

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À
PRODUÇÃO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

TSUYOSHI VALENTIM FUKUDA

MANAUS
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

TSUYOSHI VALENTIM FUKUDA

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À
PRODUÇÃO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gerência da Produção.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ocilde Custódio da Silva

MANAUS
2009

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Fukuda, Tsuyoshi Valentim

1
961c Controle estatístico de processo aplicado à produção de
dispositivos eletrônicos / Tsuyoshi Valentim Fukuda. - Manaus:
UFAM, 2013.
82 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) —
Universidade Federal do Amazonas / Universidade Federal de
Roraima 2013.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ocilde Custódio da Silva

1. Controle de processos – Métodos estatísticos 2. Gráficos de
controle 3. Controle de qualidade – Métodos estatísticos I. Silva,
Ocilde Custódio da (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas
III. Título

CDU (2007): 658.562.3(043.3)

TSUYOSHI VALENTIM FUKUDA

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À
PRODUÇÃO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gerência da Produção.

Aprovado em 14 de dezembro de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Ocilde Custódio da Silva, Presidente
UFAM FT

Prof^a Dr^a Silvana Dacol, Membro
UFAM FT

Prof^a Dr^a Fabiana Lucena Oliveira, Membro
Nokia do Brasil

Dedico este trabalho
em memória de meus pais
e a minha esposa

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Ocilde Custódio da Silva pela orientação e pelo acompanhamento.

A minha esposa pelo incentivo.

À Universidade Federal do Amazonas e à Faculdade de Tecnologia pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Ao Instituto Nokia de Tecnologia pela oportunidade e pelo suporte oferecido na realização dos experimentos.

RESUMO

A manufatura de produtos eletrônicos de comunicação móvel demanda um controle de qualidade apurado que é atingido através de medições e de sintonias de cada unidade produzida. O objetivo deste trabalho é avaliar o uso de controle estatístico de processo (CEP) para monitorar a qualidade dos produtos e o índice C_{pk} de capacidade do processo. Em outras palavras, este estudo compara a sensibilidade do gráfico de controle para detectar variações na média e no desvio padrão do processo. Nesse sentido, foi usada a medição de um parâmetro crítico do dispositivo produzido, a potência irradiada. Neste estudo, gráficos de controle de Shewhart e de soma cumulativa (CUSUM) foram analisados comparativamente para encontrar o melhor CEP para garantir medições mais exatas e dispositivos sintonizados com menores desvios. Shewhart, neste caso, usa a média e o desvio padrão de amostras observadas num período de tempo definido. Os gráficos de controle CUSUM, baseado em somas cumulativas, são ferramentas estatísticas usadas com sucesso para avaliar processos de diferentes indústrias. O gráfico de Shewhart foi otimizado para monitorar o índice de capacidade C_{pk} . De acordo com os resultados obtidos nas condições do experimento, o gráfico de controle CUSUM mostrou maior sensibilidade para pequenos desvios no processo. Não foi observada a eficácia do gráfico de Shewhart otimizado para monitorar o índice de capacidade C_{pk} .

Palavras-chave: CEP; Shewhart; CUSUM, C_{pk} .

ABSTRACT

Manufacturing electronic mobile communication products requires high quality control, achieved through measurements and tunings of each unit produced. The goal of this publication is the evaluation of statistical process control (SPC) to monitor the quality of products and the process capability index C_{pk} . In other words, this study compares the sensitivity of control charts to detect variations in process mean and standard deviation. In this sense, Shewhart control charts and cumulative sum (CUSUM) control charts were comparatively analyzed to select the best SPC in order to guarantee more accurate measurements and devices tuned with lower deviations. Shewhart, in this case, uses the mean and the standard deviation of samples measured during a defined period of time. CUSUM control charts, based on cumulative sums, are statistical tools successfully used to evaluate processes in different industries. The Shewhart control chart was optimized to monitor the capability index C_{pk} . According to results obtained under the conditions of this experience, CUSUM control chart has higher sensibility when the process has small shifts. It was not observed efficacy of optimized Shewhart control chart to monitor C_{pk} .

Key words: SPC, Shewhart, CUSUM, C_{pk} .

Lista de figuras e de gráficos

Figura 1 – Distribuição de z quando H_0 é verdadeira.....	20
Figura 2 – Proporção de falhas do processo e o índice de capacidade.....	25
Figura 3 – Diagrama de conexão para medição da potência do transmissor dos dispositivos sob teste.	33
Figura 4 – Fluxograma do procedimento experimental.....	34
Gráfico 1 – Exemplo de carta de controle de Shewhart	21
Gráfico 2 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 1 do computador 1.	39
Gráfico 3 – Gráfico de controle S de Shewhart do acoplador 1 do computador 1.....	40
Gráfico 4 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 1 do computador 1.....	40
Gráfico 5 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 1 do computador 1.	40
Gráfico 6 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 1 do computador 1.	41
Gráfico 7 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 1 do computador 3.	41
Gráfico 8 – Gráfico de controle S de Shewhart do acoplador 1 do computador 3.....	41
Gráfico 9 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 1 do computador 3.....	42
Gráfico 10 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 1 do computador 3.	42
Gráfico 11 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 1 do computador 3.	42
Gráfico 12 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 2 do computador 1.	43
Gráfico 13 – Gráfico de controle S de Shewhart do acoplador 2 do computador 1.....	43
Gráfico 14 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 2 do computador 1.....	44
Gráfico 15 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 2 do computador 1.	44
Gráfico 16 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 2 do computador 1.	44
Gráfico 17 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 4 do computador 2.	46
Gráfico 18 – Gráfico de controle R de Shewhart do acoplador 4 do computador 2.	46
Gráfico 19 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 4 do computador 2.....	47
Gráfico 20 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 4 do computador 2.	47
Gráfico 21 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 4 do computador 2.	47
Gráfico 22 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 2 do computador 3.	48
Gráfico 23 – Gráfico de controle R de Shewhart do acoplador 2 do computador 3.	49
Gráfico 24 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 2 do computador 3.....	49
Gráfico 25 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 2 do computador 3.	49
Gráfico 26 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 2 do computador 3.	50

Lista de quadros e de tabelas

Quadro 1 – Materiais e equipamentos utilizados.....	32
Quadro 2 – Parâmetros fornecidos do gráfico de controle para o dispositivo sob teste.....	37
Quadro 3 – Parâmetros calculados dos gráficos de controle.....	38
Quadro 4 – Parâmetros calculados dos gráficos de controle à partir de \bar{s}	39
Quadro 5 – Parâmetros calculados dos gráficos de controle com tamanho de amostra $n = 4$..	45

Tabela 1 – Comprimento médio de corrida (ARL) para carta de Shewhart.....	22
Tabela 2 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 1, $n = 30$	56
Tabela 3 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 1, $n = 30$	57
Tabela 4 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 1, $n = 30$	58
Tabela 5 – Dados obtidos do acoplador 4 do computador 1, $n = 30$	59
Tabela 6 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 2, $n = 30$	61
Tabela 7 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 2, $n = 30$	62
Tabela 8 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 2, $n = 30$	63
Tabela 9 – Dados obtidos do acoplador 4 do computador 2, $n = 30$	64
Tabela 10 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 3, $n = 30$	65
Tabela 11 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 3, $n = 30$	66
Tabela 12 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 3, $n = 30$	67
Tabela 13 – Dados obtidos do acoplador 4 do computador 3, $n = 30$	69
Tabela 14 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 1, $n = 4$	71
Tabela 15 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 1, $n = 4$	72
Tabela 16 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 1, $n = 4$	73
Tabela 17– Dados obtidos do acoplador 4 do computador 1, $n = 4$	74
Tabela 18– Dados obtidos do acoplador 1 do computador 2, $n = 4$	75
Tabela 19– Dados obtidos do acoplador 2 do computador 2, $n = 4$	76
Tabela 20– Dados obtidos do acoplador 3 do computador 2, $n = 4$	77
Tabela 21– Dados obtidos do acoplador 4 do computador 2, $n = 4$	78
Tabela 22– Dados obtidos do acoplador 1 do computador 3, $n = 4$	79
Tabela 23– Dados obtidos do acoplador 2 do computador 3, $n = 4$	80
Tabela 24– Dados obtidos do acoplador 3 do computador 3, $n = 4$	81
Tabela 25– Dados obtidos do acoplador 4 do computador 3, $n = 4$	82

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Problemática	12
1.3	Objetivo geral	13
1.4	Objetivos específicos	13
1.5	Estrutura do Trabalho	13
2	Revisão da literatura	15
2.1	Produtividade organizacional	15
2.2	Ferramentas da qualidade	15
2.3	Aplicação de ferramentas de qualidade no controle de processos industriais	16
2.4	Controle Estatístico de Processo	17
2.4.1	Definições usadas em controle estatístico de processo	18
2.4.2	Teste de hipótese estatística	19
2.4.3	Gráfico de Controle de Shewhart	20
2.4.4	Gráfico de Controle de Soma cumulativa (CUSUM)	23
2.4.5	Índices de Capacidade de Processo	24
2.4.6	Otimização do Gráfico de Controle de Shewhart para Monitoramento do Índice de Capacidade C _{pk}	26
2.5	Vantagens e desvantagens da aplicação dos gráficos de controle	30
3	Metodologia	32
3.1	Materiais e métodos	32
3.2	Procedimento experimental	32
3.2.1	Início do intervalo de amostragem	33
3.2.2	Espera pelo próximo dispositivo sob teste	33
3.2.3	Leitura da potência do dispositivo	34
3.2.4	Cálculo da média, do desvio padrão e da amplitude da amostra	35
3.2.5	Armazenamento no repositório	35
3.3	Tratamento dos dados	35
3.3.1	Tratamento estatístico	35
3.3.2	Processamento dos dados	35
4	Resultados e discussão	37
4.1	Gráficos de controle com $LIC_{\bar{x}}$, $LC_{\bar{x}}$ e $LSC_{\bar{x}}$ fornecidos	37
4.2	Gráficos de controle com limites calculados à partir de \bar{S}	38
4.2.1	Gráficos com condição inicial sob controle	39
4.2.2	Gráficos com condição inicial fora de controle	43
4.3	Gráficos de controle com tamanho da amostra reduzido	45
4.3.1	Gráficos do processo sob controle	45
4.3.2	Gráficos do processo fora de controle	48
4.4	Impacto no processo produtivo	50
4.4.1	Redução de custo	50
4.4.2	Índice C _{pk}	50
5	Conclusões	52
6	Sugestões para trabalhos futuros	53
	Referências bibliográficas	54
	Apêndice A	56
	Apêndice B	71

