes apresentam considerável distinção entre si, é um

dos problemas mais frequentes durante a averiguação estatística no controle dos processos. Uma das técnicas mais utilizadas para esse tipo de procedimento é a Análise de Variância.

Para Costa (2003), a Análise de Variância ou ANAVA, é uma forma de analisar os dados, tendo como objetivo a decomposição da variação total das parcelas em causas, referente a diferentes tipos de efeitos.

Segundo Fisher (1935) *apud* Costa (2003) há três conceitos em que os delineamentos experimentais são baseados, sendo: repetição (um mesmo tratamento deve ser aplicado em várias parcelas, ou seja, a repetição seria esse número), casualização (distribuição dos tratamentos de forma que a probabilidade das parcelas receberem um mesmo tratamento seja igual) e controle local (idéia de divisão das parcelas em blocos mais semelhantes possíveis). As parcelas são as unidades experimentais e os tratamentos são os métodos em estudo.

Abaixo segue modelo da tabela da análise de variância:

Tabela 1 – Análise de Variância

Análise de Variância para um Experimento de um Fator				
Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F_0
Tratamentos	$SQ_{tratamentos}$	$a-1$	$MQ_{tratamentos}$	$\frac{MQ_{tratamentos}}{MQE}$
Erro	SQE	$a(n-1)$	MQE	
Total	SQ_T	$an-1$		

Fonte: Montgomery (2004)

Onde:

$SQ_{tratamentos}$ = Soma dos quadrados dos tratamentos

SQE = Soma dos quadrados dos erros

SQ_T = Soma de quadrados total

$MQ_{tratamentos}$ = Média quadrática dos tratamentos

MQE = Média quadrática dos erros

a = número de tratamentos

n = número de replicações dentro de cada tratamento

A seguir são explicitados os três modelos de experimentos mais simples onde se utiliza a análise de variância.

2.4.3.1 Delineamento inteiramente casualizado

De acordo com Silva (2007, p. 4), para esse tipo específico de delineamento “é necessário a completa homogeneidade das condições ambientais e do material experimental, sendo os tratamentos distribuídos nas parcelas de forma inteiramente casual (aleatória).”

Costa (2003) define que este tipo de delineamento é mais utilizado em experimentos laboratoriais, e em bandejas e vasos em casa de vegetação.

A expressão do modelo estatístico para o delineamento inteiramente casualizado é, de acordo com Silva (2007):

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \text{ (equação 4)}$$

Onde:

y_{ij} : é o valor observado na parcela experimental que recebeu o i -ésimo tratamento na j -ésima repetição ($j = 1, \dots, r$);

μ : representa uma constante geral associada a esta variável aleatória

α_i : é o efeito do tratamento i ($i=1,2,\dots,t$);

e_{ij} : é o erro experimental associado a observação y_{ij} , suposto ter distribuição normal com média zero e variância comum.

2.4.3.2 Delineamento em blocos casualizados

De acordo com Gomes e Garcia (2002), O delineamento em blocos casualizados, ou em blocos ao acaso, é utilizado sempre que é verificada a falta de homogeneidade entre as parcelas do experimento.

Costa (2003) relata que neste tipo de experimento a quantidade de tratamentos deve ser igual à quantidade de parcelas em cada bloco, e possuem os três conceitos básicos da experimentação, os quais já foram mencionados anteriormente. Sua utilização é mais presente em condições de campo.

A expressão do modelo estatístico para o delineamento em blocos casualizados é, de acordo com Silva (2007):

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij} \text{ (equação 5)}$$

Onde:

y_{ij} : é o valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento i no bloco

j ;

μ : representa uma constante geral associada a esta variável aleatória;

α_i : é o efeito do tratamento i ($i=1,2,\dots,t$);

β_j : é o efeito do bloco j ($j=1, 2,\dots,b$);

e_{ij} : é o erro experimental.

2.4.3.3 Ensaios fatoriais

Yates (1937) *apud* Gomes e Garcia (2002), p. 117, define ensaios fatoriais: “Experimentos fatoriais são aqueles que incluem todas as combinações de vários conjuntos de tratamentos ou fatores.”

Já Costa (2003) define este na situação em que o estudioso realiza a avaliação de dois ou mais tratamentos e deseja a averiguar se os tratamentos interagem entre si.

Costa (2003, p.66) ainda ressalta uma importante vantagem dos ensaios fatoriais é que este “permite estudar os efeitos principais dos fatores e os efeitos das interações entre eles.”

A expressão do modelo estatístico para os ensaios fatoriais é, de acordo com Silva (2007):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + e_{ijk} \text{ (equação 6)}$$

Onde:

y_{ijk} : é o valor observado na parcela experimental que recebeu o nível i do fator α e o nível j do fator τ na repetição k ;

μ : representa uma constante geral;

α_i : é o efeito do nível i do fator α ($i=1,2,\dots,a$) ;

τ_j : é o efeito do nível j do fator τ ($j=1, 2,\dots,\tau$) ;

$\alpha\tau_{ij}$: é o efeito da interação entre o nível i do fator α e o nível j do fator τ ;

e_{ijk} : é o erro experimental.

3 SOFTWARE R

O R é um *software* de livre distribuição, ou seja, sem custo de aquisição. Souza, Peternelli e Mello (2006) afirmam que o *software* foi criado em 1966 por Ross Ihaka e Robert Gentleman. Ele permite a manipulação de dados, realização de cálculos e geração de gráficos. O R permite também a manipulação de vetores e matrizes e a realização de operações matemáticas simples, além da elaboração de gráficos diversificados.

De acordo com R-PROJECT (2012) o *software* começou a ser desenvolvido no Departamento de Estatística da Universidade de Auckland em Nova Zelândia e passou a ser conhecido por “R & R”, devido ao nome de seus elaboradores, originando o nome R do programa.

Ainda segundo R-PROJECT (2012) a primeira distribuição do R foi em 1993, quando cópias foram disponibilizadas no StatLib, sendo este um sistema de distribuição de softwares estatísticos. O primeiro usuário deste programa Martin Mächler do ETH Zürich, que era do Instituto Federal de Tecnologia Zurique da Suíça, juntamente com “R & R”, em 1995, difundiram o código fonte do R, sob a autorização de Free Software Foundations GNU general license, sendo uma “licença para *softwares* livres”. Em 1997 foi formado um grupo de profissionais que têm acesso ao código fonte do R, possibilitando assim a atualização mais rápida do *software*. Um dos fatores para o aumento da transmissão do R é a sua capacidade de ser compatível com quase todos os sistemas operacionais.

De acordo com Peternelli e Mello (2007), o *software* estatístico R pode ser obtido através do site www.r-project.org, podendo ser encontrado nos sistemas operacionais Windows, UNIX e Macintosh. Diferentes profissionais do mundo todo podem estar incluindo recursos para o aprimoramento desse *software*.

As funções que o *software* disponibiliza ficam disponíveis no diretório R_HOME/library (R_HOME é o diretório onde foi instalado o R). No diretório existem “pacotes de funções”, que são os pacotes principais do R. Porém há muitos outros que estão no CRAN (Comprehensive R Archive Network). O chamado pacote BASE é como se fosse o núcleo do R, pois contém funções básicas. Cada pacote tem seu próprio diretório. Por exemplo, para o pacote BASE o caminho é o seguinte: R_HOME/library/base/R/base, onde se encontra tudo sobre esse pacote e as

funções que ele possui. Existem pacotes que podem ser carregados, através do comando `library(nome_do_pacote)`, que pode ser digitado na linha de comando do *software*. Através da comando `search()` é possível saber quais os pacotes carregados do software R. (SOUZA; PETERNELLI; MELLO, 2006).

Como o trabalho visa a elaboração de uma rotina para o controle estatístico do processo através do *software* R, não serão detalhadas as funções do *software*.

4 SOFTWARE MINITAB

De acordo com o site Líder Softwares (2012) O Minitab foi desenvolvido por Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr., e Brian L. Joiner, do corpo docente da Universidade Penn State. A sua primeira versão foi o *Minitab Statistical Software*, sendo este mostrado em um encontro da *American Statistical Association* (Associação Americana de Estatística) no ano de 1972. Através do Minitab era possível a execução de cálculos estatísticos. As primeiras distribuições do *software* foram feitas caixas de cartões perfurados.

No ano de 2010 foi lançada a mais nova versão do software: o Minitab 16 com funcionalidades e características novas. A versão se encontra disponível em diversas línguas como inglês, espanhol, alemão, francês, japonês, chinês simplificado, e coreano.

Em 2012 o Minitab completa 40 anos, sendo assunto da Conferência Mundial da *American Society for Quality* (Sociedade Americana para Qualidade) na Califórnia.

Cymrot, Manin e Lara (2006) comentam que o Minitab é usado por mais de 4000 instituições de ensino de todo o mundo e é referenciado por cerca de 450 livros texto. O *software* é utilizado em 80 países e em diversas empresas de destaque no Brasil.

Campos (2003) descreve que o Minitab é capaz de fornecer ferramentas da qualidade como gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, além da análise da capacidade do processo.

5 METODOLOGIA

A metodologia apresentada neste trabalho consiste em apresentar o tipo de pesquisa, o objeto de estudo, a forma da coleta de dados e a forma de interpretação dos dados.

5.1 Tipo de pesquisa

De acordo com Gil (2009), a pesquisa é definida como sendo um procedimento que objetiva responder as propostas problemas.

A pesquisa do presente trabalho pode ser definida como descritiva. Tal tipo de pesquisa tem como objetivo estabelecer relação entre variáveis ou descrever de uma determinada população as características. (GIL, 2009).

5.2 Objeto de estudo

O objeto a ser estudado é o pacote QCC do software R, que significa *Quality Control Charts*, desenvolvido por Lucca Scrucca, do Departamento de Ciências Estatísticas da Universidade de Perúgia, Itália. Este pacote permite gerar gráficos de controle Shewhart para variáveis, discretas, contínuas e atributos. Constrói também gráficos CUSUM e EWMA. Além disto, curvas características de operação, e ferramentas da qualidade podem ser construídos. Auxilia também na Análise de Capacidade de Processos.

5.3 Coleta de dados

Os exemplos foram coletados do livro “Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade”, do autor Montgomery (2004), do conjunto de dados do pacote QCC do software R e outros exemplos foram elaborados pelo próprio autor.

5.4 Interpretação dos dados

A metodologia apresentada neste trabalho consiste em apresentar como trabalhar com o ambiente R algumas ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade.

Para a elaboração deste material utilizar-se-á a versão 2.15.1 do R e ambiente Windows.

Este trabalho apresenta todas as rotinas do pacote com os devidos comentários e a implementação de novas rotinas que permitira aos usuários do CEQ o desenvolvimento de seus trabalhos. Também foi feita uma comparação entre as ferramentas do R e as do Minitab versão 15, com o objetivo de comparar suas saídas, isto é, comparar os resultados. Para a comparação dos resultados, serão feitos exemplos envolvendo gráficos das ferramentas da qualidade, capacidade do processo e análise de variância.

A interpretação dos dados será feita através dos gráficos gerados pelos *softwares* R e Minitab.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas comparações das ferramentas da qualidade, capacidade do processo e análise de variância. Os gráficos foram confeccionados através do Minitab 15 e do R 2.15.1, estando respectivamente nesta ordem.

Ferramentas da Qualidade

Gráficos de Controle

Exemplo 01: Elaborar os gráficos de controle para a Média, Amplitude, Desvio Padrão, EWMA e CUSUM das medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis.

Tabela 2- Medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis (parte 1)

Nº amostra	X1	X2	X3	X4	X5
1	83	81,2	78,7	75,7	77
2	88,6	78,3	78,8	71	84,2
3	85,7	75,8	84,3	75,2	81
4	80,8	74,4	82,5	74,1	75,7
5	83,4	78,4	82,6	78,2	78,9
6	75,3	79,9	87,3	89,7	81,8
7	74,5	78	80,8	73,4	79,7
8	79,2	84,4	81,5	86	74,5
9	80,5	86,2	76,2	64,1	80,2
10	75,7	75,2	71,1	82,1	74,3
11	80	81,5	78,4	73,8	78,1
12	80,6	81,8	79,3	73,8	81,7
13	82,7	81,3	79,1	82	79,5
14	79,2	74,9	78,6	77,7	75,3
15	85,5	82,1	82,8	73,4	71,7
16	78,8	79,6	80,2	79,1	80,8

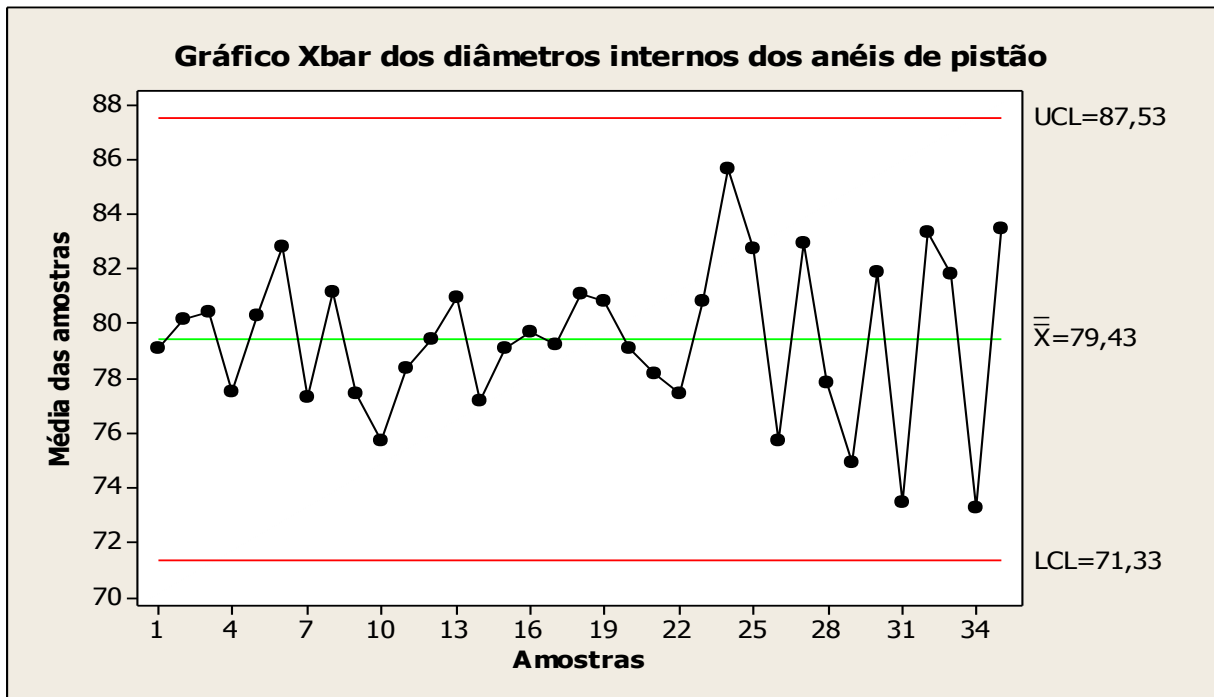
Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Tabela 2- Medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis (parte 2)

Nº amostra	X1	X2	X3	X4	X5
17	82,1	78,2	75,5	78,2	82,1
18	84,5	76,9	83,5	81,2	79,2
19	79	77,8	81,2	84,4	81,6
20	84,5	73,1	78,6	78,7	80,6
21	68,9	81,5	78,2	80,8	81,5
22	69,8	68,6	80,4	84,3	83,9
23	78,5	85,2	78,4	80,3	81,7
24	76,9	86,1	86,9	94,4	83,9
25	93,6	81,6	87,8	79,6	71
26	65,5	86,8	72,4	82,6	71,4
27	78,1	65,7	83,7	93,7	93,4
28	74,9	72,6	81,6	87,2	72,7
29	78,1	77,1	67	75,7	76,8
30	78,7	85,4	77,7	90,7	76,7
31	85	60,2	68,5	71,1	82,4
32	86,4	79,2	79,8	96	75,4
33	78,5	99	78,3	71,4	81,8
34	68,8	62	82	77,5	76,1
35	83	83,7	73,1	82,2	95,3

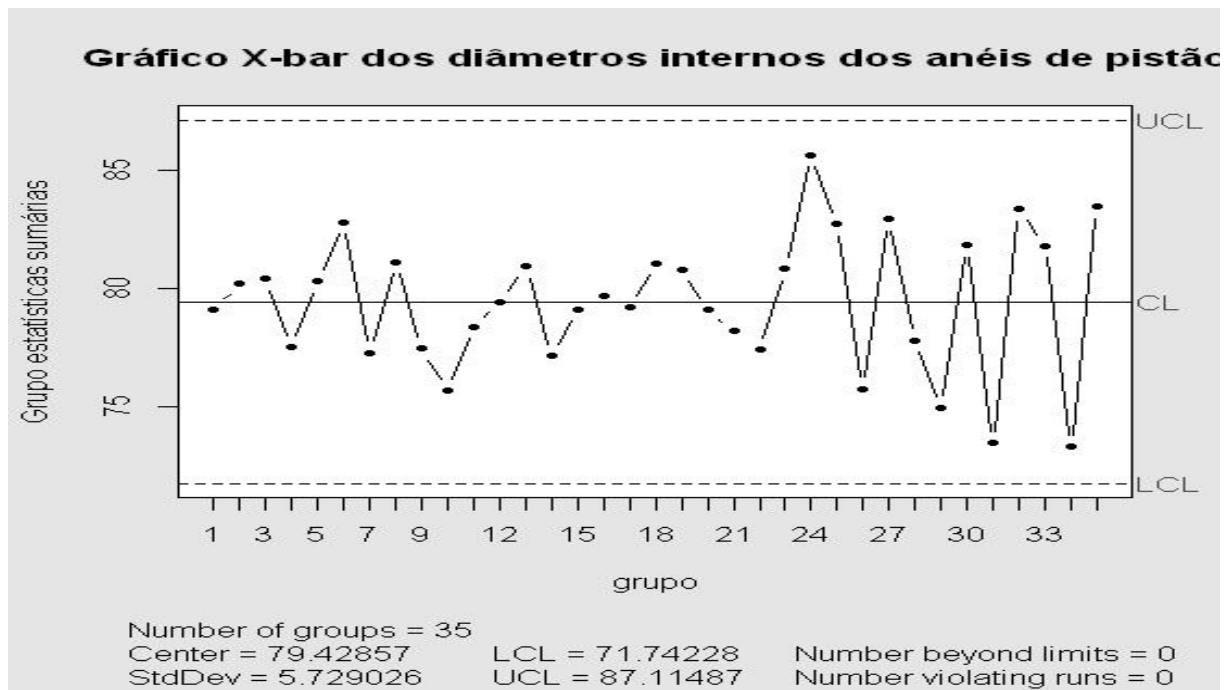
Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Gráfico 1 – Gráfico Xbar dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 2 – Gráfico Xbar dos diâmetros internos dos anéis de pistão