2 INTRODUÇÃO

O Dr. Walter A. Shewhart dos Laboratórios Bell desenvolveu o gráfico de controle no início de 1924 quando estudava variações nos produtos da Western Electric Company. As primeiras aplicações foram em fusíveis, controle de temperatura e aparelhos para estações na Hawthorne Works da Western Electric Company. Em seus estudos, Shewhart observou que variações ocorrem tanto na natureza quanto na indústria e que o estudo destas variações é o principal caminho para a melhoria da qualidade. Outra conclusão importante foi que o gráfico de controle era a principal ferramenta disponível para essa finalidade. Nesse estudo, o Dr. Shewhart concluiu que há dois princípios fundamentais. O primeiro menciona que variações são inevitáveis. O segundo afirma que observações únicas são insuficientes para a tomada de decisões. Há diversas formas para determinar padrões de um conjunto de observações. Uma delas é levantar um histograma para caracterizar sua distribuição e outra é desenhar um gráfico com as observações na linha do tempo para monitorar tendências e ciclos.

As variações observadas pelo Dr. Shewhart foram classificadas em duas causas distintas. As flutuações menores dos dados foram chamadas de causas inesperadas (*chance cause* em inglês). A combinação das diversas causas inesperadas forma um padrão e o Dr. Shewhart concluiu a partir do teorema do limite central e de observações empíricas que o padrão frequentemente seguia a distribuição normal. As demais causas, chamadas de assinaláveis (*assignable cause* em inglês), provocam desvios significativos no padrão formado pelas causas inesperadas. O gráfico de controle desenvolvido pelo Dr. Shewhart contém limites em torno da hipotética distribuição normal das causas inesperadas. Qualquer observação foras desses limites indica a presença de uma ou mais causas assinaláveis. Uma vez que as observações são colocadas sequencialmente no tempo, tendências ou padrões anormais podem ser rapidamente observados (JURAN e GODFREY, 1999).

A ferramenta de controle estatístico de processo desenvolvida pelo Dr. Shewhart sofreu melhorias e novos gráficos de controle e novas aplicações foram propostas. Como exemplo de um novo gráfico de controle, podemos citar o de soma cumulativa, também conhecido como CUSUM (do inglês *cumulative sum*), que possui maior sensibilidade para detectar causas assinaláveis que provocam variações menores (ALVES, 2003; WU, 2008). Outro exemplo de uma nova aplicação é a otimização do tradicional gráfico de Shewhart para monitorar o índice de capacidade do processo (WU et al, 2002).

Vedovello e Figueiredo (2006) descrevem as três fases do Pólo Industrial de Manaus (PIM) e a principal estratégia industrial da terceira fase, que teve início em 1991, com a

competição externa da liberalização do mercado brasileiro. Embora a indústria eletro-eletrônica tenha declinado consistentemente na terceira fase, ela ainda tem a maior participação, com 36% do faturamento total do PIM em 2005. O maior número de empresas do setor eletro-eletrônico, cerca de 80%, possui capacidade inovadora intermediária ou avançada em processo e produção empresariais, embora possuam capacidade inovadora básica em produtos, equipamentos e atividades relatadas.

Segundo dados da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) (2010), em 2009, a produção de celulares representou o segundo maior faturamento do PIM, atrás apenas dos televisores com tela LCD, mostrando a importância relativa dessa indústria.

2.1 Justificativa

A manufatura de produtos eletrônicos demanda um controle de qualidade apurado que é atingido através de medições e de sintonias em cada unidade produzida. Para que causas assinaláveis sejam identificadas e ações sejam tomadas a tempo, antes da ocorrência de falhas ou da deterioração da qualidade, gráficos de controle são indispensáveis para monitorar o processo. Visto que há diferentes gráficos de controle e diversas aplicações possíveis, um estudo teórico acompanhado de resultados práticos servirá de base para a escolha da melhor solução para o controle estatístico de um processo similar ao usado neste trabalho.

Considerando os dados de Vedovello e Figueiredo (2006), e da SUFRAMA (2010), pode-se associar à fabricação de telefones celulares a importância da inovação em processo e em produção. Neste contexto, o estudo da aplicação do controle estatístico de processo numa etapa da produção de telefones celulares é justificado.

Embora o estudo tenha sido conduzido com a análise dos resultados da produção de telefones celulares, outros processos de produção de eletro-eletrônicos podem se beneficiar deste trabalho. O controle de processo foi aplicado a um sistema de medição de potência e, por analogia, o mesmo raciocínio pode ser aplicado a outros sistemas de medição.

2.2 Problemática

As variações citadas pelo Dr. Shewhart aparecem em qualquer processo produtivo e variáveis do processo devem ser monitoradas para assegurar que o processo está sob controle. Gráficos de controle são traçados com esta finalidade, mas é necessário analisar criticamente os resultados e parâmetros utilizados para avaliar se o processo está realmente sob controle.

Segundo o levantamento da SUFRAMA (2010), de janeiro a setembro de 2009 foram produzidos mais de doze milhões de telefones celulares no PIM, o que dá uma média diária próxima a cinquenta mil aparelhos. Neste cenário, se houver um erro sistemático na produção, centenas ou milhares de aparelhos pode ter a qualidade comprometida em poucas horas.

Esta característica da produção de telefones celulares deixa clara a necessidade de uma ferramenta eficiente e eficaz para o monitoramento dos parâmetros críticos do processo. Um dos parâmetros críticos é a potência irradiada, estabelecida pela European Telecommunications Standards Institute (2005), cuja norma é referenciada pela ANATEL.

2.3 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de gráficos de controle como ferramenta de controle estatístico de processo na produção de dispositivos de comunicação móvel.

2.4 Objetivos específicos

- Aplicar o gráfico de Shewhart para monitorar a potência de transmissão de telefones celulares produzidos em uma indústria do PIM e avaliar os resultados obtidos;
- Comparar o desempenho dos gráficos de Shewhart e de CUSUM, analisando vantagens e desvantagens de cada gráfico;
- Avaliar se o gráfico de controle de Shewhart otimizado pode ser usado para monitorar o índice de capacidade Cpk.

2.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos:

- Capítulo 1 – introdução contendo a justificativa, a descrição do problema e os objetivos traçados;
- Capítulo 2 – revisão da literatura sobre os conceitos de controle estatístico de processo, com ênfase em gráficos de controle e índice de capacidade de processo;
- Capítulo 3 – descrição da metodologia empregada para alcançar os objetivos propostos;
- Capítulo 4 – apresentação e discussão dos resultados obtidos através da aplicação dos conceitos e da metodologia apresentados nos dois capítulos anteriores;
- Capítulo 5 – conclusões finais do trabalho;

- Capítulo 6 – sugestões para trabalhos futuros com base na revisão da literatura e nos resultados obtidos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura inicia com o conceito de produtividade organizacional e as sete ferramentas básicas da qualidade, mostrando como podem ser aplicadas no controle de processos industriais até chegar ao tema principal deste trabalho, que é o controle estatístico de processos utilizando gráficos de controle.

3.1 Produtividade organizacional

A produtividade organizacional pode ser calculada como a eficiência na utilização da força laboral, insumos e capital versus a receita obtida em sua conversão em vendas (MARTIN, 2008). Esta definição pode ser representada pelas expressões (2.1), (2.2) e (2.3), que utilizam índices anuais. Ajustes nos preços e mudanças na taxa de câmbio foram considerados para assegurar que a eficiência na produção seja uma estimativa sem fatores externos fora do controle da organização.

$$produtividade = \frac{\text{índice}_{ano_corrente}}{\text{índice}_{ano_anterior}} - 1 \quad (2.1)$$

$$\text{índice}_{ano_anterior} = \frac{vendas_{ano_anterior} - ajustes}{custos_operacionais_{ano_anterior} - ajustes} \quad (2.2)$$

$$\text{índice}_{ano_corrente} = \frac{vendas_{ano_corrente} - ajustes - flutuação_cambial}{custos_operacionais_{ano_corrente} - ajustes - flutuação_cambial} \quad (2.3)$$

Considerando a definição, a produtividade pode ser aumentada através do incremento nas vendas ou na redução dos custos operacionais. Este trabalho tem foco na redução dos custos operacionais através do controle do processo produtivo.

3.2 Ferramentas da qualidade

Doty (1996) lista as sete ferramentas básicas da qualidade que devem fazer parte de qualquer sistema de gestão da qualidade total (TQM):

1. Fluxogramas – representações gráficas do fluxo do processo, mostrando entradas, atividades e saídas na ordem cronológica.

2. Folhas de verificação – listas de itens inspecionados (verificados). A lista é organizada num formato padronizado para facilitar a coleta de dados e posterior análise quantitativa. O formato garante que pessoas diferentes façam a coleta da mesma forma.
3. Histogramas – sumários gráficos da variação de um conjunto de dados. Um meio de organizar, resumir, analisar e mostrar dados.
4. Diagramas de Pareto – utilizam um histograma organizado de modo a destacar os problemas mais graves, aqueles que devem ser tratados primeiro.
5. Diagramas de causa-efeito – diagramas que agrupam as causas e efeitos para mostrar sua inter-relação. O diagrama é estrutura em árvore e possui o aspecto de uma espinha de peixe. É conhecido também como diagrama de Ishikawa, nome de seu criador.
6. Gráficos de dispersão – Gráfico cartesiano que ilustra a relação entre causa e efeito entre dois tipos de dados.
7. Gráficos de controle – gráficos de uma ou mais características importantes de um produto. Utilizam técnicas estatísticas para analisar o processo, fornecendo informações para correção e melhoria do processo.

Segundo Basu (2003) existem mais de 400 ferramentas e técnicas de gestão da qualidade total. Mas nesta revisão, serão analisadas somente as sete ferramentas básicas da qualidade.

3.3 Aplicação de ferramentas de qualidade no controle de processos industriais

Segundo Doty (1996), e Juran e Godfrey (1999), o fluxograma pode ser aplicado no controle de processos industriais para identificar os fornecedores e clientes chaves, além de seus papéis no processo. O objetivo é criar um entendimento de alto nível entre os membros do time e o dono do processo. O fluxograma é a ferramenta primária para analisar o processo e verificar se o mesmo é capaz de atender às necessidades dos clientes.

Os dados registrados nas folhas de verificação fornecem indicativos para a melhoria no processo. As folhas de verificação podem conter registros da localização física de defeitos, que alimentam diagramas de Pareto para determinar o grau de urgência do problema ou de causa-efeito para determinar a causa do problema (DOTY, 1996). Outra aplicação das folhas de verificação é a lista de verificação utilizada em exames de configurações antes do início da produção (DOTY, 1996; JURAN e GODFREY, 1999).

Histogramas são usados para medir o desempenho do processo. Através do histograma pode-se estimar a média e o desvio padrão do processo para calcular sua capacidade (JURAN

e GODFREY, 1999). Na prática, histogramas são usados para diminuir a variação do processo através da identificação e interpretação dos padrões de variação (DOTY, 1996).

A priorização dos problemas a serem tratados no processo industrial é feita através de diagramas de Pareto. Para avaliar a eficácia das ações tomadas na solução desses problemas, levanta-se o diagrama de Pareto antes e depois da mudança no processo (DOTY, 1996). Juran e Godfrey (1999) destacam que diagramas de Pareto são utilizados para identificar os poucos problemas que resolvidos produzem os maiores ganhos.

Uma vez identificados os problemas, diagramas de causa-efeito são utilizados para discuti-los e resolvê-los (DOTY, 1996).

Gráficos de dispersão servem para determinar a correlação entre duas variáveis do processo sob análise. Através desta correlação é possível determinar se existe uma relação de causa-efeito (JURAN e GODFREY, 1999).

Gráficos de controle serão explorados em detalhe neste trabalho, começando pela fundamentação teórica e terminando com experimentos envolvendo diferentes tipos de gráficos de controle. Os gráficos de controle foram aplicados para detectar desvios no processo de produção de dispositivos eletrônicos.

3.4 Controle Estatístico de Processo

De acordo com Doty (1996), o controle estatístico de processo é definido como um sistema que usa a estatística para identificar causas especiais (assinaláveis) de variação num processo. Uma vez identificadas as causas, cabe aos envolvidos no processo corrigir as variações.

Os seguintes termos usados em controle estatístico de processo estão definidos em Juran (1999):

- Processo – conjunto inter-relacionado de recursos e de atividades que transformam entradas em saídas.
- Processo sob controle, processo estável – processo em que cada medida de qualidade encontra-se em um estado de controle estatístico.
- Causa comum, causa inesperada – fatores de menor importância relativa que contribuem para as variações do processo, mas não são necessariamente identificadas.
- Causa especial, causa assinalável – fatores que podem ser detectados e identificados como contribuintes da mudança de uma característica de qualidade ou do nível do processo.

- Gráfico de controle – gráfico com limites de controle superior e inferior em que são organizadas algumas medições estatísticas de uma série de amostras ou subgrupos, normalmente no tempo ou na ordem de amostragem. O gráfico frequentemente possui uma linha central para facilitar a observação de tendência das medições em direção a um dos limites de controle.

Os gráficos de controle podem ser de atributos ou de variáveis (ALVES, 2003; CHANDRA, 2001; DOTY, 1996; JURAN 1999). Os gráficos de controle de atributos são aplicadas para contagem ou cálculo da proporção de não-conformidades do processo. Este trabalho usa gráficos de controle de variáveis, pois estão associadas a medidas de qualidade, ou seja, variáveis aleatórias. Os gráficos de Shewhart e de CUSUM definidas em 3.4.3 e 3.4.4 são de variáveis.

3.4.1 Definições usadas em controle estatístico de processo

Neste trabalho, será utilizado o estimador sem viés de média da amostra \bar{x} , definido pela equação (2.4), para estimar a média da população μ . Nas equações, a variável n representa o tamanho da amostra.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j \quad (2.4)$$

Para avaliar a qualidade da estimativa dada por \bar{x} , para uma amostra $X = (X_1, \dots, X_n)$, pode-se calcular a variância da amostra através da equação (2.5).

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{x})^2 \quad (2.5)$$

Quanto menor a variância da amostra, mais próximas de \bar{x} estão as observações da amostra X e maior é a confiança de que \bar{x} está próxima de μ (LEON-GARCIA, 1994).

O desvio padrão da amostra é definido por s , raiz quadrada da variância. O desvio padrão da população é representado pela letra σ . O estimador de desvio padrão s possui viés e deve ser corrigido pelo fator c_n para calcular σ (MONTGOMERY e RUNGER, 2003), equações (2.6) e (2.7).

Ao invés de estimar um valor para a média, é possível trabalhar com um intervalo $[a, b]$ e a probabilidade $1 - \alpha$ de que μ esteja neste intervalo, conforme a equação (2.8). Leon-

Garcia (1994) menciona que o intervalo $[a, b]$ possui $(1 - \alpha) * 100\%$ de intervalo de confiança.

$$c_n = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left[\frac{n-1}{2}\right]} \quad (2.6)$$

$$\sigma = c_n s \quad (2.7)$$

$$P[a \leq \mu \leq b] = 1 - \alpha \quad (2.8)$$

Os conceitos de média, variância, desvio padrão e intervalo de confiança são importantes para o teste de hipótese estatística, que é um das bases do controle estatístico de processo.

3.4.2 Teste de hipótese estatística

De acordo com Chandra (2001), sendo considerada a média da população e sua estimativa, è possível trabalhar com as hipóteses representadas pelas equações (2.9) e (2.10).

$$H_0 : \bar{x} = \mu \quad (2.9)$$

$$H_1 : \bar{x} \neq \mu \quad (2.10)$$

Segundo Montgomery e Runger (2003), **erro do tipo I** é definido como sendo a rejeição da hipótese H_0 quando ela é verdadeira. A probabilidade do erro do tipo I ocorrer é representada pela letra α .

$$\alpha = P[\text{erro to tipo I}] = P[\text{rejeitar } H_0 \text{ quando } H_0 \text{ é verdadeira}] \quad (2.11)$$

Ainda segundo Montgomery e Runger (2003), **erro to tipo II** é definido como sendo a falha na rejeição da hipótese H_0 quando ela é falsa. A probabilidade do erro do tipo II ocorrer é representada pela letra β .

$$\beta = P[\text{erro to tipo II}] = P[\text{não rejeitar } H_0 \text{ quando } H_0 \text{ é falsa}] \quad (2.12)$$

Neste trabalho, o teste de hipótese é aplicado à média (\bar{x}) da amostra de uma distribuição normal com variância (σ^2) do processo conhecida. Por conveniência, comumente usa-se a média normalizada da amostra, conforme definido na equação (2.13).

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (2.13)$$

Na região de aceitação (Figura 1), é apresentado o intervalo definido pela inequação (2.14) em que a hipótese H_0 deveria ser aceita.

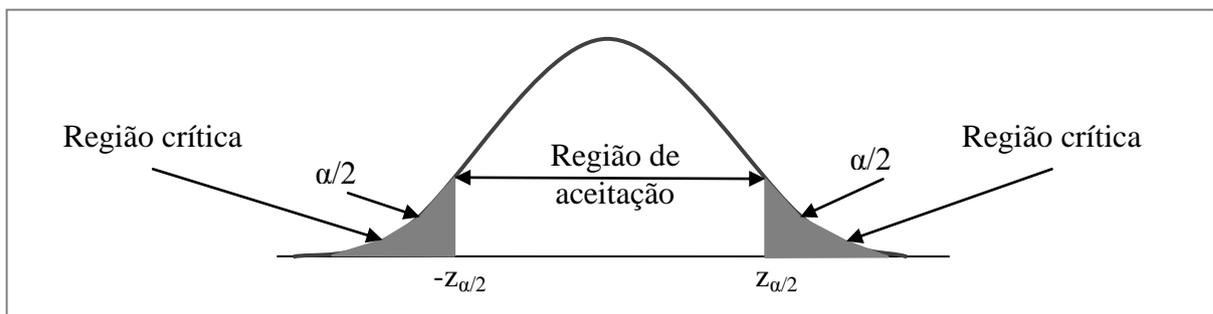


Figura 1 – Distribuição de z quando H_0 é verdadeira.