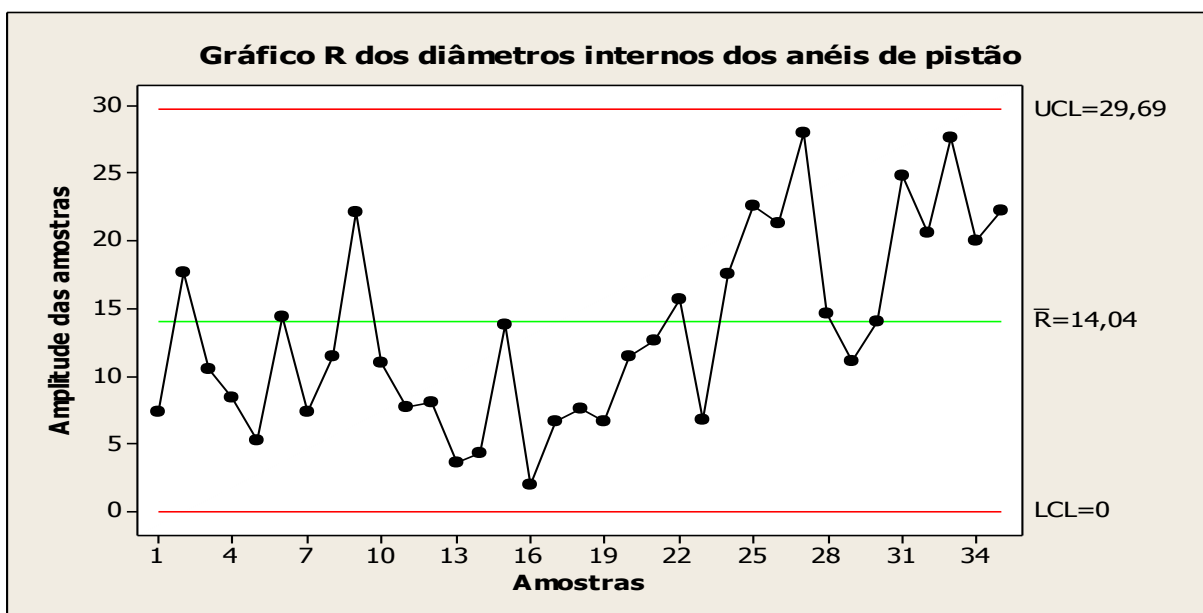


Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 1 mostra a carta de controle para a média realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 2 mostra a mesma carta realizada no *software* R.

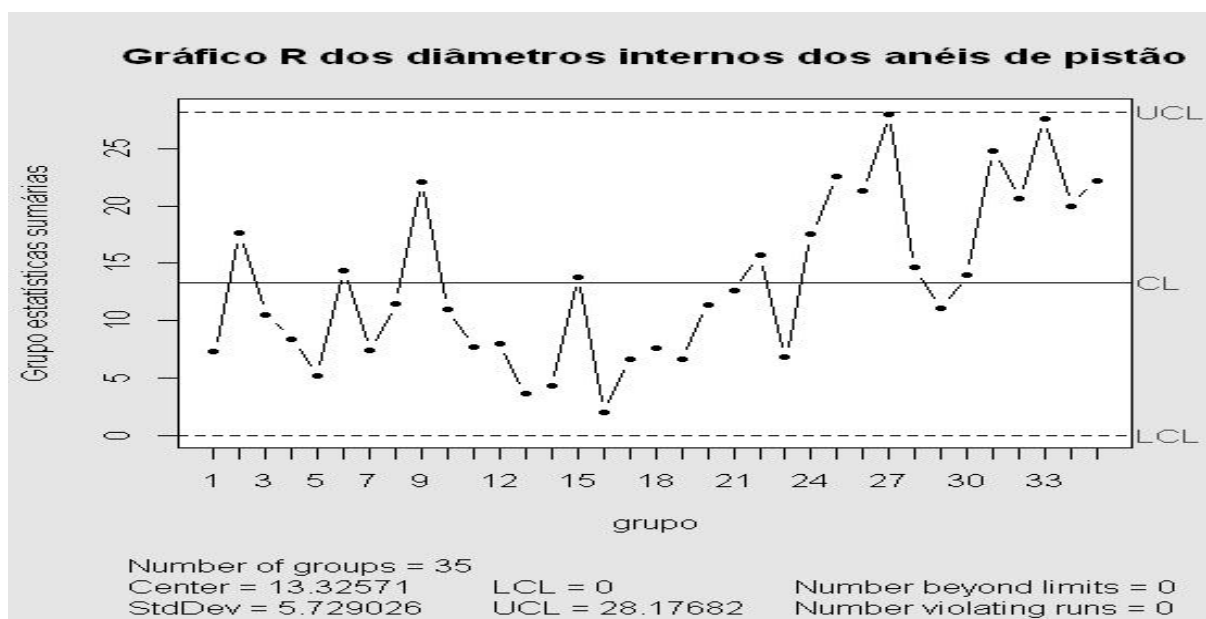
Observa-se que os gráficos de controle para a média da variável estudada apresentam uma configuração bem semelhante, divergindo apenas nos valores dos limites de especificação, o que ocorre devido à escala diferente. Tal diferença se dá também a arredondamentos decimais. Através dos gráficos nota-se que o processo está sob controle estatístico, pois nenhuma amostra se mostra fora dos limites de especificação.

Gráfico 3 – Gráfico R (Amplitude) dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

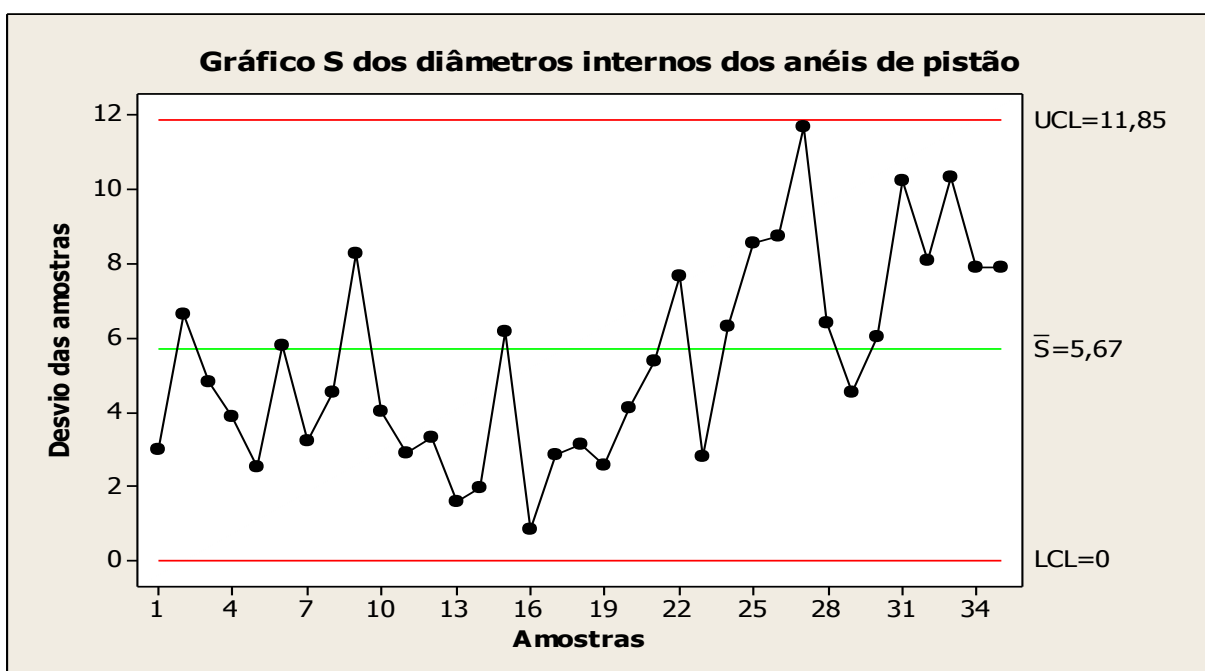
Gráfico 4 – Gráfico R (Amplitude) dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

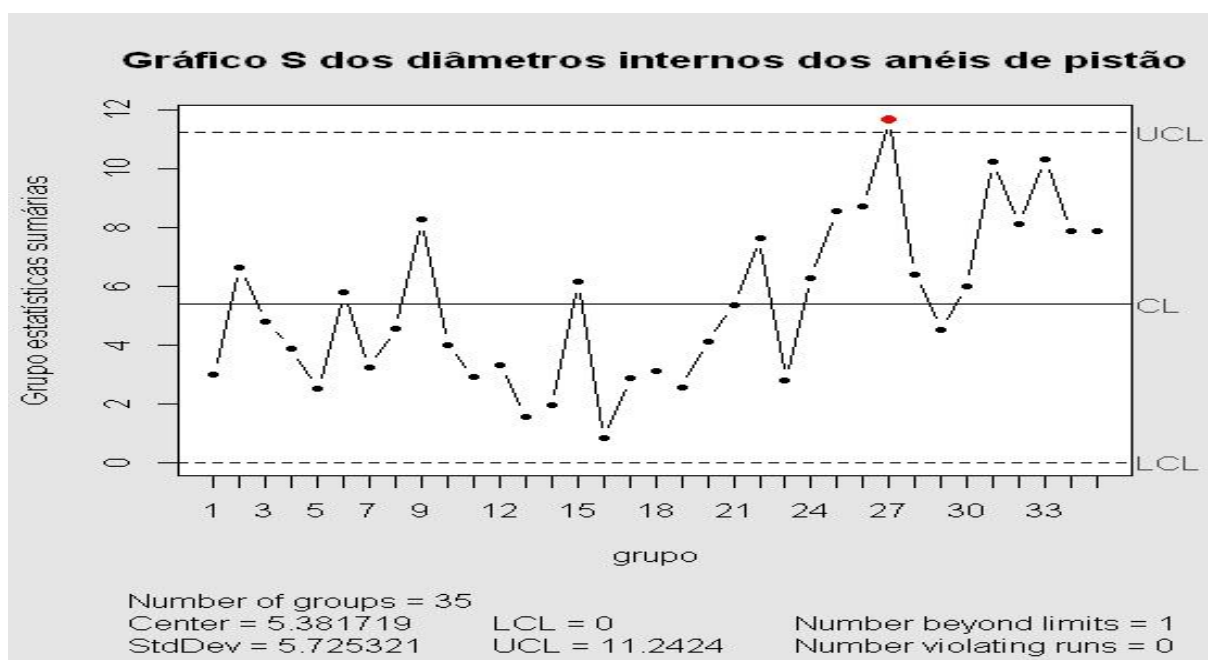
O gráfico 3 mostra a carta de controle para a amplitude realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 4 mostra a mesma carta realizada no *software* R. Percebe-se também uma configuração semelhante, do mesmo modo que para a média.

Gráfico 5 – Gráfico S (Desvio Padrão) dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

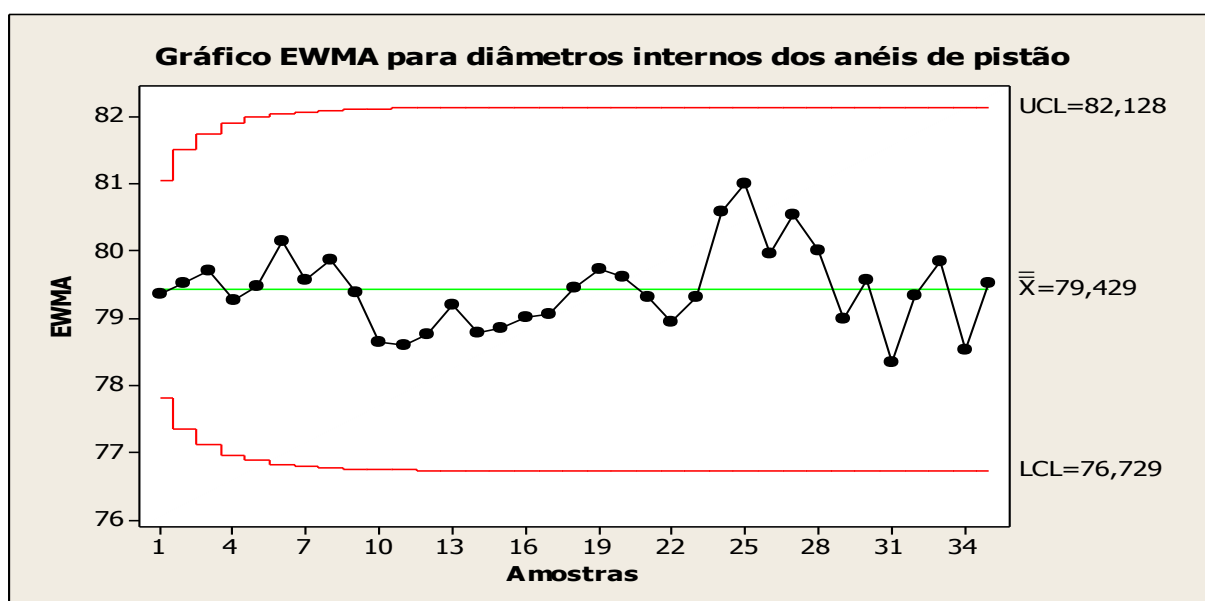
Gráfico 6 – Gráfico S (Desvio Padrão) dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

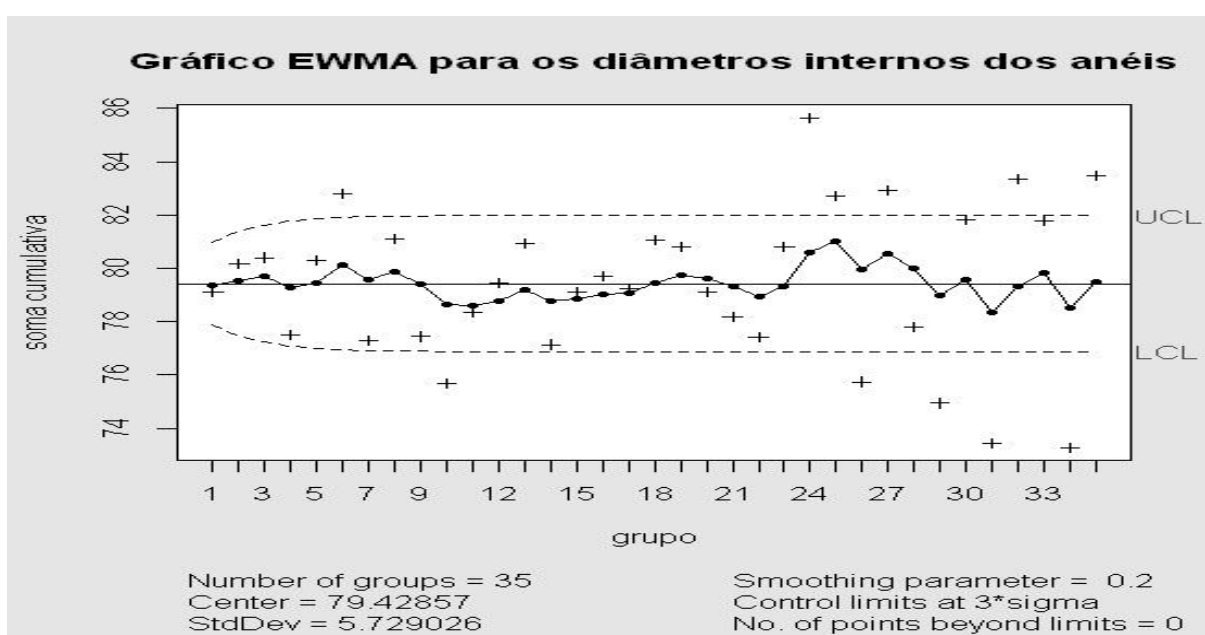
O gráfico 5 mostra a carta de controle para o desvio padrão realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 6 mostra a mesma carta realizada no *software* R. Pode-se notar as mesmas observações dos dois tipos de gráficos anteriores. Porém uma amostra se encontra fora dos limites de especificação, o que não justifica uma causa especial, e sim uma causa aleatória, podendo ser explicada pelos limites de especificação.