FONTE: Montgomery e Runger, 2003.

$$-z_{\frac{\alpha}{2}} \leq z \leq z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (2.14)$$

Substituindo (2.13) em (2.14) obtém-se a inequação (2.15), que define a região de aceitação da hipótese H_0 .

$$\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.15)$$

A região de aceitação da hipótese H_0 será usada para definir parâmetros do gráfico de controle.

3.4.3 Gráfico de Controle de Shewhart

Um processo está estatisticamente sob controle quando a hipótese H_0 é aceita (CHANDRA, 2001). Da inequação (2.15) tiramos a definição de limite inferior de controle inferior (LIC) e limite superior de controle (LSC) para validar a hipótese H_0 :

$$LIC = \mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.16)$$

$$LSC = \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.17)$$

A linha central (LC) é definida como sendo a média da população μ :

$$LC = \mu \quad (2.18)$$

O Dr. Walter Shewhart recomendou $\alpha=0.0026$ (probabilidade do erro do tipo I ocorrer), ou seja, $z_{\alpha/2}=3$, em seus estudos. Com este valor os limites de controle para o gráfico de controle de Shewhart ficam a 3σ da linha central (CHANDRA, 2001; MONTGOMERY e RUNGER, 2003). A Gráfico 1 é um exemplo de gráfico de controle de Shewhart com linha central de 0,368, limite de controle inferior de 0,352 e limite de controle superior de 0,384.

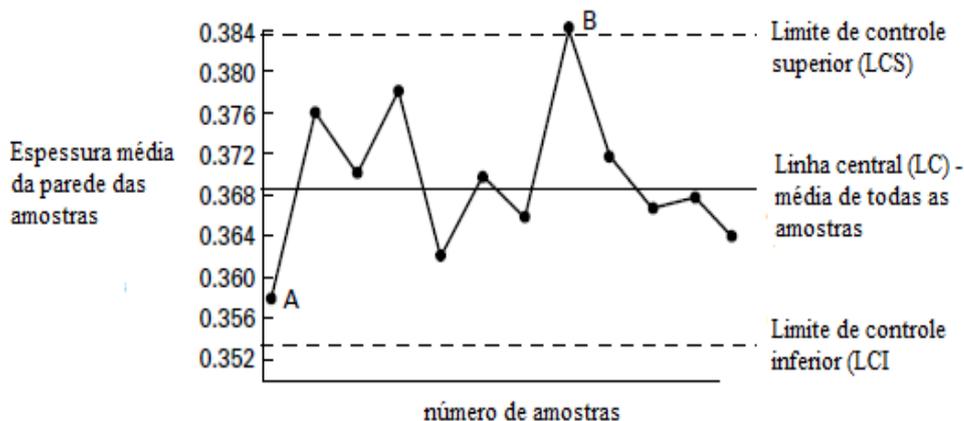


Gráfico 1 – Exemplo de carta de controle de Shewhart

FONTE: JURAN e GODFREY, 1999

No gráfico de Shewhart, aplicando-se a equação (2.6), o intervalo de confiança é de $1 - 0.0026 = 0.9974$, ou seja, 99.74%.

Observa-se que quanto maior $z_{\alpha/2}$, menor a probabilidade de erro do tipo I (indicação de fora de controle quando o processo está sob controle). Contudo, isto aumenta a probabilidade de erro do tipo II (indicação de processo sob controle quando está fora de controle). Portanto, a definição dos limites de controle afeta o desempenho do gráfico.

Outro fator que afeta o desempenho do gráfico é o tamanho da amostra e a frequência da amostragem. Para avaliar este fator, usa-se o comprimento médio de corrida, ARL do inglês *Average Run Length*, definido pela equação (2.19) (ALVES, 2003; MONTGOMERY e RUNGER, 2003). O parâmetro p da equação (2.19) é a probabilidade de que um ponto

ultrapasse um dos limites de controle. Na Figura 1, p corresponde às áreas sombreadas, portanto $p=\alpha$ neste caso. O comprimento médio de corrida (ARL) é o número médio de pontos necessários para que o gráfico indique uma condição fora de controle.

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (2.19)$$

Para o gráfico de Shewhart sem desvio no processo, $ARL = 1/0.0026 \cong 370$. Neste caso, espera-se um erro do tipo I a cada 370 pontos em média.

A Tabela 1 mostra como o número de amostras e o desvio do processo afeta o comprimento médio de corrida do gráfico de controle de Shewhart. Por exemplo, um desvio de 0.5σ é detectado, em média, após 44 pontos quando o número de amostras é igual a quatro.

Magnitude do desvio do processo	ARL para n=1	ARL para n=4
0	370.4	370.4
0.5σ	155.2	43.9
1.00σ	43.9	6.3
1.5σ	15.0	2.0
2.0σ	6.3	1.2
3.0σ	2.0	1.0

Tabela 1 – Comprimento médio de corrida (ARL) para carta de Shewhart.

FONTE: Montgomery e Runger, 2003.

Segundo Montgomery e Runger (2003), dado σ , os limites de controle para o gráfico de desvio são calculados usando-se as equações (2.20) e (2.22).

$$LIC = c_n \sigma - 3\sigma \sqrt{1 - c_n^2} \quad (2.20)$$

$$LC = c_n \sigma \quad (2.21)$$

$$LSC = c_n \sigma + 3\sigma \sqrt{1 - c_n^2} \quad (2.22)$$

Caso seja necessário estimar o valor de σ , as equações (2.23) a (2.26) devem ser usadas para calcular os limites de controle do desvio.

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i \quad (2.23)$$

$$LIC = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_n} \sqrt{1 - c_n^2} \quad (2.24)$$

$$LC = \bar{s} \quad (2.25)$$

$$LSC = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_n} \sqrt{1 - c_n^2} \quad (2.26)$$

Quando se estima o valor do desvio, os limites de controle da média são calculados usando-se as equações (2.27) a (2.30), de acordo com Montgomery e Runger (2003).

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i \quad (2.27)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{s}}{c_n \sqrt{n}} \quad (2.28)$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (2.29)$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{s}}{c_n \sqrt{n}} \quad (2.30)$$

3.4.4 Gráfico de Controle de Soma cumulativa (CUSUM)

De acordo com Montgomery e Runger (2003), o método CUSUM tabular é expresso pela equação (2.31) para gráficos do semiplano superior e pela equação (2.32) para gráficos do semiplano inferior. A equação (2.33) mostra a condição inicial para ambos os casos. Estas equações aplicam-se para carta CUSUM assimétrica, com resultados sempre positivos, o que requer apenas uma comparação com o valor limite, não importando se \bar{x}_i é maior ou menor que μ_0 .

$$s_H(i) = \max[0, \bar{x}_i - (\mu_0 + K) + s_H(i-1)] \quad (2.31)$$

$$s_L(i) = \max[0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_i + s_L(i-1)] \quad (2.32)$$

$$s_H(0) = s_L(0) = 0 \quad (2.33)$$

Nas equações (2.31) e (2.32), \bar{x}_i é o valor médio da amostra i , μ_0 é o valor alvo e K é o parâmetro de referência calculado utilizando-se a equação (2.34). Montgomery e Runger (2003) sugerem $k=0.5$ para CUSUM convencional e Wu et al (2008), $k=0.95$ para CUSUM ótimo.

$$K = k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.34)$$

O limite de controle H da carta CUSUM é definido pela equação (2.35). O Valor de h para CUSUM convencional deve se situar entre 4 e 5 (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Alves (2003) recomenda $h=4.77$ para que o comprimento médio de corrida seja equivalente ao do gráfico de Shewhart com limites de controle ajustados para 3σ . Wu et al (2008) recomenda $h=2.662$ para CUSUM ótimo.

$$H = h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.35)$$

Os experimentos deste trabalho consideraram CUSUM convencional ($k=0.5$ e $h=4.77$) e CUSUM ótimo ($k=0.95$ e $h=2.662$).

3.4.5 Índices de Capacidade de Processo

Um índice de capacidade mede o desempenho do processo quando a operação está sob controle (MONTGOMEY e RUNGER, 2003).

No estudo elaborado por Miranda (2005), os índices de capacidade estão classificados em gerações. A primeira geração é composta pelos primeiros índices criados nas décadas de 70 e de 80. A segunda geração foi criada em meados da década de 80 com o objetivo de penalizar processos fora do alvo. A terceira geração foi desenvolvida para lidar com casos específicos, sendo de difícil interpretação e de baixa aceitação. Este trabalho tem foco nos índices de primeira geração.

3.4.5.1 Índice C_p

O índice C_p é definido pela equação (2.36). O numerador é a diferença entre o limite superior de especificação (LSE) e o limite inferior de especificação (LIE).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.36)$$

De acordo com Montgomery e Runger (2003), quando C_p é igual a um, 0,27% dos produtos não estão em conformidade com o especificado. Isso quer dizer que $C_p = 1$ equivale a 2700 ppm (partes por milhão) de não-conformidades.