Gráfico 7 – Gráfico EWMA dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

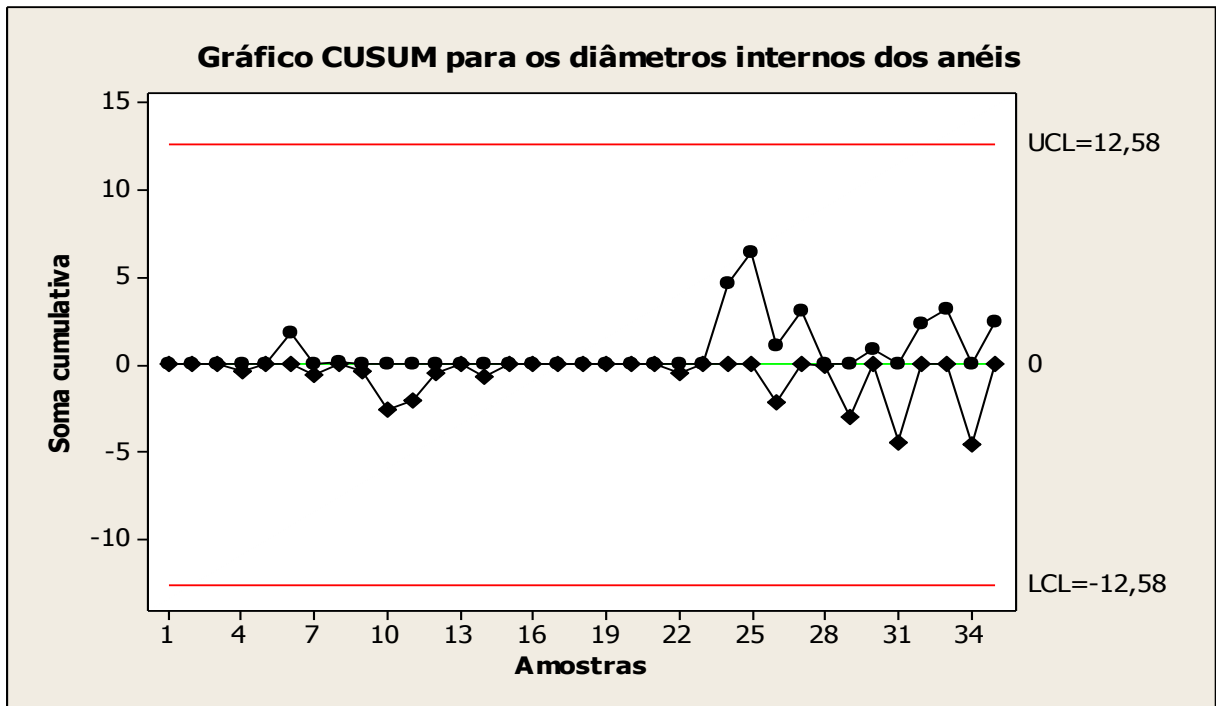
Gráfico 8 – Gráfico EWMA dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

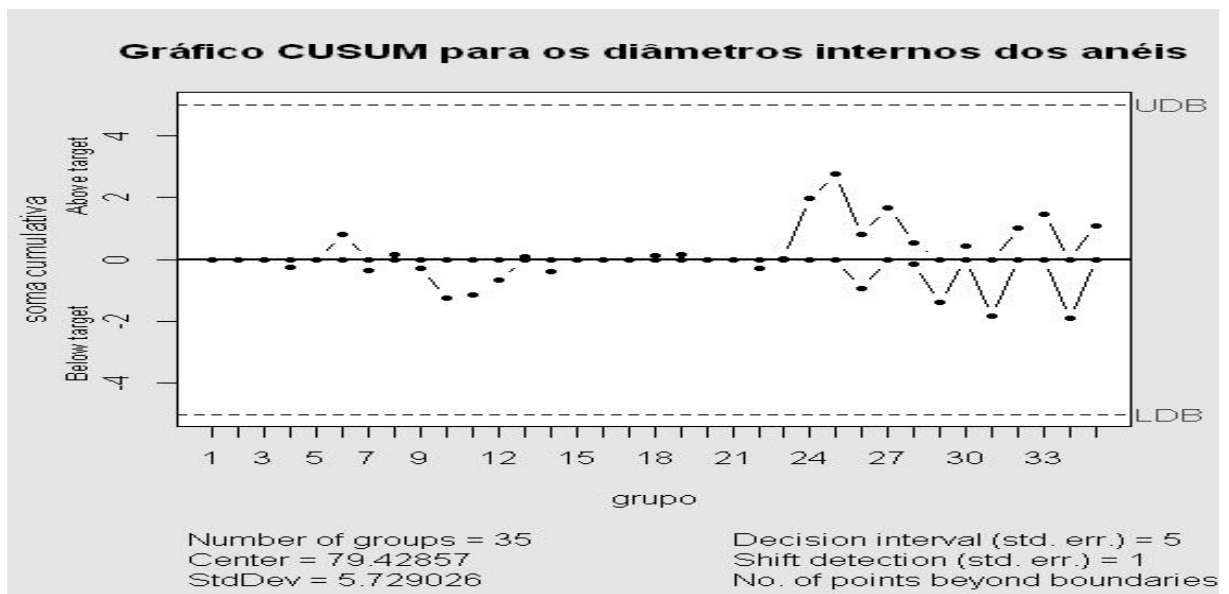
O gráfico 7 mostra a carta de controle para a média móvel exponencialmente ponderada realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 8 mostra a mesma carta realizada no *software* R. Nota-se que as performances dos dois são semelhantes e o processo está sob controle estatístico.

Gráfico 9 – Gráfico CUSUM dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 10 – Gráfico CUSUM dos diâmetros internos dos anéis de pistão



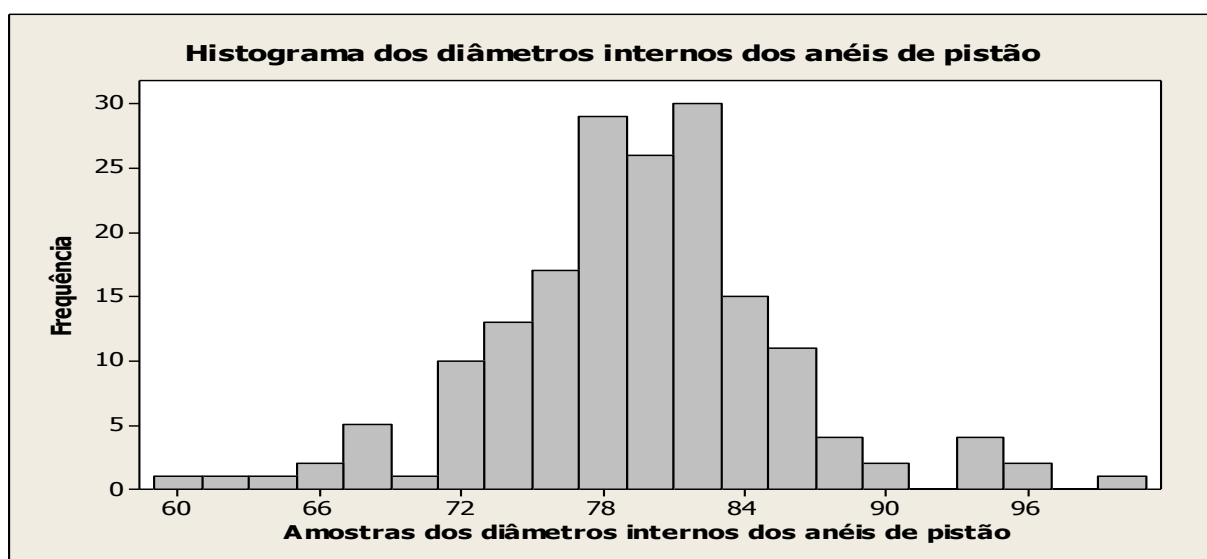
Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 9 mostra a carta de controle da soma cumulativa realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 10 mostra a mesma carta realizada no *software* R. Os gráficos apresentam consideráveis semelhanças, indicando que o processo está sob controle estatístico.

Histograma

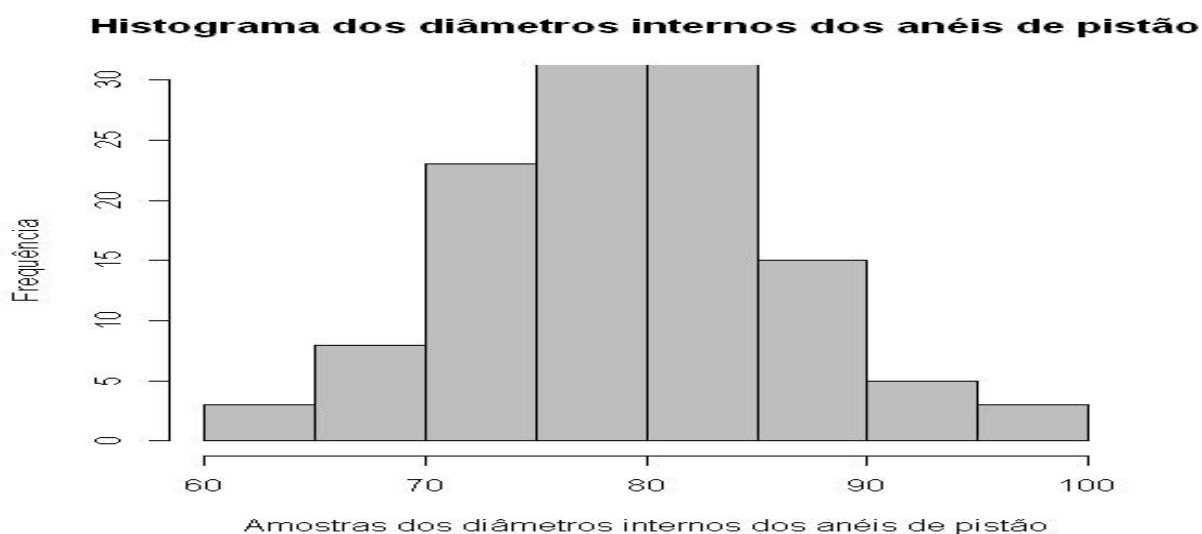
Exemplo 02: Elaborar um histograma das medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis.

Gráfico 11 – Histograma dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 12 – Histograma dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 11 mostra o histograma realizado no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 12 mostra a mesmo histograma realizado no *software* R.

Através da observação dos dois histogramas pode-se observar que a frequência de ocorrência dos dados concentra-se em intervalos semelhantes. No histograma gerado pelo Minitab esse intervalo corresponde de 72-86 e no histograma gerado pelo R corresponde de 70-90. Essa diferença ocorre devido à escala diferente utilizada por cada *software*.

Diagrama de ramo-e-folhas

Exemplo 03: Elaborar o diagrama de ramo e folha para as medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis.

Gráfico 13 – Diagrama de ramo e folha dos diâmetros internos dos anéis de pistão

N = 175

Leaf Unit = 1,0

3 6 024

11 6 55788889

34 7 11111112223333334444444

(60) 7 55555555555666666777777888888888888888888888889999999999999

81 8 0000000000011111111111111111222222222222333333334444444

24 8 555566666677789

8 9 03334

3 9 569

Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 14 – Diagrama de ramo e folha dos diâmetros internos dos anéis de pistão
Diagrama de ramo e folha no R:

O ponto referente a número decimal é representado por |.

60 | 2

62 | 0

64 | 157

66 | 0

68 | 56898

70 | 0011447

72 | 467114488

74 | 134559922334577778

76 | 127899015778

78 | 0111222233444556677788901122223566789

80 | 02234566888802223555566677888

82 | 001111245667800457799

84 | 233445502457

86 | 012489238

88 | 67

90 | 7

92 | 467

94 | 43

96 | 0

98 | 0

Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 13 mostra o diagrama de ramo-e-folhas realizado no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 14 mostra o mesmo diagrama realizado no *software* R. Os diagramas apresentam configurações diferentes, porém demonstram o mesmo significado. O que foi elaborado no Minitab representa na primeira coluna a

frequência dos dados, a segunda coluna representa a dezena, por exemplo, 6=60. O diagrama feito no R também representa todos os dados, sendo a maior frequência na dezena 78.

Diagrama de Dispersão

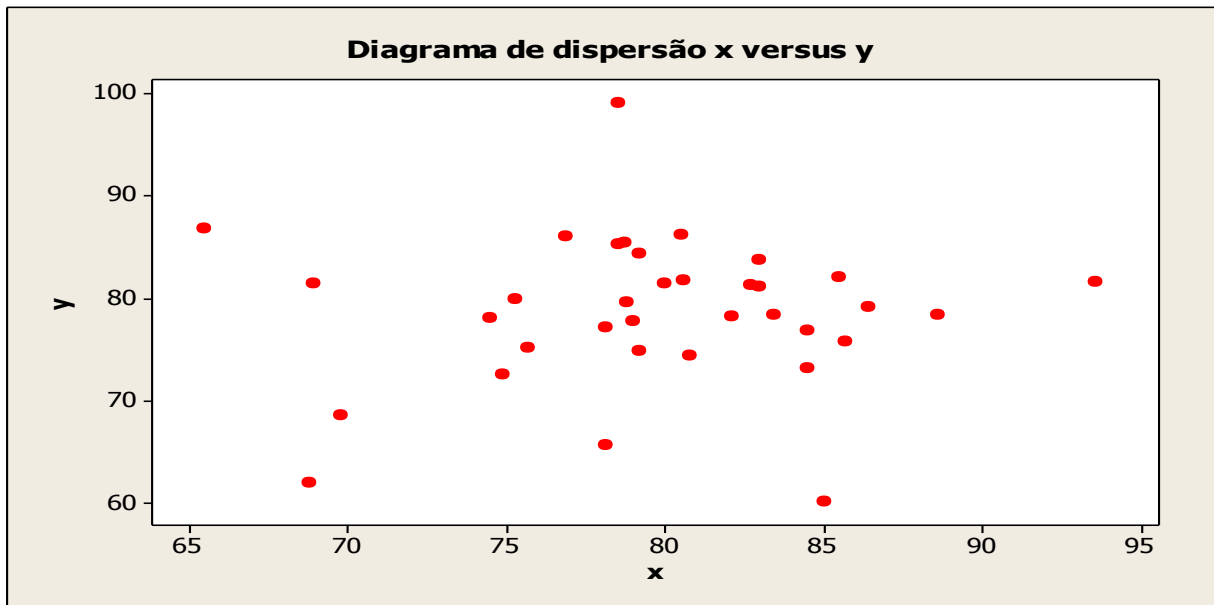
Exemplo 04: Elaborar o diagrama de dispersão para as variáveis x e y.

Tabela 3- Medidas dos diâmetros internos (mm) de anéis de pistão x e y de motores de automóveis.

Nº amostra	x	y	Nº amostra	x	y
1	83	81,2	19	79	77,8
2	88,6	78,3	20	84,5	73,1
3	85,7	75,8	21	68,9	81,5
4	80,8	74,4	22	69,8	68,6
5	83,4	78,4	23	78,5	85,2
6	75,3	79,9	24	76,9	86,1
7	74,5	78	25	93,6	81,6
8	79,2	84,4	26	65,5	86,8
9	80,5	86,2	27	78,1	65,7
10	75,7	75,2	28	74,9	72,6
11	80	81,5	29	78,1	77,1
12	80,6	81,8	30	78,7	85,4
13	82,7	81,3	31	85	60,2
14	79,2	74,9	32	86,4	79,2
15	85,5	82,1	33	78,5	99
16	78,8	79,6	34	68,8	62
17	82,1	78,2	35	83	83,7
18	84,5	76,9			

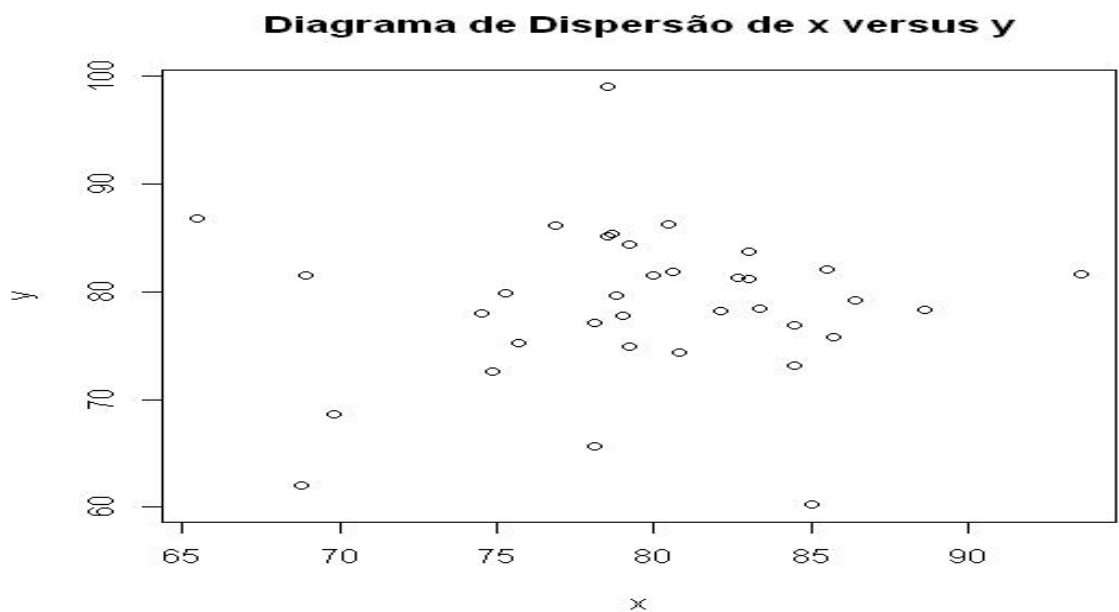
Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Gráfico 15 – Diagrama de dispersão de x e y



Fonte :Próprio autor (2012)

Gráfico 16 – Diagrama de dispersão de x e y



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 15 mostra o diagrama de dispersão realizado no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 16 mostra o mesmo diagrama realizado no *software* R. A plotagem dos pares ordenados apresentam performances idênticas.