Caso o processo sofra um deslocamento na média, o índice C_p vai sofrer uma redução. Por isso o índice C_p indica a capacidade potencial do processo (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

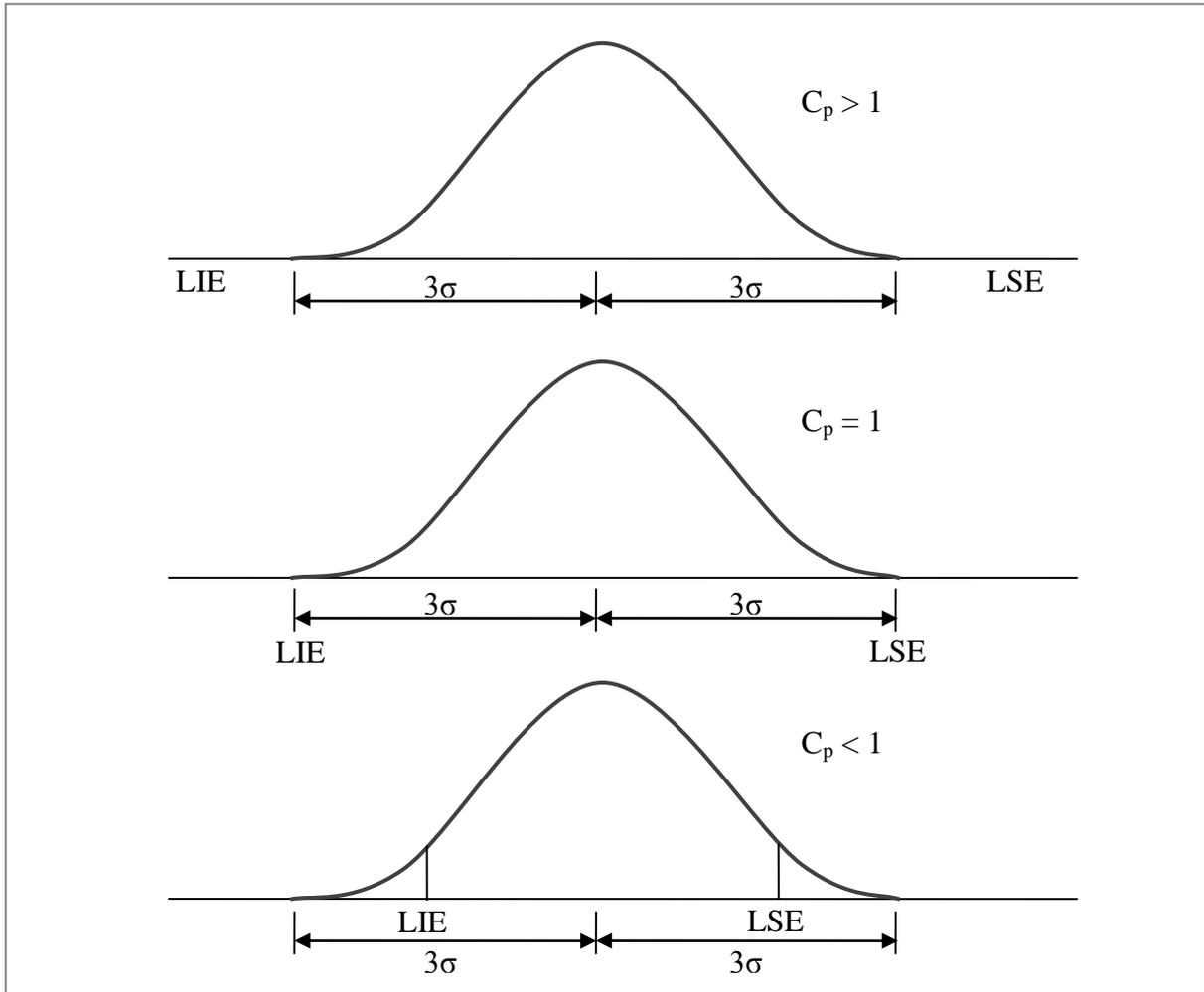


Figura 2 – Proporção de falhas do processo e o índice de capacidade.

FONTE: Montgomery e Runger, 2003.

3.4.5.2 Índice C_{pk}

O índice C_{pk} foi desenvolvido para considerar o deslocamento da média no cálculo.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right] \quad (2.37)$$

Este é o índice mais utilizado para medir a capacidade de processos (MIRANDA, 2005).

Quando um processo possui $C_{pk} = 2$, significa que a média está distante 6σ de um dos limites de especificação e é denominado de processo seis sigmas. Um processo seis sigmas possui uma proporção de falhas calculada de 0,0018 partes por milhão, segundo Montgomery e Runger (2003).

Miranda (2005) apresenta o intervalo de confiança para o índice Cpk em função do tamanho da amostra.

3.4.6 Otimização do Gráfico de Controle de Shewhart para Monitoramento do Índice de Capacidade Cpk

O processo de otimização utilizado neste trabalho foi proposto por Wu (2002). O algoritmo de otimização tem como objetivo obter um equilíbrio entre a taxa de falso alarme (quantificado por ARL_0), poder de detecção (quantificado por ARL_d) e o custo da amostragem (função do tamanho n da amostra)

Os seguintes parâmetros devem ser especificados para executar o algoritmo de otimização:

LIE	limite inferior de especificação
LSE	limite superior de especificação
σ_0	desvio padrão do processo sob controle
$c_{pk,d}$	índice de capacidade do processo fora de controle (valor padrão 1)
ARL_0	comprimento médio de corrida requerido para processo sob controle (valor padrão 370)
ARL_d	comprimento médio de corrida requerido para processo fora de controle (valor padrão 2)

Os valores padrões sugeridos entre parênteses são comuns em controle estatístico de processo. O valor unitário para $c_{pk,d}$ faz com que os limites de tolerância naturais de uma característica de qualidade coincida com os limites de especificação LIE e LSE. O valor 370 para ARL_0 é igual ao do gráfico de controle \bar{X} com limites em 3σ . O valor 2 para ARL_d é um compromisso entre o tamanho da amostra e o poder de detecção.

3.4.6.1 Modelo de otimização

O modelo de otimização pode ser formulado de modo a minimizar o tamanho n da amostra, de modo a satisfazer

$$arl_0 \geq ARL_0 \text{ na condição de } C_{pk} = c_{pk,0}$$

$$arl_d \leq ARL_d \text{ na condição de } C_{pk} = c_{pk,d}$$

com as variáveis de projeto n , $LIC_{\bar{x}}$, $LSC_{\bar{x}}$, LIC_S e LSC_S .

Os valores arl_0 e arl_d são comprimentos médios de corrida correntes do processo sob controle e fora de controle, respectivamente. Os limites de controle $LIC_{\bar{X}}$ e $LSC_{\bar{X}}$ são do gráfico de controle \bar{X} . Os limites de controle LIC_S e LSC_S são do gráfico de controle S.

Visto que os gráficos de controle são usados para monitorar a deterioração da qualidade, pode-se considerar LIC_S como sendo zero, condição de desvio padrão em que C_{pk} tende a infinito. Com isso restam quatro variáveis de projeto: n , $LIC_{\bar{X}}$, $LSC_{\bar{X}}$, LIC_S . A variável n é independente e as demais dependem de n , ARL_0 e ARL_d .

A máxima probabilidade permitida α do erro do tipo I pode ser calculada à partir de ARL_0 :

$$\alpha = \frac{1}{ARL_0} \quad (2.38)$$

Os componentes de α são as probabilidades de erro tipo I devido ao gráfico de controle \bar{X} ($\alpha_{\bar{X}}$) e ao gráfico de controle S (α_S):

$$\alpha = \alpha_{\bar{X}} + \alpha_S - \alpha_{\bar{X}}\alpha_S \quad (2.39)$$

Dado um par $(\alpha_{\bar{X}}, \alpha_S)$, podem-se determinar os limites de controle do gráfico de controle \bar{X} :

$$LIC_{\bar{X}} = \mu_0 - z \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (2.40)$$

$$LSC_{\bar{X}} = \mu_0 + z \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (2.41)$$

Onde z é o ponto percentual de uma distribuição normal:

$$z = \Phi^{-1}(1 - 0.5\alpha_{\bar{X}}) \quad (2.42)$$

Para o gráfico S:

$$LIC_S = 0 \quad (2.43)$$

$$LSC_S = \sigma_0 \sqrt{\frac{\chi_{\alpha_S, n-1}^2}{n-1}}$$

Onde $\chi_{\alpha_S, n-1}^2$ é a função inversa da variável aleatória chi-quadrado com n-1 graus de liberdade e com probabilidade cumulativa igual a $1-\alpha_S$.

Considerando o padrão de deslocamento $(\delta_\mu, \delta_\sigma)$, a média e do desvio padrão do processo podem ser reescritos como

$$\mu = \mu_0 + \delta_\mu \sigma_0 \quad (2.44)$$

$$\sigma = \delta_\sigma \sigma_0 \quad (2.45)$$

onde $\delta_\sigma \geq 1$.

O índice de capacidade $c_{pk,d}$ pode ser reescrito usando o padrão de deslocamento para $\delta_\mu \geq 0$

$$c_{pk,d} = \frac{LSE - (\mu_0 + \delta_\mu \sigma_0)}{3\delta_\sigma \sigma_0} \quad (2.46)$$

De onde se conclui que há infinitos padrões de deslocamento $(\delta_\mu, \delta_\sigma)$ que resultam em um mesmo $c_{pk,d}$.

Considerando o valor mínimo $\delta_{\sigma, \min} = 1$, pode-se calcular o valor máximo $\delta_{\mu, \max}$

$$\delta_{\mu, \max} = \frac{LSE - \mu_0 - 3c_{pk,d} \sigma_0}{\sigma_0} \quad (2.47)$$

Para um dado valor de δ_μ pode-se calcular o correspondente δ_σ

$$\delta_\sigma = \frac{LSE - (\mu_0 + \delta_\mu \sigma_0)}{3c_{pk,d} \sigma_0} \quad (2.48)$$

Para calcular o comprimento médio de corrida arl_d , é preciso calcular a potência do gráfico de controle. Dado um padrão de desvio $(\delta_\mu, \delta_\sigma)$ e o padrão de limite de controle ($LIC_{\bar{x}}$, $LSC_{\bar{x}}$, LSC_S), pode-se calcular a potência do gráfico de controle da média ($P_{\bar{x}}$) e do desvio padrão (P_S).

$$P_{\bar{x}} = 1 - \left\{ \Phi \left[\frac{LSC_{\bar{x}} - (\mu_0 + \delta_\mu \sigma_0)}{\frac{\delta_\sigma \sigma_0}{\sqrt{n}}} \right] - \Phi \left[\frac{LIC_{\bar{x}} - (\mu_0 + \delta_\mu \sigma_0)}{\frac{\delta_\sigma \sigma_0}{\sqrt{n}}} \right] \right\} \quad (2.49)$$

$$P_S = 1 - \chi_{n-1}^2 \left[\frac{n-1}{(\delta_\mu \sigma_0)^2} LSC^2 \right] \quad (2.50)$$

A potência combinada (P) dos dois gráficos de controle é calculada à partir de $P_{\bar{x}}$ e de P_S .

$$P = P_{\bar{x}} + P_S - P_{\bar{x}} P_S \quad (2.51)$$

E o comprimento médio de corrida para o padrão de desvio ($\delta_\mu, \delta_\sigma$) é o inverso de P .

$$arl_d(\delta_\mu, \delta_\sigma) = \frac{1}{P} \quad (2.52)$$

Visto que há infinitas combinações de padrão de desvio ($\delta_\mu, \delta_\sigma$), é preciso calcular a média de todas as combinações para se chegar ao comprimento médio de corrida arl_d .

$$arl_d(\alpha_{\bar{x}}) = \int_0^{\delta_{\mu, \text{máx}}} arl_d(\delta_\mu, \delta_\sigma(\delta_\mu)) f(\delta_\mu) d\delta_\mu \quad (2.53)$$

Onde $f(\delta_\mu)$ é a função densidade de probabilidade de δ_μ .

A viabilidade do tamanho n da amostra é verificada através do procedimento descrito a seguir:

1. Calcula-se o valor de α à partir de ARL_0
2. Calcula-se $\delta_{\mu, \text{máx}}$
3. Procura-se o valor ótimo de $\alpha_{\bar{x}}$ dentro da faixa ($0 < \alpha_{\bar{x}} < \alpha$). Para cada valor de $\alpha_{\bar{x}}$
 - a. Calcula-se o valor correspondente de α_S
 - b. Determina-se o padrão dos limites de controle ($LIC_{\bar{x}}$, $LSC_{\bar{x}}$, LSC_S)
 - c. Calcula-se $arl_d(\alpha_{\bar{x}})$
4. Se arl_d for menor ou igual ARL_d , o tamanho de amostra n é viável.

Para se obter tamanho n mínimo, o procedimento descrito é iniciado com $n = 2$, com incremento unitário, até que o tamanho n seja viável.

3.5 Vantagens e desvantagens da aplicação dos gráficos de controle

Como qualquer ferramenta da qualidade, os gráficos de controle possuem vantagens e desvantagens que devem ser consideradas antes de sua adoção.

Montgomery e Runger (2003) listaram cinco vantagens que popularizaram os gráficos de controle:

1. São técnicas comprovadas para melhoria da produtividade. Um programa de gráficos de controle bem sucedido diminui a quantidade de retrabalhos e de rejeitos, que são causas primárias da perda de eficiência em qualquer operação. Reduzindo os retrabalhos e os rejeitos, a produtividade aumenta, os custos diminuem e a capacidade produtiva aumenta.
2. São efetivos na prevenção de defeitos. Os gráficos de controle ajudam a manter o processo sob controle, que é consistente com a filosofia de fazer certo da primeira vez. Quanto mais tarde identificar unidades defeituosas, mais caro fica o processo. Se um controle de processo não é efetivo, gasta-se para produzir produtos não-conformes.
3. Previnem ajustes desnecessários no processo. Um gráfico de controle pode distinguir o que é ruído de fundo de variações anormais. Não há meio mais efetivo para fazer esta distinção, a não ser os gráficos de controle. Ajustes realizados com base em testes periódicos sem gráficos de controle podem levar a ajustes desnecessários no processo, que por sua vez podem levar a uma deterioração no desempenho do processo. Em outras palavras, o gráfico de controle adota a filosofia de não consertar se não estiver quebrado.
4. Fornecem informações de diagnóstico. Frequentemente o padrão dos pontos de um gráfico de controle contém informações para o diagnóstico do processo. Essas informações permitem a implementação de mudanças para melhoria de desempenho do processo.
5. Fornecem informações sobre a capacidade do processo. Os gráficos de controle fornecem parâmetros importantes do processo e de sua estabilidade na linha do tempo para a estimativa da capacidade do processo.

Os gráficos de controle possuem algumas desvantagens inerentes:

1. A detecção de desvios no processo não é instantânea. O comprimento médio de corrida, definido pela equação 2.19, fornece o número de amostras necessárias para detectar tais desvios. A Tabela 1 fornece alguns valores de comprimento médio de corrida para o gráfico de Shewhart. Observa-se que mesmo na ausência de desvio o gráfico pode acusar uma situação fora de controle (erro do tipo I).

2. O projeto do gráfico de controle requer cuidado. Chandra (2001) chama a atenção para a escolha do tamanho da amostra. No experimento realizado neste trabalho, constatou-se que um tamanho inadequado tira a eficácia do gráfico de controle.

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados no procedimento experimental e o tratamento dos dados coletados.

4.1 Materiais e métodos

Para a obtenção dos dados, foram utilizados os materiais e equipamentos listados no Quadro 1.

Item	Quantidade	Descrição
1	3	Computador
2	3	Comutador de rádio frequência
3	6	Medidor de potência
4	6	Cabo USB
5	3	Cabo Ethernet
6	18	Cabo coaxial de 50Ω
7	12	Acoplador de rádio frequência com blindagem eletromagnética
8	18720 ⁽¹⁾ 1920 ⁽²⁾	Dispositivo sob teste com transmissor de rádio frequência

Quadro 1 – Materiais e equipamentos utilizados.

Notas: (1) primeiro experimento
(2) segundo experimento

FONTE: o autor.

A Figura 3 mostra como os equipamento e matérias foram usados para a coleta de dados. O computador controla o comutador de rádio frequência para definir a interconexão entre um acoplador e um instrumento de medição. Este arranjo permite medidas de potência simultâneas de dois dispositivos sob teste, além de permitir a preparação dos próximos dispositivos em paralelo com as medições. Os acopladores de rádio frequência são blindados para evitar interferência eletromagnética, garantindo assim que a medida é da potência do sinal transmitido pelo dispositivo sob teste.

4.2 Procedimento experimental

O fluxograma da Figura 4 ilustra o processo de amostragem em cada acoplador de rádio frequência da Figura 3. Os itens 4.2.1 a 4.2.4 descrevem os blocos do fluxograma.

4.2.1 Início do intervalo de amostragem

Cada intervalo de amostragem teve duração suficiente para obter o tamanho da amostra definido. O tamanho da amostra inicialmente escolhido foi trinta, para que a distribuição aproximasse da normal. Após os primeiros experimentos, constatou-se que um tamanho de amostra menor seria mais apropriado, conforme sugerido por Alves (2003) e Montgomery e Runger (2003).

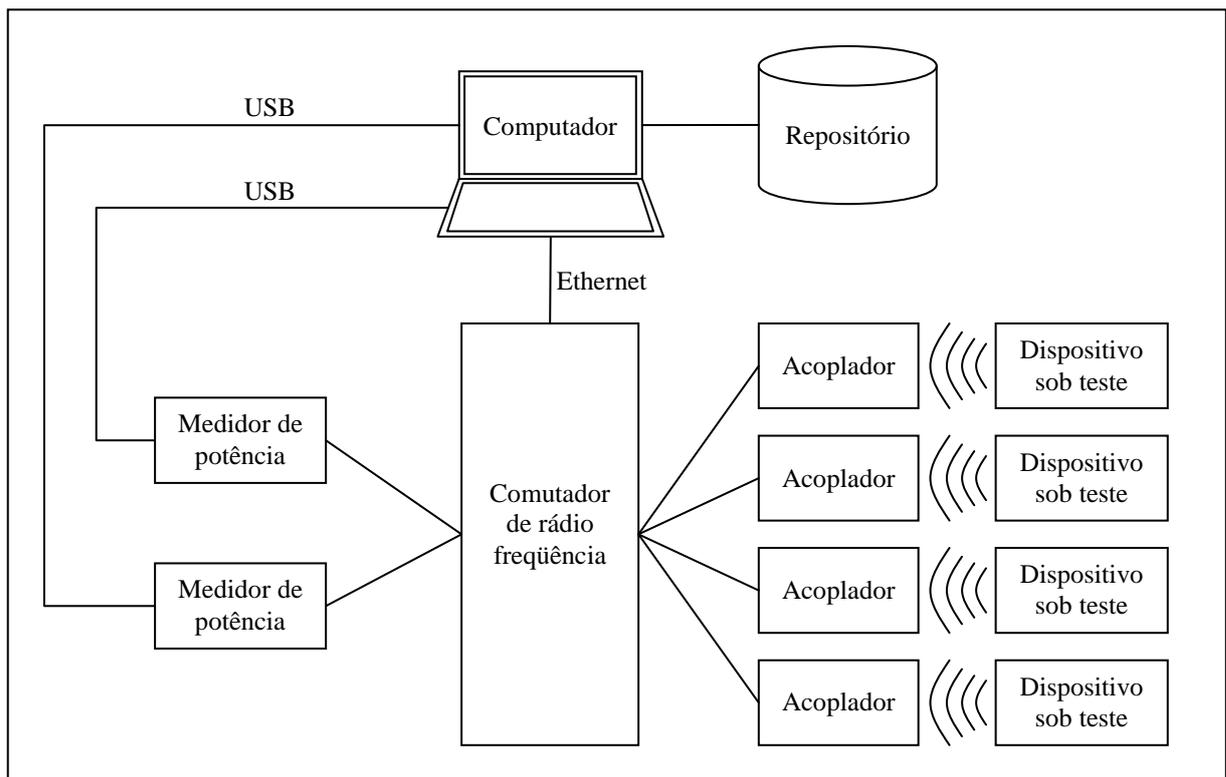


Figura 3 – Diagrama de conexão para medição da potência do transmissor dos dispositivos sob teste.