Diagrama de Pareto

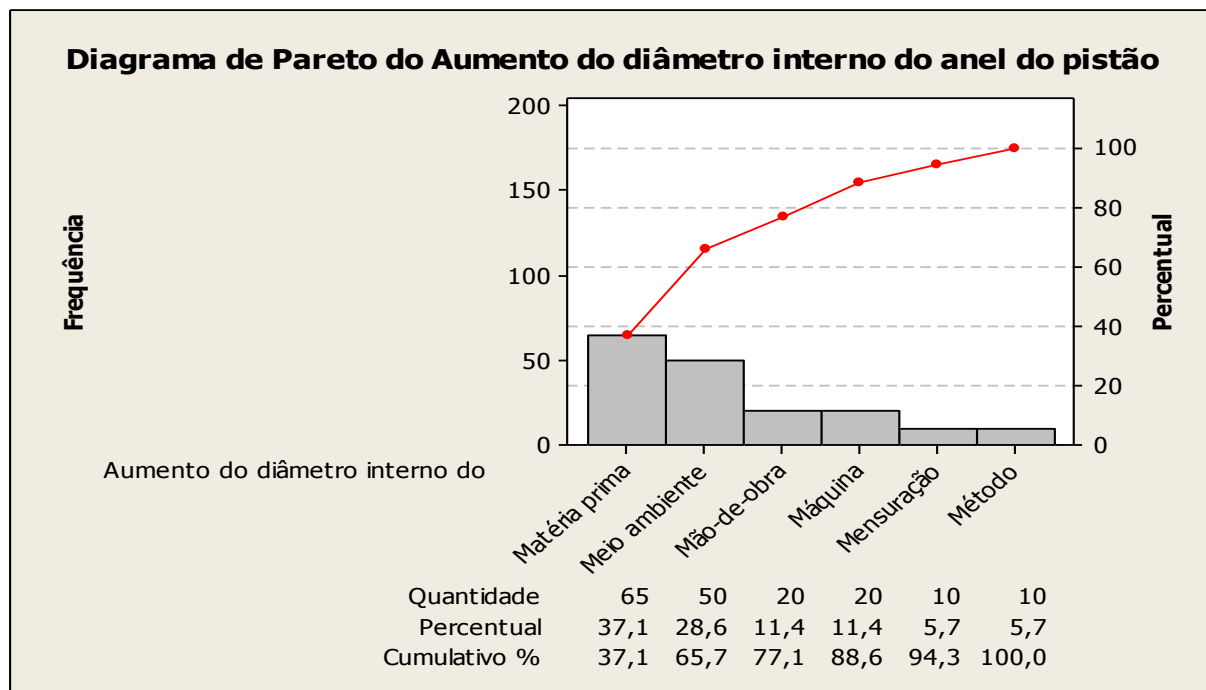
Exemplo 05: Elaborar um Diagrama de Pareto para os dados do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão de motores.

Tabela 4 – Causa do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão de motores e suas respectivas frequências.

Causa do aumento	Frequência
Matéria prima	65
Meio ambiente	50
Mão-de-obra	20
Máquina	20
Mensuração	10
Método	10

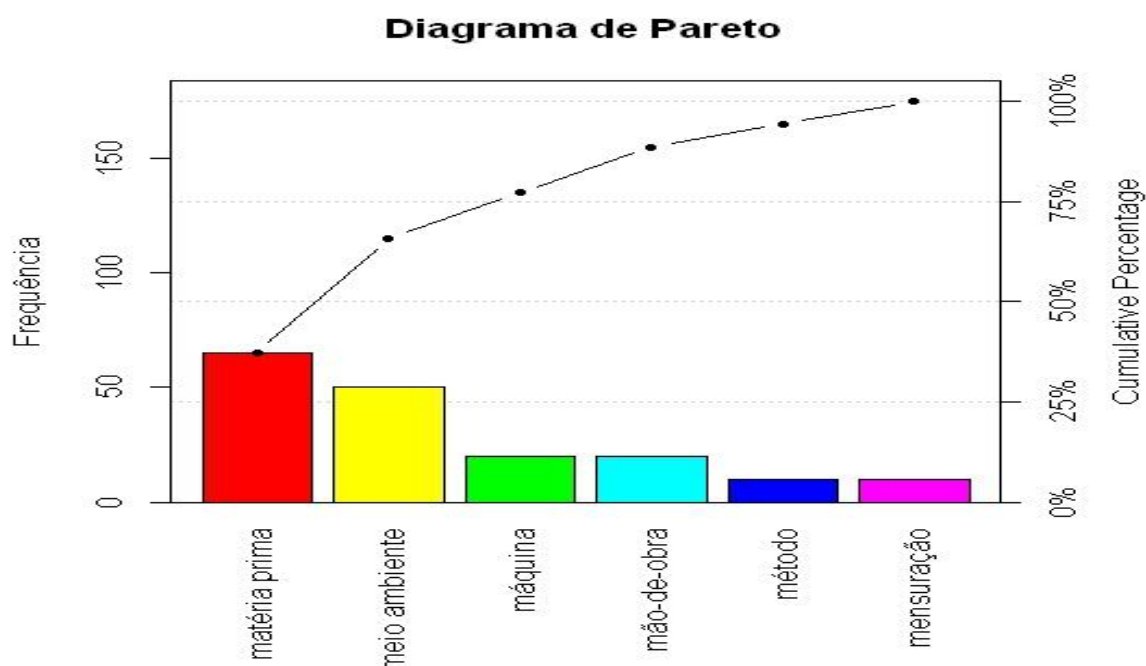
Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 17 – Diagrama de Pareto do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 18 – Diagrama de Pareto do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 17 mostra o Diagrama de Pareto realizado no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 18 mostra o mesmo diagrama realizado no *software* R. Os gráficos apresentam algumas divergências, sendo que o gerado pelo Minitab apresenta exatamente a quantidade que cada causa representa, e também fornece a porcentagem referente a esse valor e a porcentagem cumulativa, sendo que o R não explicita essas informações, deixando-as apenas obscuras para que o usuário possa identificá-las. Nota-se que o tipo de matéria prima e o meio ambiente são responsáveis por mais de 50% do aumento dos diâmetros internos dos anéis de pistão.

Diagrama de causa e efeito

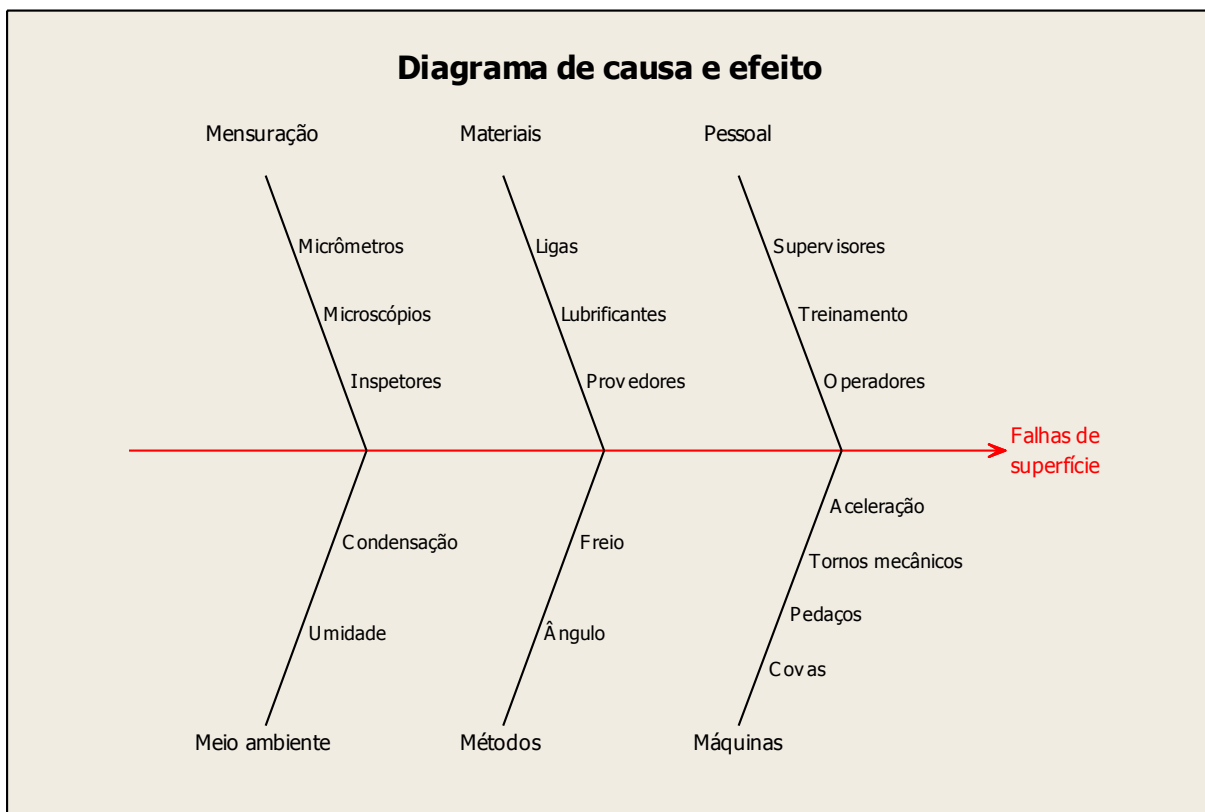
Exemplo 06: Elaborar um diagrama de causa e efeito, de acordo com a tabela apresentada.

Tabela 5 – Lista de causas para efeito de falhas na superfície

Efeito: Falhas de superfície	
Possíveis causas para o efeito	
Mensuração	Micrômetros Microscópios Inspetores
Materiais	Ligas Lubrificantes Provedores
Pessoal	Supervisores Treinamento Operadores
Meio ambiente	Umidade Condensação
Métodos	Ângulo Freio
Máquinas	Covas Pedaços Tornos mecânicos Aceleração

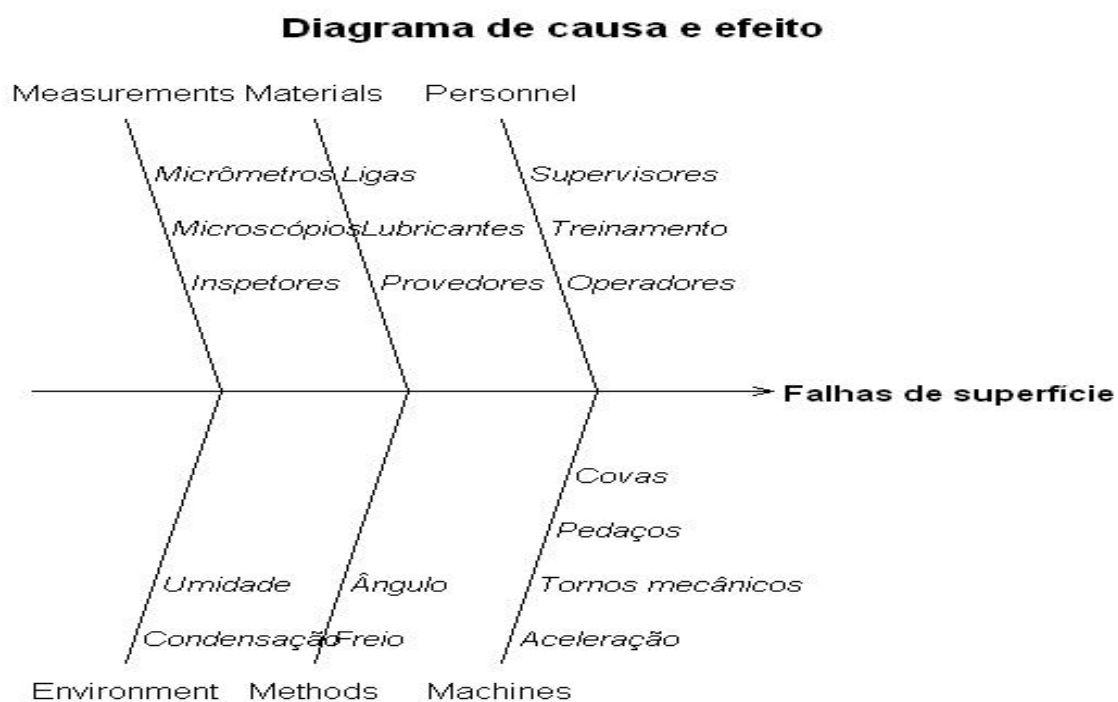
Fonte: Exemplo adaptado do software R 2.15.1

Gráfico 19 – Diagrama de causa e efeito



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 20 – Diagrama de causa e efeito



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 19 mostra o diagrama de causa e efeito realizado no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 20 mostra o mesmo diagrama realizado no *software* R. Ambos apresentam configurações bastante semelhantes, sendo que a diferença existente é que as palavras Mensuração, Materiais, Pessoal, Meio Ambiente, Métodos, e Máquinas, que representam as principais categorias das causas, estão em inglês no diagrama gerado pelo R.

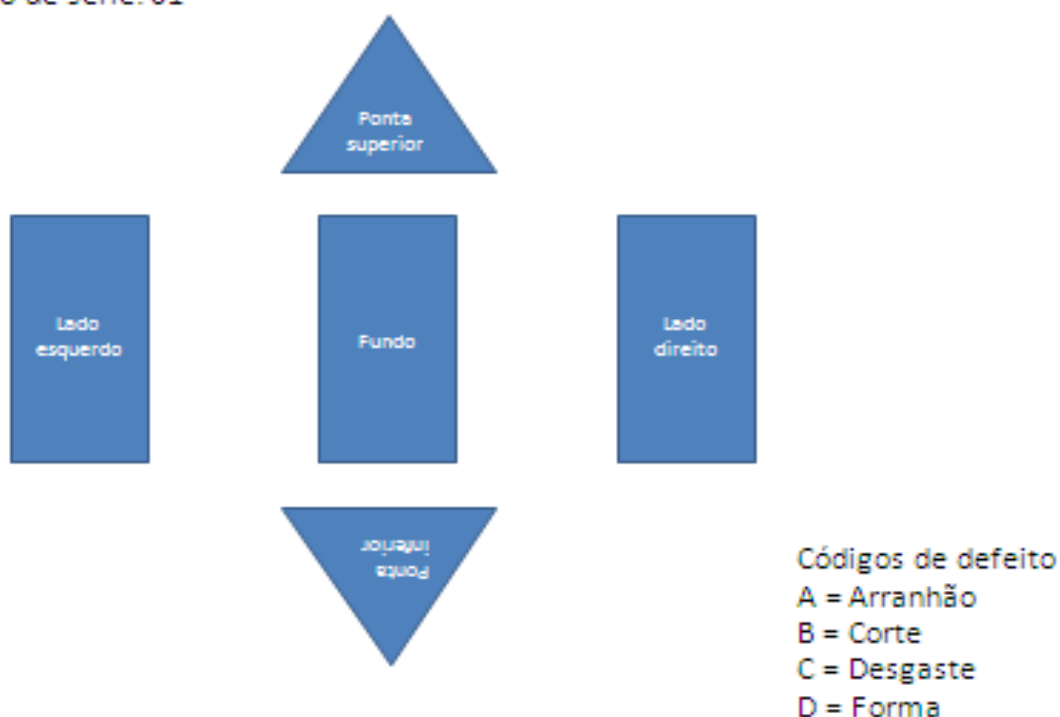
Obs.: As ferramentas a seguir, Diagrama de Concentração de Defeito e Folha de Verificação, foram elaborados a título de ilustração das ferramentas da qualidade, visto que não são elaboradas pelos softwares estudados.

Diagrama de Concentração de Defeito

Exemplo 07: Elaborar um diagrama de concentração de defeito para um tanque usado em uma aplicação aeroespacial.

Figura 9 – Diagrama de concentração de defeito para tanque de aplicação aeroespacial

Número do tanque: 01
Número de série: 01



Fonte: Montgomery (2004)

Folha de Verificação

Exemplo 08: Elaborar uma folha de verificação para defeitos em um tanque usado em uma aplicação aeroespacial.

Planilha 1 – Folha de Verificação para defeitos em um tanque usado em uma aplicação aeroespacial

Folha de Verificação													
Dados de defeitos para 1988													
Parte nº: TAX-41													
Localização: Bellevue													
Data do estudo: 6/5/12													
Analista: TCB													
	1988												
Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
Partes danificadas	1		5	1		2	4		9			5	27
Partes enferrujadas	3		2		8			3		6			22
Pintura fora dos limites		2		2		2							6
Porosidade na fundição													0
Dimensões incorretas		1			5			12					18
Processamento fora de ordem											2		2
Problemas de máquina													0
Solda desalinhada							1						1
Falha do adesivo			1							1			2
Composto delaminado													0
Tinta danificada por produto químico				2									2
TOTAL	4	3	8	5	13	4	5	15	9	7	2	5	80

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Gráficos de controle para atributos

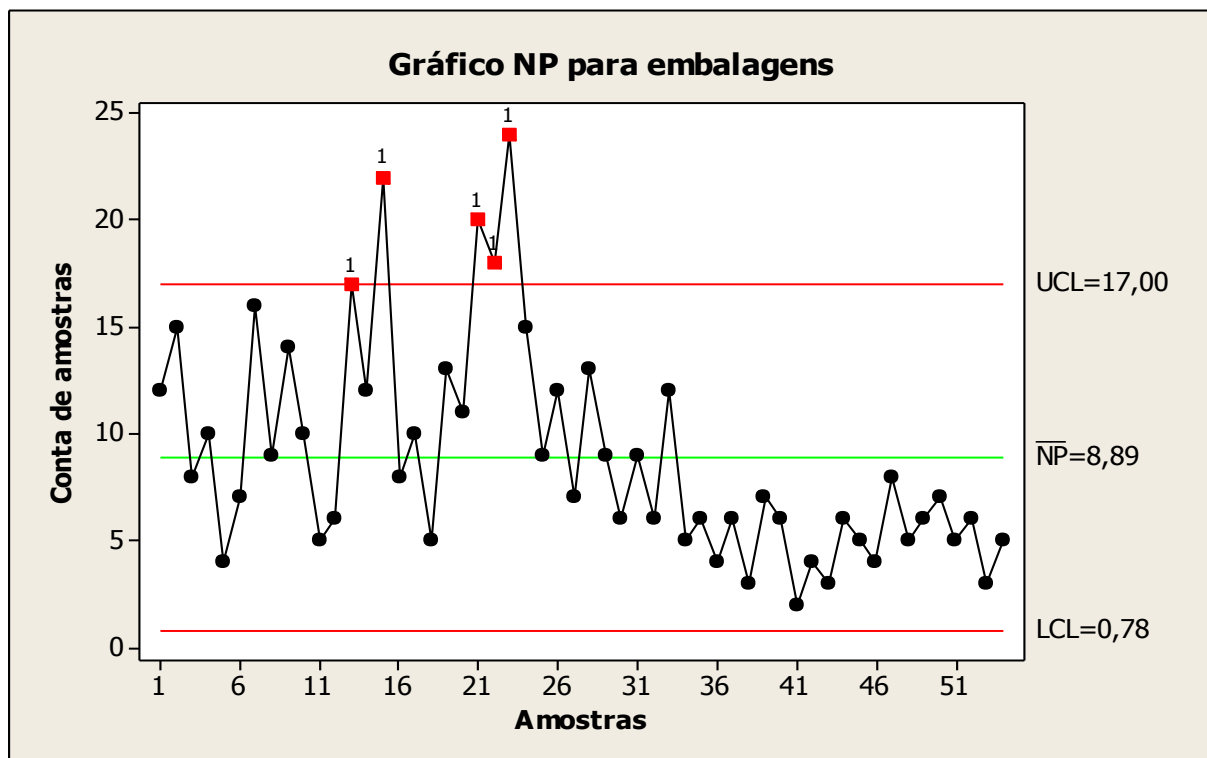
Exemplo 09: Elaborar os gráficos de controle p e np para amostras de embalagens não-conformes.

Tabela 6 - Dados para os limites de controle tentativos, tamanho da amostra $n=50$

Amostra	Nº de embalagens não-conformes	Amostra	Nº de embalagens não-conformes	Amostra	Nº de embalagens não-conformes
1	12	19	13	37	6
2	15	20	11	38	3
3	8	21	20	39	7
4	10	22	18	40	6
5	4	23	24	41	2
6	7	24	15	42	4
7	16	25	9	43	3
8	9	26	12	44	6
9	14	27	7	45	5
10	10	28	13	46	4
11	5	29	9	47	8
12	6	30	6	48	5
13	17	31	9	49	6
14	12	32	6	50	7
15	22	33	12	51	5
16	8	34	5	52	6
17	10	35	6	53	3
18	5	36	4	54	5

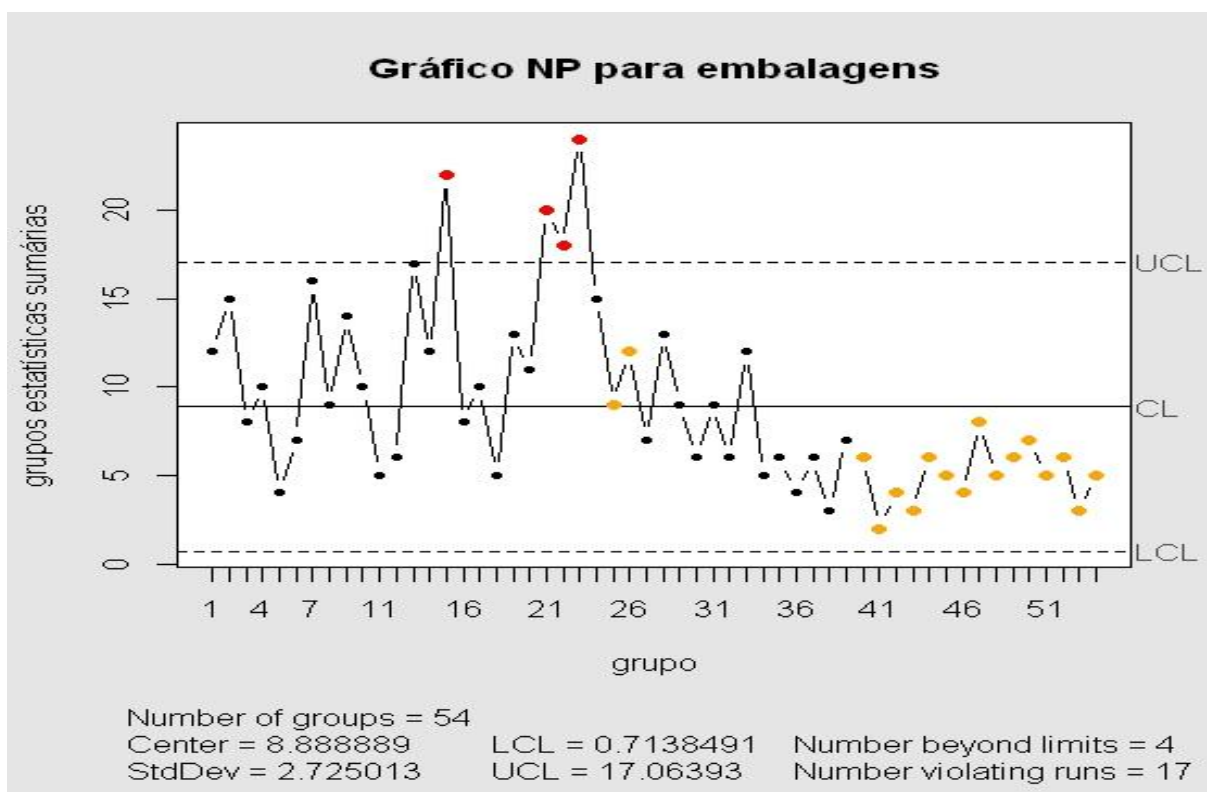
Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Gráfico 21 – Gráfico NP para embalagens



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 22 – Gráfico NP para embalagens

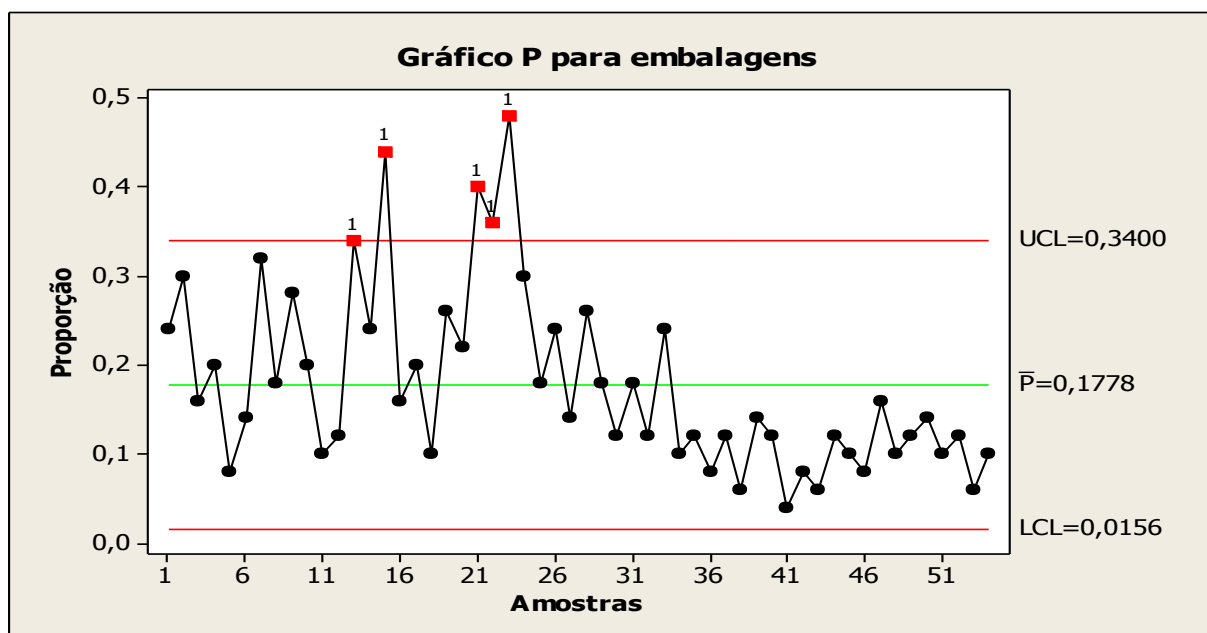


Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 21 mostra a carta de controle para o número de embalagens não-conformes realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 22 mostra a mesma carta realizada no *software* R.

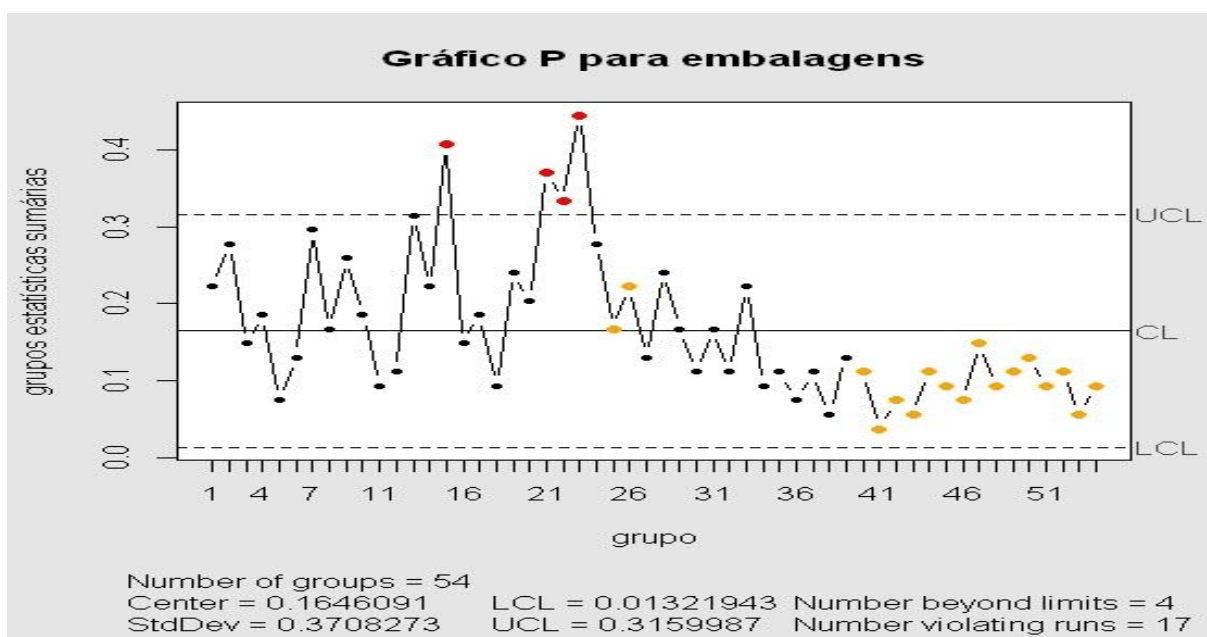
Observa-se que os gráficos de controle para atributos np apresentam uma configuração bem semelhante, sendo que o que difere é que o primeiro gráfico apresenta cinco pontos fora de controle e o segundo apenas quatro.

Gráfico 23 – Gráfico P para embalagens



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 24 – Gráfico P para embalagens



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 23 mostra a carta de controle para a fração amostral de embalagens não-conformes realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 24 mostra a mesma carta realizada no *software* R.

Os gráficos p não demonstram performances diferenciadas, apenas divergências devido a arredondamentos. Isto mostra que o primeiro gráfico apresenta cinco pontos fora de controle e o segundo apenas quatro.

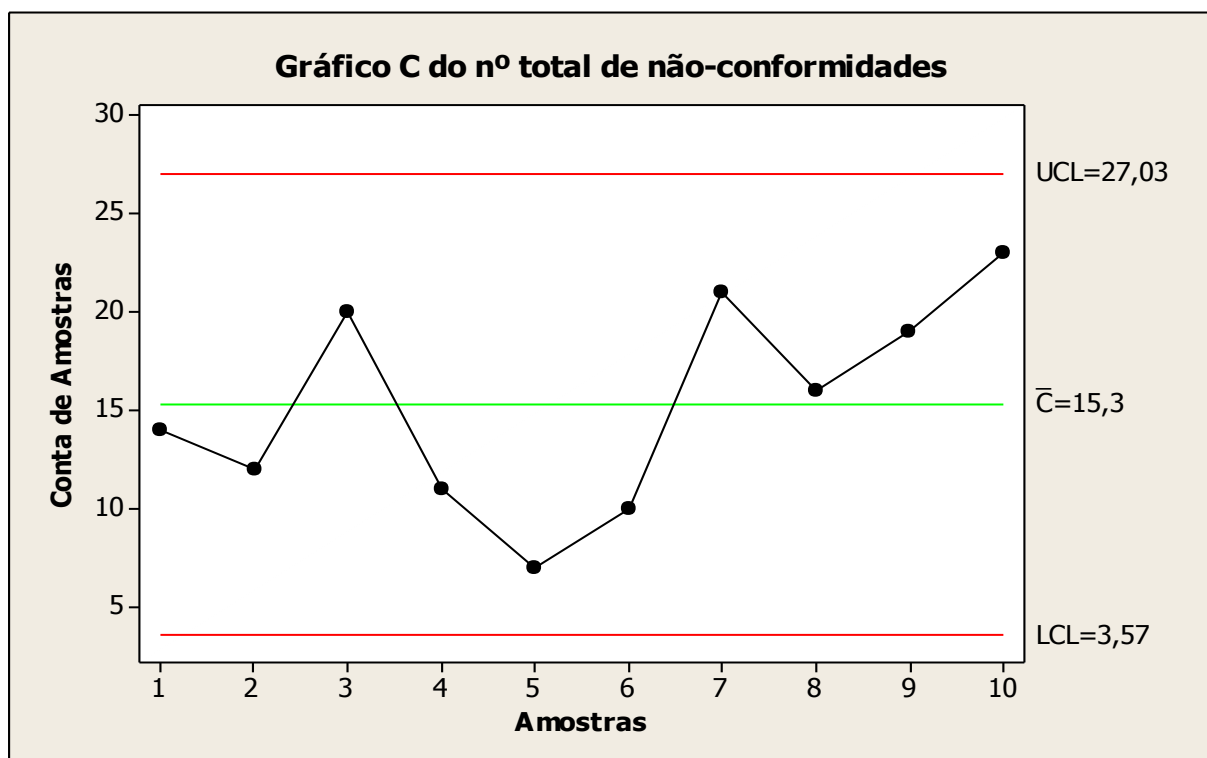
Exemplo 09: Elaborar os gráficos de controle c e u para amostras de tecidos tingidos

Tabela 7 - Ocorrência de não-conformidades em tecido tingido

Nº do rolo	Nº metros quadrados	Nº total não-conformidades	Nº unidades de inspeção no rolo n	Nº não-conf. p/ unid. de inspeção
1	500	14	10	1,4
2	400	12	8	1,5
3	650	20	13	1,54
4	500	11	10	1,1
5	475	7	9,5	0,74
6	500	10	10	1
7	600	21	12	1,75
8	525	16	10,5	1,52
9	600	19	12	1,58
10	625	23	12,5	1,84

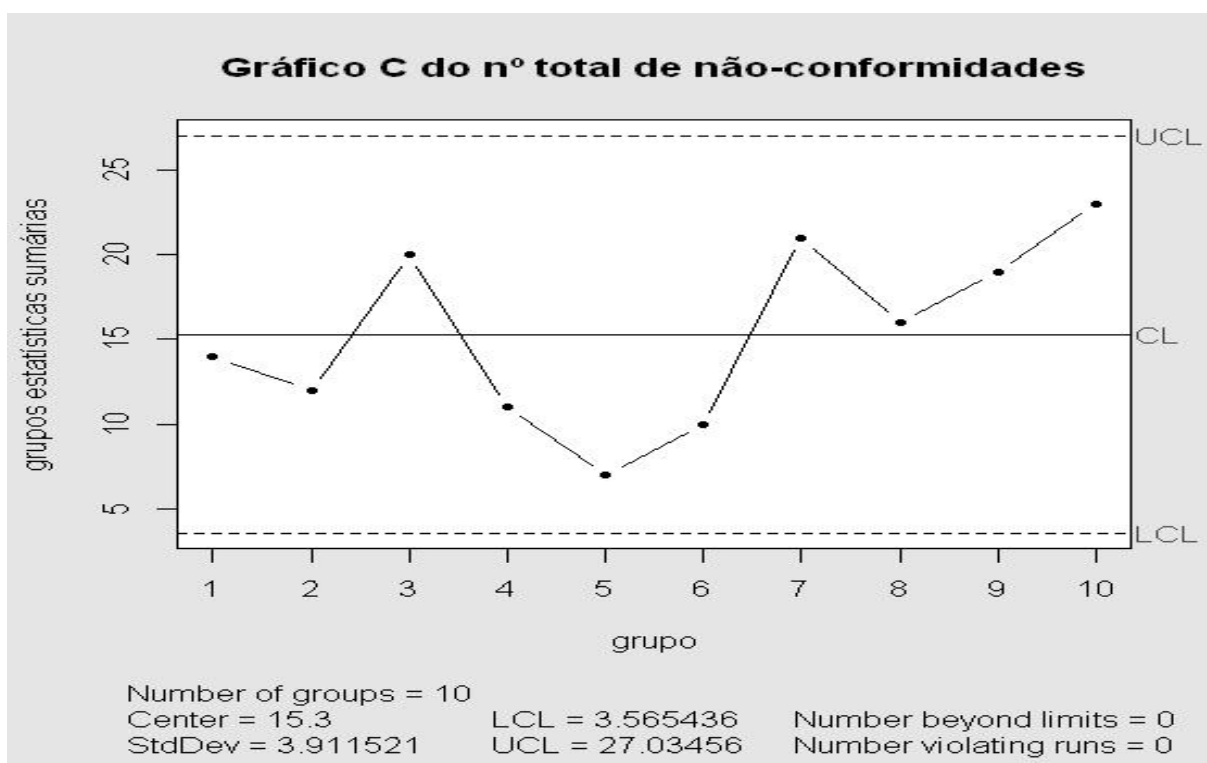
Fonte: Montgomery (2004)

Gráfico 25 – Gráfico C do nº total de não-conformidades



Fonte: Próprio autor (2012)