FONTE: o autor.

4.2.2 Espera pelo próximo dispositivo sob teste

O intervalo de espera é necessário para que ocorra a comutação do circuito entre o acoplador e o medidor de potência. Além disso, deve-se esperar pela estabilização da potência do transmissor após a alimentação do dispositivo sob teste.

Cabe ressaltar que os dispositivos são escolhidos aleatoriamente para a realização das medições em um determinado acoplador associado a um determinado computador. Isso significa que um eventual viés de etapas anteriores do processo não provoca o mesmo viés nos resultados obtidos.

4.2.3 Leitura da potência do dispositivo

O computador realiza a leitura da potência no medidor de potência. Visto que há perdas entre o dispositivo sob teste e o medidor de potência, o computador calcula a potência do transmissor do dispositivo com base no valor lido. Este cálculo considera as perdas nos cabos, no comutador de rádio frequência e no acoplador de rádio frequência.

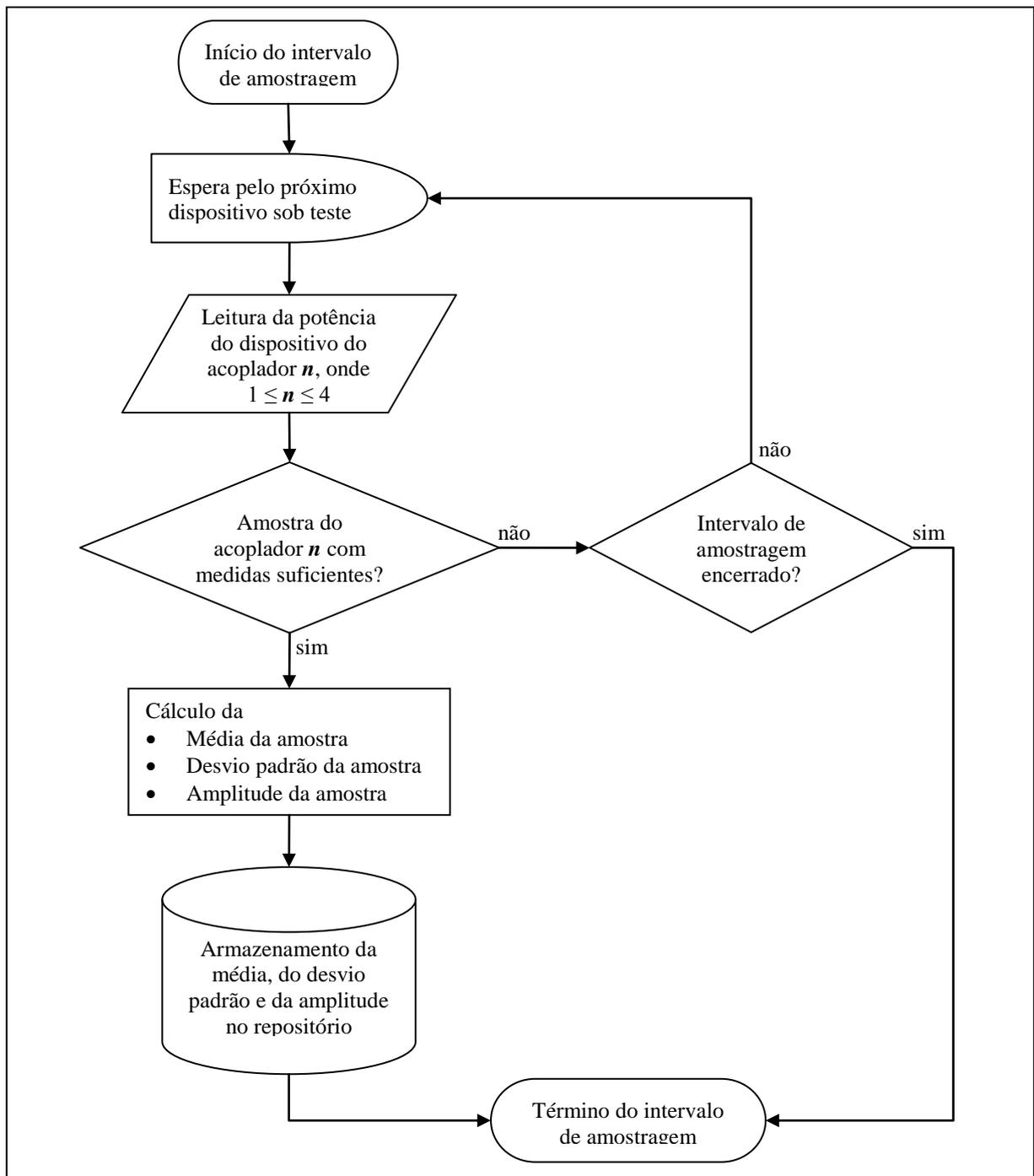


Figura 4 – Fluxograma do procedimento experimental.

FONTE: o autor.

4.2.4 Cálculo da média, do desvio padrão e da amplitude da amostra

Se em um intervalo de amostragem houver medições suficientes referentes a um acoplador de rádio frequência, a média, o desvio padrão e a amplitude da amostra são calculadas. Caso contrário, os valores lidos são descartados e aguarda-se o próximo intervalo de amostragem.

4.2.5 Armazenamento no repositório

Os valores da média, do desvio padrão e da amplitude da amostra são armazenados em um arquivo texto para posterior tratamento. Um arquivo texto contém a média, o desvio padrão e a amplitude da amostra do acoplador que satisfaz o critério exposto no item 4.2.4. Isso significa que cada arquivo texto contém no máximo doze resultados.

4.3 Tratamento dos dados

Os resultados armazenados em arquivos texto foram exportados para uma planilha Microsoft® Office Excel®, onde os dados foram tratados. Verschuuren (2008) apresenta de forma concisa como usar planilhas Microsoft® Office Excel® para traçar gráficos e fazer análises estatísticas.

4.3.1 Tratamento estatístico

Os dados importados para a planilha foram tratados para estimar a média, o desvio padrão e a amplitude da população. A média da população foi estimada através da média das médias das amostras. O desvio padrão foi estimado pela média dos desvios padrões das amostras, corrigidos pela constante c_n . Para tamanho da amostra $n = 4$ a constante é $c_4 = 0,9213$ e para $n = 30$, $c_{30} = 0,9914$.

4.3.2 Processamento dos dados

O processamento dos dados depende do gráfico de controle escolhido e os sub-itens 4.3.2.1 a 4.3.2.4 descrevem as particularidades de cada caso.

4.3.2.1 Shewhart tradicional

Os gráficos de controle da média & da amplitude e da média & do desvio padrão serão traçados para comparação com os gráficos de controle CUSUM. Os gráficos com desvios significativos serão analisados e comentados.

4.3.2.2 Shewhart otimizado

Utilizando os valores padrões de $c_{pk,d} = 1$, $ARL_0 = 370$ e $ARL_d = 2$, será verificado se o tamanho da amostra n satisfaz a condição $arl_d \leq . ARL_d$.

Satisfeita a condição para arl_d , serão calculados os limites de controle que serão aplicados aos gráficos de Shewhart para verificar se é possível detectar um índice de capacidade abaixo do esperado.

4.3.2.3 CUSUM tradicional

Foram aplicados os parâmetros $k = 0,50$ e $h = 0,477$ para traçar o gráfico de controle de soma cumulativa da média. Neste trabalho não foi considerado o gráfico de controle de soma cumulativa do desvio padrão.

Compara-se o desempenho do gráfico de controle de CUSUM tradicional ao gráfico de controle de Shewhart tradicional.

4.3.2.4 CUSUM otimizado

Foram aplicados os parâmetros $k = 0,95$ e $h = 0,2622$ para traçar o gráfico de controle de soma cumulativa da média. Neste trabalho não foi considerado o gráfico de controle de soma cumulativa do desvio padrão.

Compara-se o desempenho do gráfico de controle de CUSUM otimizado ao gráfico de controle de CUSUM e de Shewhart tradicionais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados do processamento dos dados e sua discussão. Os anexos A e B trazem todos os dados coletados no experimento.

5.1 Gráficos de controle com $LIC_{\bar{x}}$, $LC_{\bar{x}}$ e $LSC_{\bar{x}}$ fornecidos

O Quadro 2 contém os parâmetros fornecidos do gráfico de controle de Shewhart do dispositivo sob teste. Os valores fornecidos foram levantados pela equipe responsável pelo projeto do dispositivo sob teste.