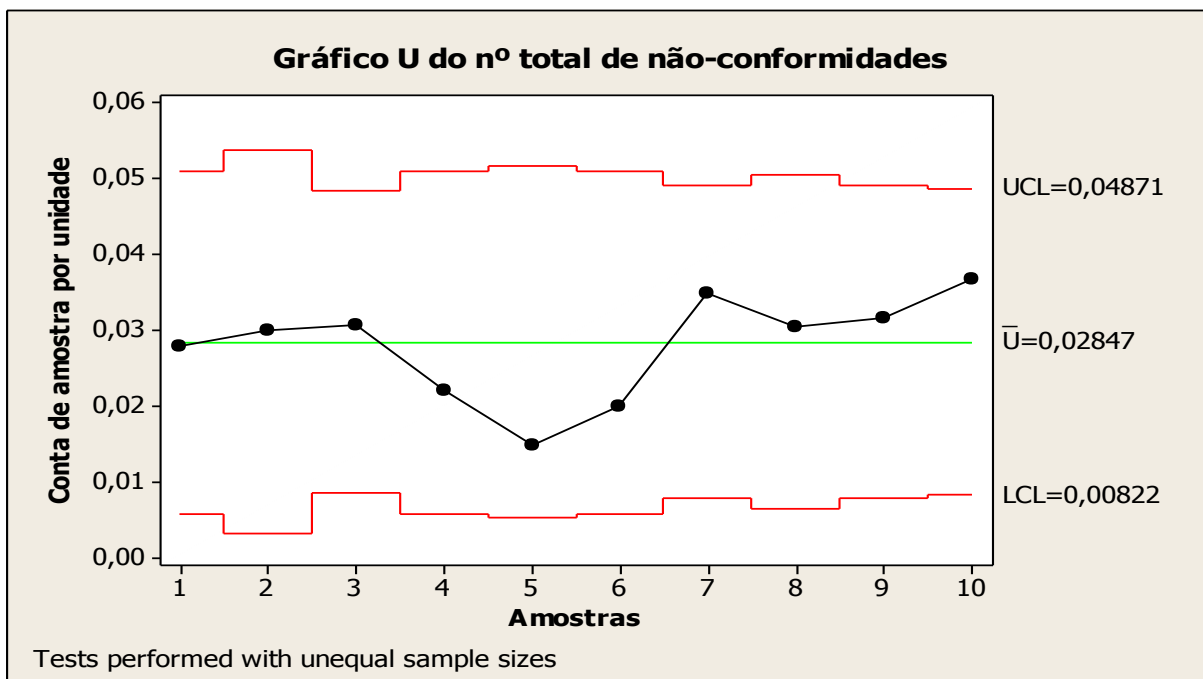
Gráfico 26 – Gráfico C do nº total de não-conformidades



Fonte: Próprio autor (2012)

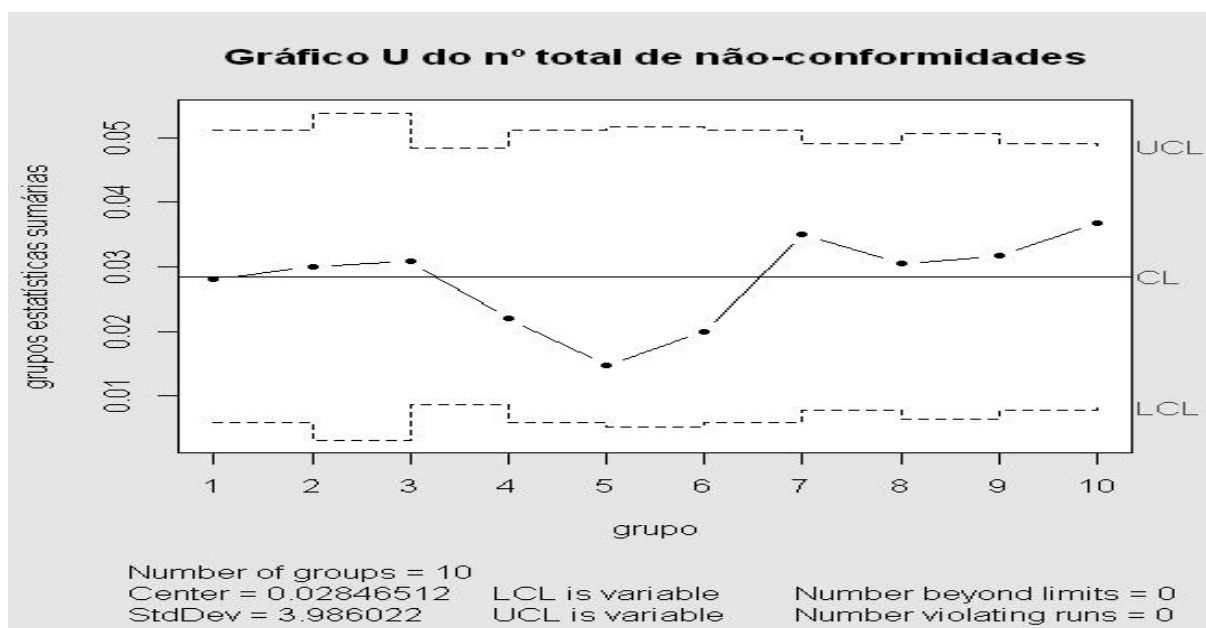
O gráfico 25 mostra a carta de controle para não-conformidades realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 26 mostra a mesma carta realizada no *software* R. Os gráficos gerados pelo Minitab e pelo R apresentam performance relativamente semelhantes, divergindo nos valores devido à arredondamentos decimais de cada *software*.

Gráfico 27 – Gráfico U do nº total de não-conformidades



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 28 – Gráfico U do nº total de não-conformidades



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 29 mostra a carta de controle para o número de não-conformidades por unidade realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 30 mostra a mesma carta realizada no *software* R. Os gráficos u demonstram bastante semelhantes, divergindo nos valores devido a arredondamentos.

Capacidade do Processo

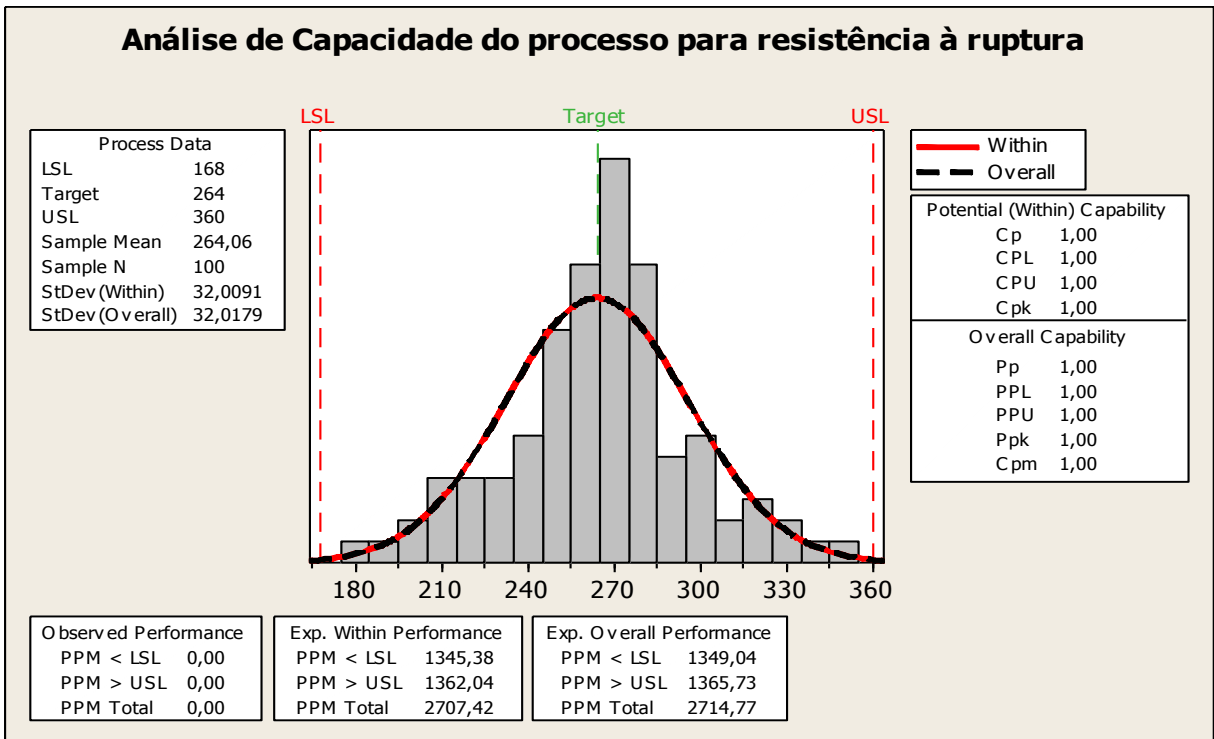
Exemplo 10: Calcular a capacidade do processo, utilizando USL= 360 e LSL= 168.

Tabela 8 – Forças de resistência à ruptura para 100 garrafas de refrigerante de um litro.

265	197	346	280	265	200	221	265	261	278
205	286	317	242	254	235	176	262	248	250
263	274	242	260	281	246	248	271	260	265
307	243	258	321	294	328	263	245	274	270
220	231	276	228	223	296	231	301	337	298
268	267	300	250	260	276	334	280	250	257
260	281	208	299	308	264	280	274	278	210
234	265	187	258	235	269	265	253	254	280
299	214	264	267	283	235	272	287	274	269
215	318	271	293	277	290	283	258	275	251

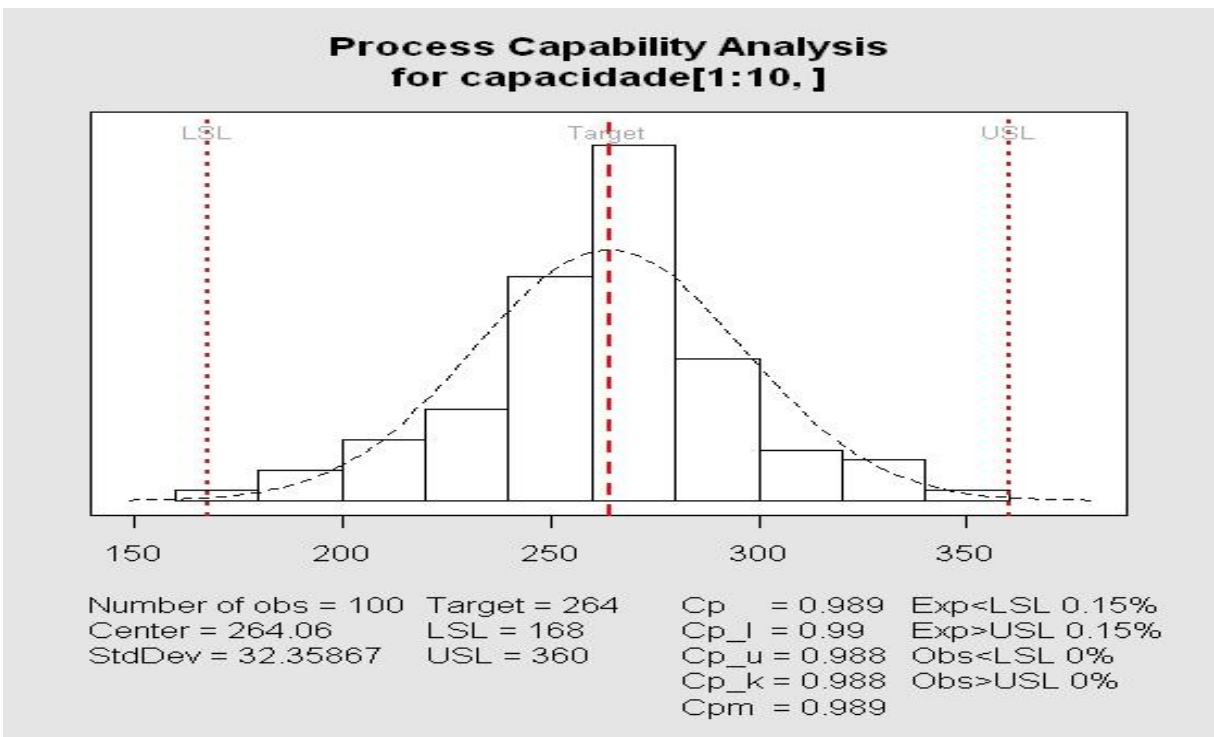
Fonte: Montgomery (2004)

Gráfico 29 – Gráfico da Análise de capacidade do processo para resistência à ruptura de 100 garrafas de vidro de 1 litro de refrigerante



Fonte: Próprio autor (2012)

Gráfico 30 – Gráfico da Análise de capacidade do processo para resistência à ruptura de 100 garrafas de vidro de 1 de refrigerante



Fonte: Próprio autor (2012)

O gráfico 29 mostra a análise de capacidade do processo realizada no *software* Minitab, enquanto que o gráfico 30 mostra a mesma análise realizada no *software* R. A configuração dos histogramas são semelhantes, sendo os limites de especificação são 168 e 360, que geralmente são especificações dos clientes.

A diferença entre os dois se consolida no fato de que o primeiro apresenta a quantidade de itens fora das especificações em ppm (partes por milhão), de acordo com a capacidade efetiva e com a capacidade potencial, sendo que o segundo apenas informa a porcentagem relativa a esses itens, para limites superior e inferior de especificação.

Análise de Variância

Exemplo 11: Determinar as saídas para análise de variância dos delineamentos.

Delineamento inteiramente casualizado

Tabela 9 – Dados para Delineamento inteiramente casualizado (parte 1)

amostra	valor	amostra	valor	amostra	valor	amostra	valor	amostra	valor
1	15,8	2	16,3	3	16,2	4	16,1	5	16,6
1	16,3	2	15,9	3	15,9	4	16,2	5	16,4
1	16,1	2	16,2	3	16,5	4	16,4	5	16,3
1	16,3	2	16,2	3	15,9	4	16,4	5	16,2
1	16,1	2	16,1	3	16,4	4	16,5	5	16
1	16,1	2	15,8	3	16,7	4	16,6	5	16,4
1	16,1	2	16,3	3	16,5	4	16,1	5	16,5
1	16,2	2	16,1	3	16,2	4	16,1	5	16,3
1	16,3	2	16,2	3	16,4	4	16,3	5	16,5
1	16,6	2	16,3	3	16,4	4	16,1	5	16,5
1	16,2	2	16,4	3	15,9	4	16,3	5	16,4
1	15,9	2	16,6	3	16,7	4	16,2	5	16,5
1	16,4	2	16,1	3	16,6	4	16,4	5	16,1
1	16,5	2	16,3	3	16,2	4	16,3	5	16,4
1	16,4	2	16,1	3	16,3	4	16,2	5	16,2
1	16	2	16,2	3	16,3	4	16,3	5	16,2

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Tabela 9 – Dados para Delineamento inteiramente casualizado (parte 2)

amostra	valor	amostra	Valor	amostra	valor	amostra	valor	amostra	valor
1	16,4	2	16,2	3	16,4	4	16,3	5	16,2
1	16	2	16,2	3	16,4	4	16,5	5	16,1
1	16,4	2	16	3	16,3	4	16,4	5	16,4
1	16,4	2	16,4	3	16,5	4	16	5	15,8

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Abaixo se tem as saídas dos dois *softwares*, ambos apresentam inicialmente a tabela da análise de variância. O Minitab faz um teste de comparação múltipla e um intervalo de confiança amostra por amostra, enquanto que o R solta uma comparação múltipla usando o teste Tukey (diferença mínima significativa) e os intervalos de confiança, todos em uma única tabela, facilitando a interpretação. Em seguida ambos apresentam o gráfico box-plot, sendo que o do Minitab apresenta uma linha ligando as médias, o que facilita a interpretação.

Saída do Minitab

One-way ANOVA: valor versus amostra

Source	DF	SS	MS	F	P
amostra	4	0,2596	0,0649	1,64	0,170
Error	95	3,7580	0,0396		
Total	99	4,0176			

S = 0,1989 R-Sq = 6,46% R-Sq(adj) = 2,52%

Sendo que:

DF: Graus de liberdade

SS: Soma dos quadrados

MS: Média quadrática

F: Relação entre a média quadrática dos tratamentos e a média quadrática dos erros

P: Nível de significância

R-Sq: R²

R-Sq(adj): R² ajustado

Individual 95% CIs For Mean Based on				
Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+--
1	20	16,225	0,210	(-----*-----)
2	20	16,195	0,179	(-----*-----)
3	20	16,335	0,237	(-----*-----)
4	20	16,285	0,160	(-----*-----)
5	20	16,300	0,200	(-----*-----)
-----+-----+-----+-----+--				
16,160 16,240 16,320 16,400				

Pooled StDev = 0,199

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of amostra

Individual confidence level = 99,34%

amostra = 1 subtracted from:

amostra	Lower	Center	Upper	+-----+-----+-----+-----
2	-0,2048	-0,0300	0,1448	(-----*-----)
3	-0,0648	0,1100	0,2848	(-----*-----)
4	-0,1148	0,0600	0,2348	(-----*-----)
5	-0,0998	0,0750	0,2498	(-----*-----)
+-----+-----+-----+-----				
-0,32 -0,16 0,00 0,16				

amostra = 2 subtracted from:

amostra	Lower	Center	Upper	+-----+-----+-----+-----
3	-0,0348	0,1400	0,3148	(-----*-----)
4	-0,0848	0,0900	0,2648	(-----*-----)
5	-0,0698	0,1050	0,2798	(-----*-----)
+-----+-----+-----+-----				
-0,32 -0,16 0,00 0,16				

amostra = 3 subtracted from:

amostra	Lower	Center	Upper	+-----+-----+-----+-----
4	-0,2248	-0,0500	0,1248	(-----*-----)
5	-0,2098	-0,0350	0,1398	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----
-0,32 -0,16 0,00 0,16

amostra = 4 subtracted from:

amostra	Lower	Center	Upper	+-----+-----+-----+-----
5	-0,1598	0,0150	0,1898	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----
-0,32 -0,16 0,00 0,16

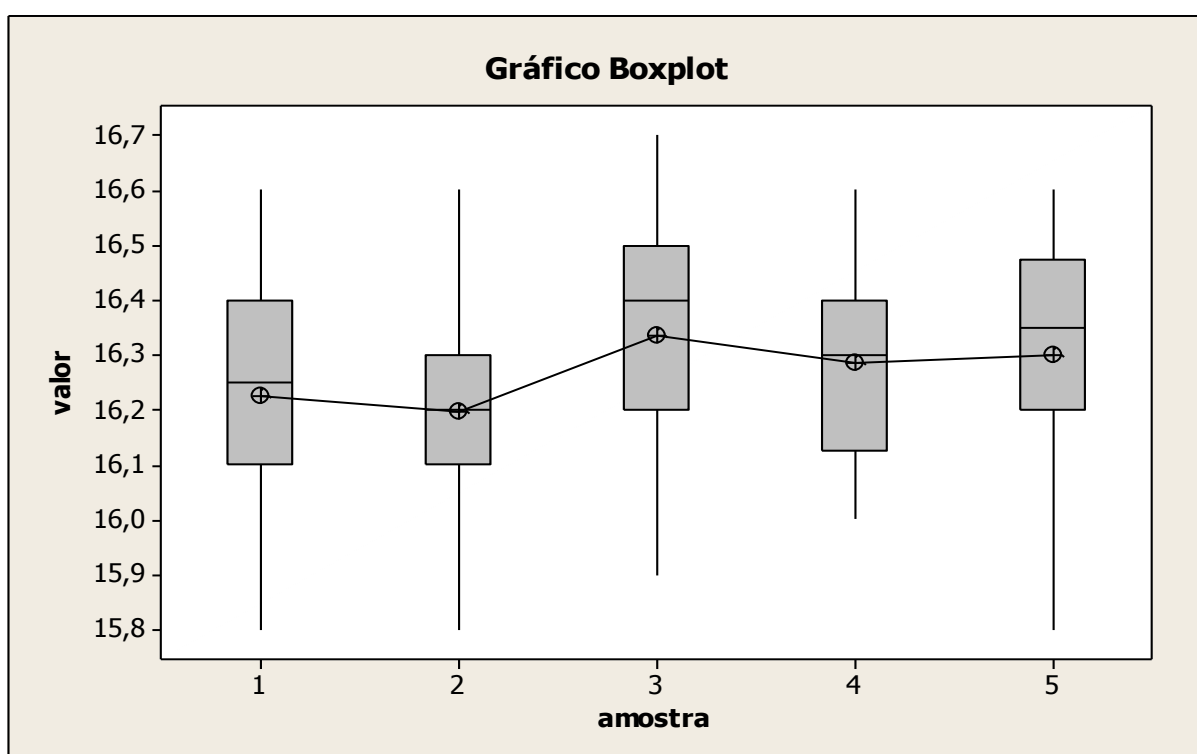
Onde:

Lower: Limite inferior

Center: Limite central

Upper: Limite superior

Gráfico 31 – Gráfico Boxplot para Delineamento inteiramente casualizado



Fonte: Próprio autor (2012)

Saída do R

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
amostra	4	0.260	0.06490	1.641	0.17
Residuals	95	3.758	0.03956		

Sendo que:

Df: Graus de liberdade

Sum Sq: Soma dos quadrados

Mean Sq: Média quadrática

F value: Relação entre a média quadrática dos tratamentos e a média quadrática dos erros

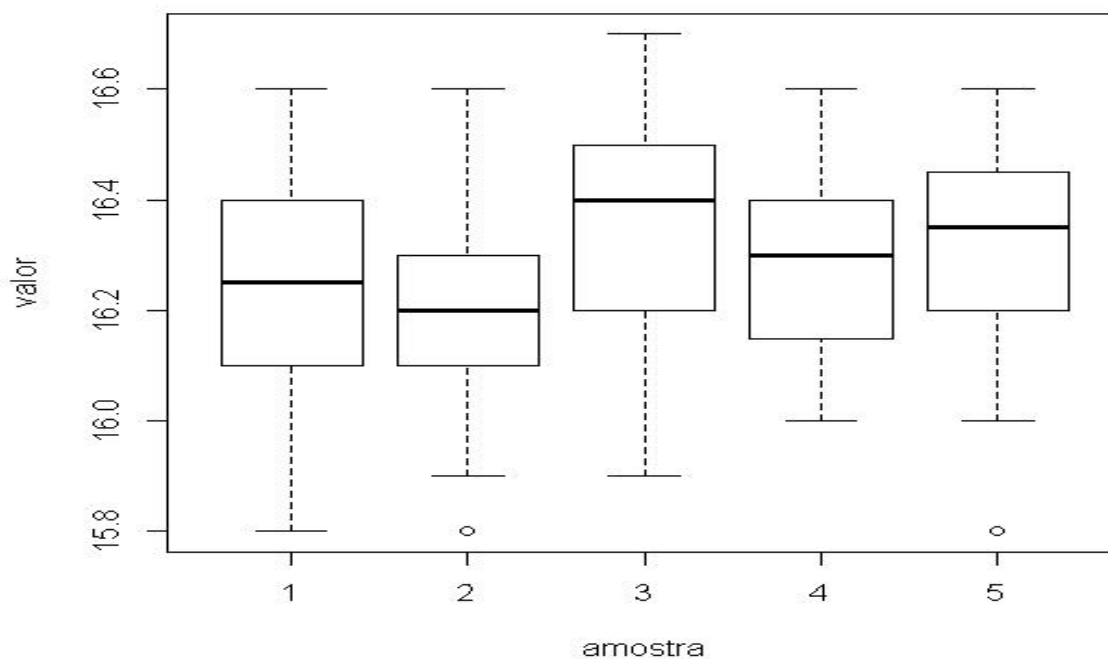
Pr: Nível de significância

\$amostra	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-0.030	-0.20490266	0.1449027	0.9892681
3-1	0.110	-0.06490266	0.2849027	0.4094633
4-1	0.060	-0.11490266	0.2349027	0.8747668
5-1	0.075	-0.09990266	0.2499027	0.7556782
3-2	0.140	-0.03490266	0.3149027	0.1791687
4-2	0.090	-0.08490266	0.2649027	0.6094074
5-2	0.105	-0.06990266	0.2799027	0.4576406
4-3	-0.050	-0.22490266	0.1249027	0.9314779
5-3	-0.035	-0.20990266	0.1399027	0.9808786
5-4	0.015	-0.15990266	0.1899027	0.9992720

Diff: Limite central

p adj: valor de p ajustado

Gráfico 32 – Gráfico Boxplot para Delineamento inteiramente casualizado



Fonte: Próprio autor (2012)

Delineamento em bloco casualizado

Tabela 10 – Dados para Delineamento em bloco casualizado (parte 1)

Amostra	bloco	valor	amostra	bloco	valor	amostra	bloco	Valor
A	1	15,8	B	1	16,3	C	1	16,2
A	2	16,3	B	2	15,9	C	2	15,9
A	3	16,1	B	3	16,2	C	3	16,5
A	4	16,3	B	4	16,2	C	4	15,9
A	5	16,1	B	5	16,1	C	5	16,4
A	6	16,1	B	6	15,8	C	6	16,7
A	7	16,1	B	7	16,3	C	7	16,5
A	8	16,2	B	8	16,1	C	8	16,2
A	9	16,3	B	9	16,2	C	9	16,4
A	10	16,6	B	10	16,3	C	10	16,4
A	11	16,2	B	11	16,4	C	11	15,9
A	12	15,9	B	12	16,6	C	12	16,7

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Tabela 10 – Dados para Delineamento em bloco casualizado (parte 2)

A	13	16,4	B	13	16,1	C	13	16,6
A	14	16,5	B	14	16,3	C	14	16,2
A	15	16,4	B	15	16,1	C	15	16,3
A	16	16	B	16	16,2	C	16	16,3
A	17	16,4	B	17	16,2	C	17	16,4
A	18	16	B	18	16,2	C	18	16,4
A	19	16,4	B	19	16	C	19	16,3
A	20	16,4	B	20	16,4	C	20	16,5
Amostra	bloco	Valor	amostra	bloco	valor			
D	1	16,1	E	1	16,6			
D	2	16,2	E	2	16,4			
D	3	16,4	E	3	16,3			
D	4	16,4	E	4	16,2			
D	5	16,5	E	5	16			
D	6	16,6	E	6	16,4			
D	7	16,1	E	7	16,5			
D	8	16,1	E	8	16,3			
D	9	16,3	E	9	16,5			
D	10	16,1	E	10	16,5			
D	11	16,3	E	11	16,4			
D	12	16,2	E	12	16,5			
D	13	16,4	E	13	16,1			
D	14	16,3	E	14	16,4			
D	15	16,2	E	15	16,2			
D	16	16,3	E	16	16,2			
D	17	16,3	E	17	16,2			
D	18	16,5	E	18	16,1			
D	19	16,4	E	19	16,4			
D	20	16	E	20	15,8			

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Abaixo se tem as saídas dos dois *softwares* para o delineamento em bloco casualizado, sendo que ambos apresentam inicialmente a tabela da análise de variância. O Minitab faz um teste de comparação múltipla e um intervalo de confiança amostra por amostra, enquanto que o R solta uma comparação múltipla usando o teste Tukey (diferença mínima significativa) e os intervalos de confiança, todos em uma única tabela, facilitando a interpretação. Em seguida ambos apresentam o gráfico box-plot, sendo que o do Minitab apresenta uma linha ligando as médias, o que facilita a interpretação.

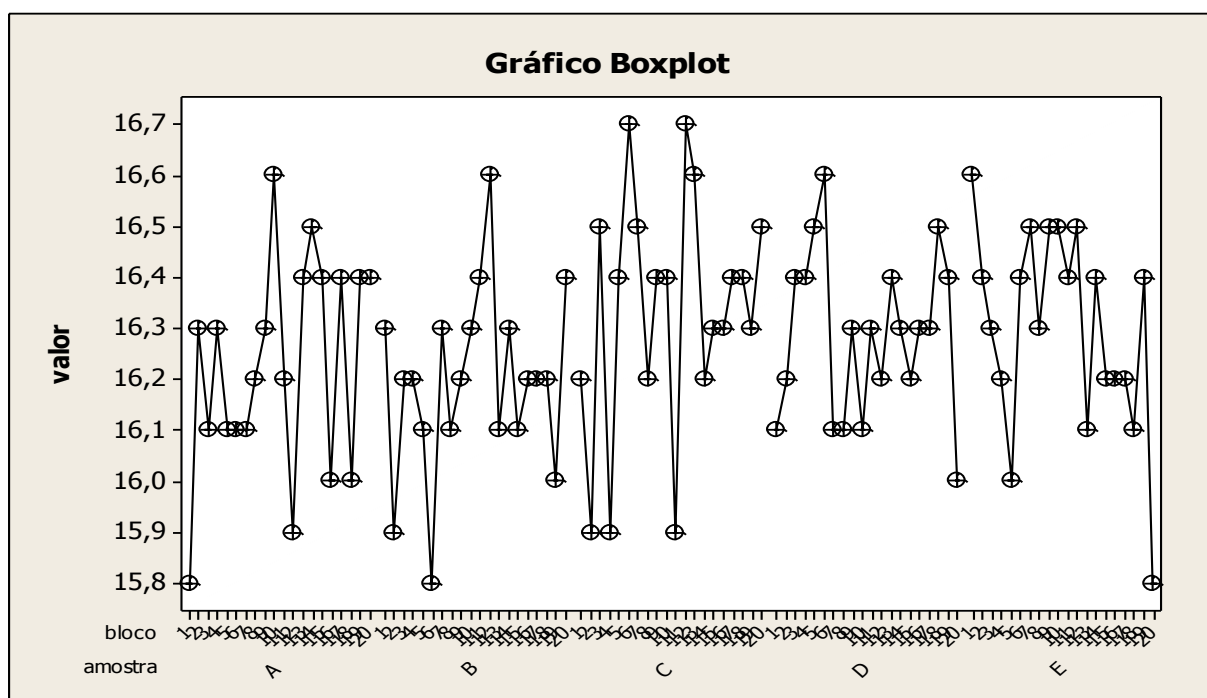
Saída do Minitab

Two-way ANOVA: valor versus amostra; bloco

Source	DF	SS	MS	F	P
amostra	4	0,2596	0,0649000	1,49	0,213
bloco	19	0,4496	0,0236632	0,54	0,932
Error	76	3,3084	0,0435316		
Total	99	4,0176			

S = 0,2086 R-Sq = 17,65% R-Sq(adj) = 0,00%

Gráfico 33 – Gráfico Boxplot para delineamento em bloco casualizado

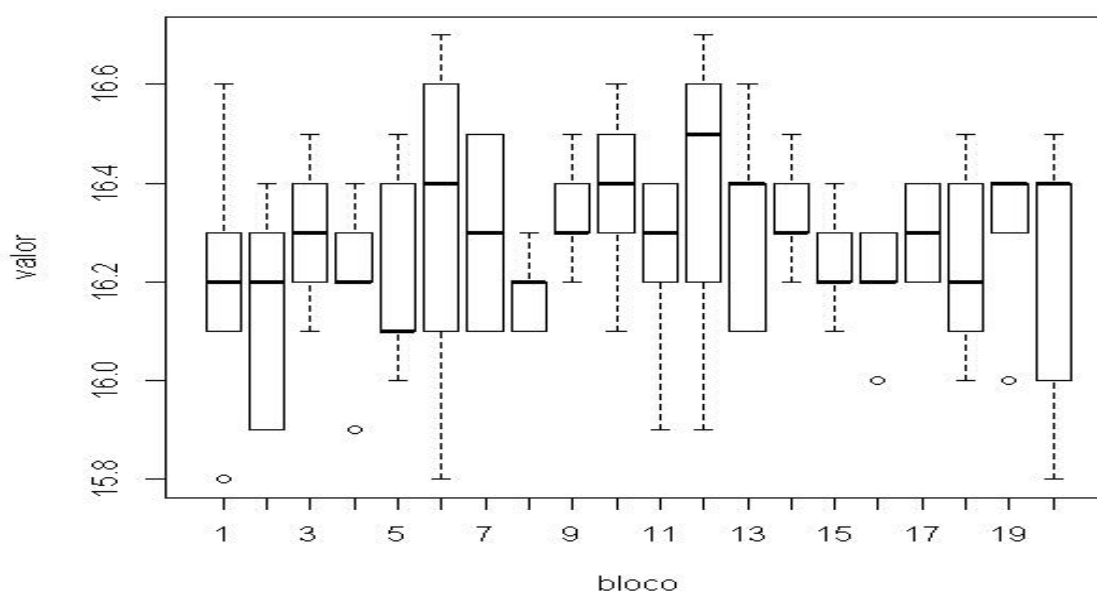


Fonte: Próprio autor (2012)

Saída do R

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
amostra	4	0.260	0.06490	1.491	0.213
bloco	19	0.450	0.02366	0.544	0.932
Residuals	76	3.308	0.04353		

Gráfico 34 – Gráfico Boxplot para Delineamento em bloco casualizado



Fonte: Próprio autor (2012)

Delineamento fatorial em bloco casualizado

Tabela 11 – Dados para Delineamento fatorial em bloco casualizado (parte 1)

Amostra	Dose	bloco	valor	amostra	Dose	bloco	valor
A	0	1	15,8	B	0	1	16,3
A	0	2	16,3	B	0	2	15,9
A	0	3	16,1	B	0	3	16,2
A	0	4	16,3	B	0	4	16,2

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Tabela 11 – Dados para Delineamento fatorial em bloco casualizado (parte 2)

Amostra	Dose	bloco	valor	amostra	Dose	bloco	Valor
A	5	5	16,1	B	5	5	16,1
A	5	6	16,1	B	5	6	15,8
A	5	7	16,1	B	5	7	16,3
A	5	8	16,2	B	5	8	16,1
A	10	9	16,3	B	10	9	16,2
A	10	10	16,6	B	10	10	16,3
A	10	11	16,2	B	10	11	16,4
A	10	12	15,9	B	10	12	16,6
A	15	13	16,4	B	15	13	16,1
A	15	14	16,5	B	15	14	16,3
A	15	15	16,4	B	15	15	16,1
A	15	16	16	B	15	16	16,2
A	20	17	16,4	B	20	17	16,2
A	20	18	16	B	20	18	16,2
A	20	19	16,4	B	20	19	16
A	20	20	16,4	B	20	20	16,4
Amostra	Dose	bloco	valor	amostra	Dose	bloco	Valor
C	0	1	16,2	D	0	1	16,1
C	0	2	15,9	D	0	2	16,2
C	0	3	16,5	D	0	3	16,4
C	0	4	15,9	D	0	4	16,4
C	5	5	16,4	D	5	5	16,5
C	5	6	16,7	D	5	6	16,6
C	5	7	16,5	D	5	7	16,1
C	5	8	16,2	D	5	8	16,1
C	10	9	16,4	D	10	9	16,3
C	10	10	16,4	D	10	10	16,1
C	10	11	15,9	D	10	11	16,3
C	10	12	16,7	D	10	12	16,2
C	15	13	16,6	D	15	13	16,4

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Tabela 11 – Dados para Delineamento fatorial em bloco casualizado (parte 3)

C	15	14	16,2	D	15	14	16,3
C	15	15	16,3	D	15	15	16,2
C	15	16	16,3	D	15	16	16,3
C	20	17	16,4	D	20	17	16,3
C	20	18	16,4	D	20	18	16,5
C	20	19	16,3	D	20	19	16,4
C	20	20	16,5	D	20	20	16
Amostra	Dose	bloco	valor				
E	0	1	16,6				
E	0	2	16,4				
E	0	3	16,3				
E	0	4	16,2				
E	5	5	16				
E	5	6	16,4				
E	5	7	16,5				
E	5	8	16,3				
E	10	9	16,5				
E	10	10	16,5				
E	10	11	16,4				
E	10	12	16,5				
E	15	13	16,1				
E	15	14	16,4				
E	15	15	16,2				
E	15	16	16,2				
E	20	17	16,2				
E	20	18	16,1				
E	20	19	16,4				
E	20	20	15,8				

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

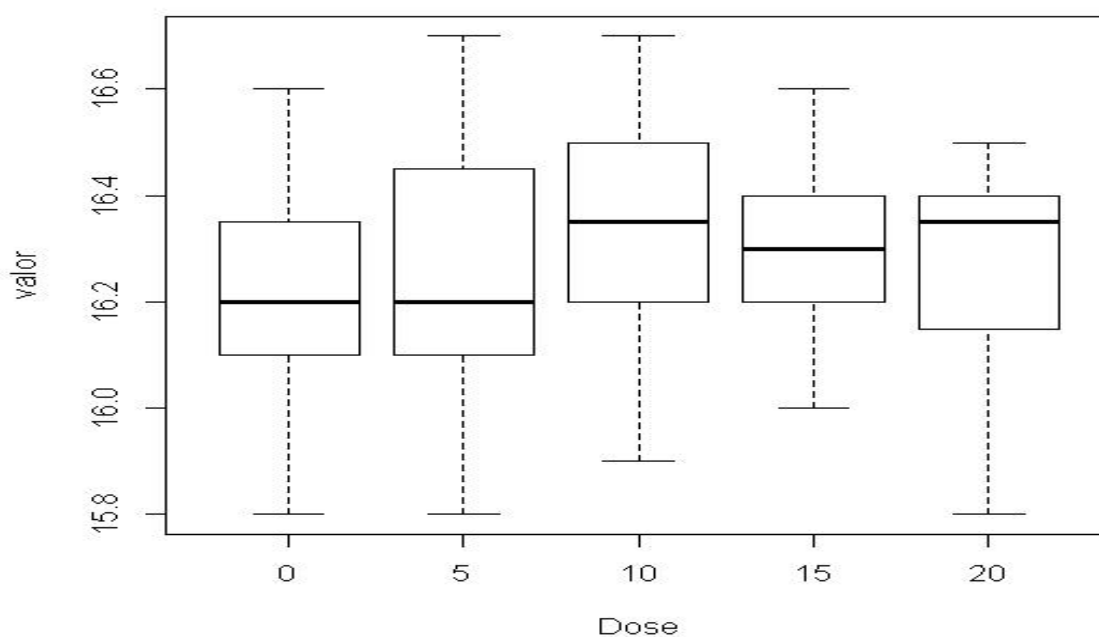
Abaixo se tem a saída do *software* R para o delineamento fatorial em bloco casualizado, sendo que é apresentada inicialmente a tabela da análise de variância.

O Minitab faz um teste de comparação múltipla e um intervalo de confiança amostra por amostra, enquanto que o R solta uma comparação múltipla usando o teste Tukey (diferença mínima significativa) e os intervalos de confiança, todos em uma única tabela, facilitando a interpretação. Em seguida é apresentado o gráfico box-plot. A saída do Minitab e o gráfico Box-plot para o Delineamento fatorial em bloco casualizado possui a mesma configuração que a do Delineamento anterior.

Saída do R

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
amostra	4	0.260	0.06490	1.491	0.213
Dose	4	0.162	0.04040	0.928	0.452
bloco	15	0.288	0.01920	0.441	0.961
Residuals	76	3.308	0.04353		

Gráfico 35 – Gráfico Boxplot para Delineamento fatorial em bloco casualizado



Fonte: Próprio autor (2012)

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou a performance dos gráficos gerados pelo *software* Minitab e pelo *software* R para o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ). O *software* R pode ser considerado uma alternativa aos *softwares* comercializados. Através da análise dos gráficos foi possível concluir que os mesmos apresentam performances consideravelmente semelhantes. As divergências ocorrentes são arredondamentos decimais, que são próprios de cada *software*, e as especificações de limites de controle. Cabe ao profissional ou estudante de controle de qualidade saber entender essa divergência, e diferenciar o que realmente indica uma causa especial, que deve ser realmente considerada, ou o que indica uma causa aleatória. É importante ressaltar que as ferramentas são apenas uma forma de auxílio para o controle de qualidade. O modelo de rotinas descrito pelo autor representa uma forma de como elaborar cada uma delas, explicitando o significado de cada comando, de forma a auxiliar o usuário do *software* R.

Portanto, torna-se viável a utilização do *software* R, visto que o mesmo é livre, além de não apresentar diferenças significativas em relação ao *software* Minitab.

REFERÊNCIAS

AGUAYO, R. D. **Deming, o americano que ensinou qualidade total aos japoneses**. São Paulo: Record, 1993.

ALVAREZ, M. E. B. **Administração da qualidade e da produtividade: abordagens do processo administrativo**. São Paulo: Atlas, 2001.

BRASSARD, M. **Qualidade: Ferramentas para uma melhoria contínua**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2000.

CAMPOS, M. S. **Desvendando o Minitab**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: Uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

COSTA, A. F. B., EUGENIO, E. K.; CARPINETTI, L. C. R.; **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2005.

COSTA, J. R. **Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003.

CYMROT R.; MANIN, I. J.; LARA L. S. **Metodologia para implantação de um laboratório de Minitab, por meio da utilização de dados reais obtidos em leitura de artigos científicos**. In: XXXIV COBENGE 2006, Passo Fundo, **Anais 2006**. Disponível em <http://meusite.mackenzie.com.br/raquelc/COBENGEMinitab2006.pdf>, Acesso em 05 Jun. 2012

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. Tradução de Eduardo D'Agord Schaan...[et al.] – 3 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001. Tradução de: *Fundamentals of operations management, 3/ed.*

GIL, A. C.; **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

JURAN, J. M.; **A qualidade desde o projeto: Os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

LÍDER SOFTWARES. Disponível em:

<<http://www.liderssoftwares.com.br/minitab/jornada40anos.html> > Acesso em: 13 Jun. 2012.

MARSHALL JUNIOR, I. *et al.* **Gestão da qualidade**. 8 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC: 2004.

_____. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC: 2009.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira Thomson learning, 2001.

NAZÁRIO, L. **Proposta para implantação de um programa de controle estatístico de processo na fabricação de painéis termoisolantes numa empresa industrial de médio porte do ramo de câmaras frigoríficas**. Joinville, SC: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2008.

Disponível em

<http://www.producao.joinville.udesc.br/tgeps/2008-01/2008_1_tcc12.pdf>, Acesso em 24 Jun. 12

PALADINI, E. P. **Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistema de qualidade total**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 1997.

OLIVEIRA, O. J. *et al.* **Gestão da Qualidade: Tópicos Avançados**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. 243 p.

PETERNELLI, L. A.; MELLO, P. de. **Conhecendo o R: Uma visão estatística**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 181p.

REIS, M. M. **Um modelo para o Ensino do Controle Estatístico da Qualidade**. 2001. 379 folhas. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

R-PROJECT . Disponível em <<http://www.r-project.org>> Acesso em: 10 Jun. 2012

RYAN, T. **Estatística Moderna para Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico de Qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SILVA, R. B. V. **Curso Básico de Estatística Experimental: Uso do SISVAR na Análise de Experimentos**. Material didático elaborado para a disciplina Estatística Experimental do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2007. p. 1-68.

SOUZA, E. F. M.; PETERNELLI, L. A.; MELLO, M. P. **Software Livre R: aplicação estatística**. Disponível em

<<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/137/Apostilas%20e%20Tutoriais%20-%20R%20Project/Apostila%20R%20-%20GenMelhor.pdf>> Acesso em : 23 jun. 2012.

TOLEDO, J.C. Conceitos básicos de qualidade de produto. In: BATALHA, M.O. **Gestão Agroindustrial**. v. 1. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema, 1995.

_____. **Análise de variância: Comparação de várias situações**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

_____. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema Editora Ltda, 2006.

WOODALL, W. H.; MONTGOMERY, D. C. **Research Issues and Ideas in Statical Process Control**. *Journal of Quality Technology*, Volume 31, Nº. 4, pp. 376-386, October, 1999.

Apêndice A – Rotinas no R

Para iniciar qualquer trabalho no software R, deve-se instalar o pacote qcc. Após a instalação deve-se acessar o pacote usando o seguinte comando:
require(qcc).

Obs.: Nenhum comando no R apresenta espaço entre os caracteres.

Após o acesso ao comando deve-se importar os dados para o console (área de trabalho) do software R, usando o seguinte:

```
x=read.table ("C:/Bruna/x.txt ",header=T),
```

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

C:/Bruna/: representa a pasta em que está arquivado o conjunto de dados

txt: expressão que informa que os dados estão em formato de texto, devendo esta conversão já estar feita

Após a importação dos dados, pode-se iniciar a construção das ferramentas.

Gráfico de controle para variáveis

Comandos:

```
data(pistonrings)
```

*Acessa o conjunto de dados

```
attach(pistonrings)
```

*Acessa as variáveis do conjunto de dados

```
x=qcc.groups(x,sample)
```

*Nomeia as variáveis do conjunto de dados

```
qcc(x[1:35,],type="xbar",title="Título do gráfico ",ylab="nome do eixo y",xlab="nome do eixo x")
```

*Plota o gráfico para a média com as amostras de 1 a 35

```
qcc(diâmetro[1:35,],type="R", title="Título do gráfico ",ylab="nome do eixo y",xlab="nome do eixo x")
```

*Plota o gráfico para a amplitude com as amostras de 1 a 35

```
qcc(diâmetro[1:35,],type="S",title="Título do gráfico ",ylab="nome do eixo y",xlab="nome do eixo x")
```

*Plota o gráfico para o desvio padrão com as amostras de 1 a 35

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

1:35 representa a quantidade de amostras

type: representa o tipo de gráfico

title: título do gráfico

ylab: nomeia o eixo y

xlab: nomeia o eixo x

Gráfico EWMA

```
ewma(x, title="Título do gráfico",xlab="nome do eixo x",ylab="nome do eixo y")
```

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

title: título do gráfico

ylab: nomeia o eixo y

xlab: nomeia o eixo x

Gráfico CUSUM

`cusum(x, title="Título do gráfico",xlab="nome do eixo x",ylab="nome do eixo y")`

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

title: título do gráfico

ylab: nomeia o eixo y

xlab: nomeia o eixo x

Histograma

Para a elaboração do histograma os dados devem ser inseridos da seguinte maneira:

`x=c(dados digitados no word)`

Obs.: Os dados devem estar separados por vírgula e sem espaço. A representação dos números decimais devem ser por ponto, como por exemplo, 23.5. É interessante digitar todos os comandos no Word primeiramente. Somente o histograma requer os dados inseridos conforma a forma descrita acima, mas para as outras ferramentas os dados podem ser inseridos conforme foram inseridos para o gráfico de controle ou como foram inseridos para o histograma.

A sintaxe para o histograma (frequência absoluta) é:

`hist(x,main="Título",xlab="Nomedavariável",ylab="Frequência",xlim=c(a,b),ylim=c(d,e),col="gray")`

Onde:

x: representa o conjunto de dados inseridos anteriormente;

main: título do histograma;

xlab: nome da variável estudada;

ylab: frequência;

a: limite inferior do conjunto de dados;

b: limite superior do conjunto de dados;

d: menor valor da frequência;

e: maior valor da frequência;

col: cor do gráfico.

Diagrama de ramo e folha

A sintaxe para o gráfico de ramo e folhas é:

`stem(x)`

Onde:

x: representa o conjunto de dados inseridos.

Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é construído com o seguinte comando:

`plot(x,y,main="nome do diagrama",xlab="nome do eixo x",ylab="nome do eixo y")`

Onde:

x: representa a primeira variável;

y: representa a segunda variável.

main: nomeia o diagrama

xlab: nomeia o eixo x

ylab: nomeia o eixo y

Obs.: Como nesse caso são conjuntos de dados diferentes, deve-se inserir um e depois o outro.

Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é construído da seguinte forma:

`names(x)=c("nome1","nome2","nome3")`

```
pareto.chart(x,ylab="Frequencia",main="Título",col=cor(length(x))
```

Onde:

x: conjunto de dados inseridos anteriormente;

names(x): é usado para rotular as categorias, por exemplo, os 6M's;

ylab: rotula o eixo y

main: título do diagrama de Pareto

col: cor do gráfico

Diagrama de causa e efeito

Para o diagrama de causa e efeito usa-se a seguinte rotina:

```
cause.and.effect(cause=list(a=c("...", "..."),b=c("...", "..."),d=c("...", "..."),e=c("...", "..."),f=c("...", "..."),g=c("...", "..."),effect="efeito causado",title="Diagrama de causa e efeito")
```

Onde:

a,b,d,e,f,g: representam o nome das causas, por exemplo, os 6Ms (Mensuração, Materiais, Pessoal, Meio ambiente, Métodos e Máquinas)

... : representa as subdivisões das causas, devendo estar entre aspas, as quais são próprias do software

effect: efeito

title: título

Gráfico de controle para atributos

Para a elaboração do gráfico de controle NP utiliza-se a seguinte rotina:

```
data(x)
```

*Acessa o conjunto de dados

```
attach(x)
```

*Acessa as variáveis do conjunto de dados

```
qcc(x,size=tamanho das amostras, type="np")
```

*Nomeia as variáveis do conjunto de dados

```
qcc(data=x,size=n, type="np",title="Título do gráfico",xlab="Nome do eixo x",ylab="Nome do eixo y")
```

*Plota o gráfico np com as amostras de tamanho n

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

size: tamanho das amostras (ex:54)

type: tipo do gráfico

title: título do gráfico

xlab: nomeia o eixo y

ylab: nomeia o eixo x

Para a elaboração do gráfico de controle P utiliza-se a seguinte rotina:

data(x)

*Acessa o conjunto de dados

attach(x)

*Acessa as variáveis do conjunto de dados

qcc(x,size=tamanho das amostras, type="p")

*Nomeia as variáveis do conjunto de dados

qcc(data=x,size=n, type="p",title="Título do gráfico",xlab="Nome do eixo x",ylab="Nome do eixo y")

*Plota o gráfico p com as amostras de tamanho n

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

size: tamanho de cada amostra (ex:54)

type: tipo do gráfico

title: título do gráfico

xlab: nomeia o eixo y

ylab: nomeia o eixo x

Para a elaboração do gráfico de controle U utiliza-se a seguinte rotina:

data(pcmanufact)

*Acessa o conjunto de dados

attach(pcmanufact)

*Acessa as variáveis do conjunto de dados

qcc(x, sizes=c(n1,n2,n3,nx), type="u",title="Título do gráfico",xlab="Nome do eixo x",ylab=" Nome do eixo y")

*Plota o gráfico u com as amostras de tamanho n1, n2, n3, nx

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

n1, n2, n3, nx: representa os diferentes tamanhos de cada amostra

type: tipo do gráfico

title: título do gráfico

xlab: nomeia o eixo y

ylab: nomeia o eixo x

Para a elaboração do gráfico de controle C utiliza-se a seguinte rotina:

data(circuit)

*Acessa o conjunto de dados

attach(circuit)

*Acessa as variáveis do conjunto de dados

```
qcc(x[1:10], sizes=size[1:10], type="c",title="Título do gráfico",xlab="Nome do eixo x",ylab=" Nome do eixo y ")
```

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

1:10 representa o tamanho das amostras

type: tipo do gráfico

title: título do gráfico

xlab: nomeia o eixo y

ylab: nomeia o eixo x

Análise de capacidade do processo

Para a análise de capacidade do processo utiliza-se a seguinte rotina:

```
data(pistonrings)
```

*Acessa o conjunto de dados

```
attach(pistonrings)
```

*Acessa as variáveis do conjunto de dados

```
x=qcc.groups(x, sample)
```

*Nomeia as variáveis do conjunto de dados

```
x= qcc(x[1:10,], type="xbar", nsigmas=3, plot=FALSE)
```

```
process.capability(capacidade, spec.limits=c(168,360))
```

*Plota o gráfico para capacidade do processo com as amostras de 1 a 10

Onde:

x: representa o nome do conjunto de dados

1:10 representa a quantidade de amostras

type: representa o tipo de gráfico

168: representa o limite inferior de especificação

360: representa o limite superior de especificação

Análise de Variância

Delineamento inteiramente casualizado

```
bru<-read.table("C:/R/bruna.txt",header=TRUE)
```

```
bru$amostra<-as.factor(bru$amostra)
```

```
plot(valor~amostra,data=bru)
```

```
anava<-aov(valor~amostra,data=bru)
```

```
summary(anava)
```

```
attach(bru)
```

```
THSD<-TukeyHSD(anava,wich="amostra",ordered=F,conf.level=0.95)
```

THSD

Onde:

bru: nome do arquivo

C:/R/: C se refere ao local onde se encontra o arquivo, e o R se refere ao nome da pasta, estando o arquivo no tipo texto (txt)

conf.level= nível de confiança (95%)

Delineamento em bloco casualizado

```
bru1<-read.table("C:/R/bruna1.txt",header=TRUE)
```

```
bru1$amostra<-as.factor(bru1$amostra)
```

```
bru1$bloco<-as.factor(bru1$bloco)
```

```
plot(valor~amostra,data=bru1)

plot(valor~bloco,data=bru1)

anava<-aov(valor~amostra+bloco,data=bru1)

summary(anava)

attach(bru1)

THSD<-TukeyHSD(anava,wich="amostra",ordered=F,conf.level=0.95)

THSD
```

Delineamento fatorial em bloco casualizado

```
bru2<-read.table("C:/R/bruna2.txt",header=TRUE)

bru2$amostra<-as.factor(bru2$amostra)

bru2$bloco<-as.factor(bru2$bloco)

bru2$Dose<-as.factor(bru2$Dose)

plot(valor~amostra,data=bru2)

plot(valor~bloco,data=bru2)

plot(valor~Dose,data=bru2)

attach(bru2)

anava<-aov(valor~amostra+Dose+bloco,data=bru2)

summary(anava)

THSD<-TukeyHSD(anava,wich="amostra",ordered=F,conf.level=0.95)

THSD
```