Gráfico de controle	Parâmetro do gráfico	Valor	Unidade
Shewhart tradicional	$LSC_{\bar{x}}$	35,00	dBm
	$LC_{\bar{x}}$	33,00	
	$LIC_{\bar{x}}$	31,00	

Quadro 2 – Parâmetros fornecidos do gráfico de controle para o dispositivo sob teste.

FONTE: o autor.

À partir dos parâmetros fornecidos, pode-se calcular o desvio padrão σ considerando o tamanho da amostra $n = 30$:

$$\sigma = \frac{LSC_{\bar{x}} - LC_{\bar{x}}}{3} \sqrt{n} = \frac{35,00 - 33,00}{3} \sqrt{30} = 3,65dBm \quad (4.1)$$

O Quadro 3 apresenta os demais parâmetros dos gráficos de controle, considerando $c_{30}=0,9914$, como exposto em 4.3.1.

O desvio padrão estimado à partir dos dados do anexo A é

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i = \frac{1}{624} \sum_{i=1}^{624} S_i = 0,23 \quad (4.2)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_n} = \frac{0,23}{0,9914} = 0,23 \quad (4.3)$$

Observa-se que há uma divergência entre os valores encontrados nas equações (4.1) e (4.3), o que invalida os gráficos traçados com os limites de controle fornecidos.

A média estimada à partir dos dados do anexo A, equação (4.4), está próxima da média fornecida.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i = \frac{1}{624} \sum_{i=1}^{624} \bar{X}_i = 33,03 \quad (4.4)$$

Gráfico de controle	Parâmetro do gráfico	Valor calculado	Unidade
Shewhart tradicional	LSC_s	5,05	dBm
	LC_s	3,62	
	LIC_s	2,19	
Shewhart otimizado	$LSC_{\bar{x}}$	35,14	
	$LC_{\bar{x}}$	33,00	
	$LIC_{\bar{x}}$	30,86	
	LSC_s	5,13	
	LC_s	3,65	
	LIC_s	0,00	
CUSUM tradicional	K para k=0,50	0,33	
	H para h=4,77	3,18	
CUSUM otimizado	K para k=0,95	0,63	
	H para h=2,622	1,75	

Quadro 3 – Parâmetros calculados dos gráficos de controle.

FONTE: o autor.

5.2 Gráficos de controle com limites calculados à partir de \bar{s}

Utilizando o valor calculado na equação (4.2), os parâmetros dos gráficos de controle passam a ser os do Quadro 4. Observa-se que os limites de controle otimizados para monitorar o índice de capacidade C_{pk} estão próximos dos limites do gráfico de Shewhart tradicional.

Com os limites de controle recalculados no Quadro 4, o processo está fora de controle em todos os acopladores. No entanto, há situações em que inicialmente o processo está sob controle, o que permite um estudo comparativo entre os diferentes gráficos.

Gráfico de controle	Parâmetro do gráfico	Valor calculado	Unidade
Shewhart tradicional	$LSC_{\bar{x}}$	33,13	dBm
	$LC_{\bar{x}}$	33,00	
	$LIC_{\bar{x}}$	32,87	
	LSC_s	0,33	
	LC_s	0,23	
	LIC_s	0,14	
Gráfico de controle	Parâmetro do gráfico	Valor calculado	Unidade

Shewhart otimizado	$LSC_{\bar{X}}$	33,14
	$LC_{\bar{X}}$	33,00
	$LIC_{\bar{X}}$	32,86
	LSC_s	0,33
	LC_s	0,23
	LIC_s	0,00
CUSUM tradicional	K para $k=0,50$	0,02
	H para $h=4,77$	0,20
CUSUM otimizado	K para $k=0,95$	0,04
	H para $h=2,622$	0,11

Quadro 4 – Parâmetros calculados dos gráficos de controle à partir de \bar{S} .

FONTE: o autor.

5.2.1 Gráficos com condição inicial sob controle

Dois acopladores apresentaram a condição inicial de processo sob controle. Os gráficos desses acopladores serão analisados comparativamente.

Nos dois casos, os gráficos da média (Gráfico 2 e Gráfico 7), de CUSUM tradicional (Gráfico 5e Gráfico 10) e de CUSUM otimizada (Gráfico 6e Gráfico 11) acusaram processo fora de controle no sexto ponto.

Houve pontos fora de controle nos gráficos do desvio (Gráfico 3e Gráfico 8), mas os respectivos gráficos da média detectaram mais cedo que o processo estava fora de controle.

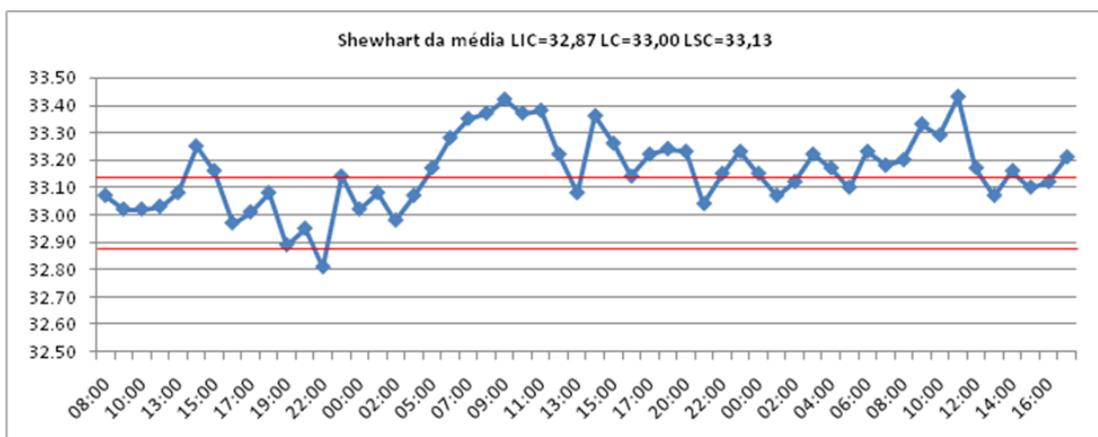


Gráfico 2 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 1 do computador 1.

FONTE: o autor

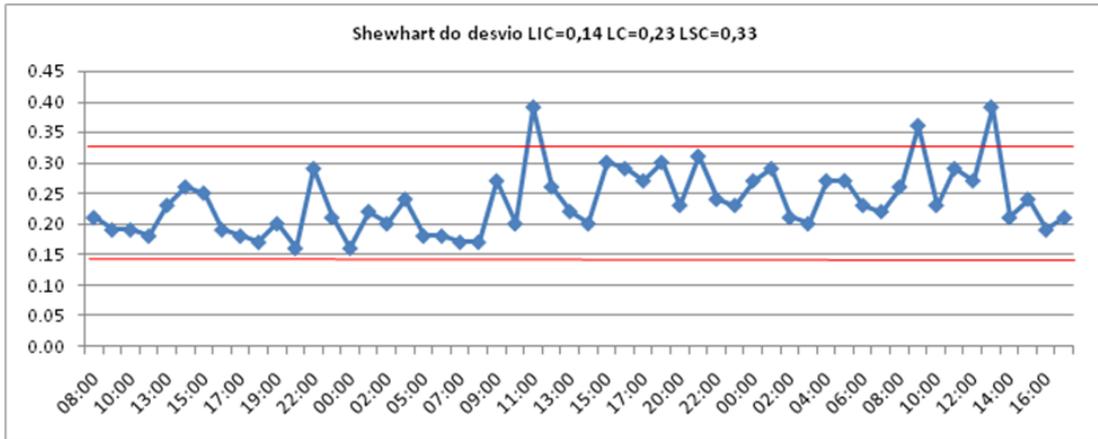


Gráfico 3 – Gráfico de controle S de Shewhart do acoplador 1 do computador 1.

FONTE: o autor.

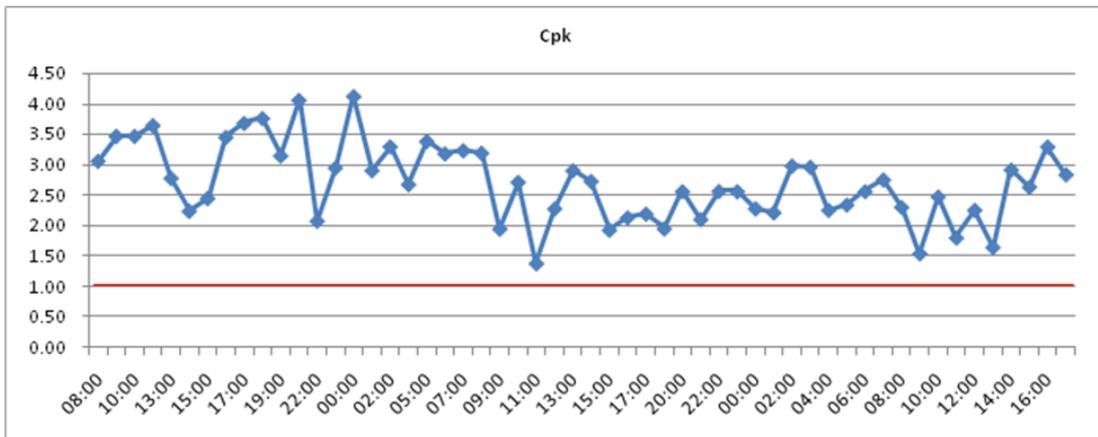


Gráfico 4 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 1 do computador 1.

FONTE: o autor.

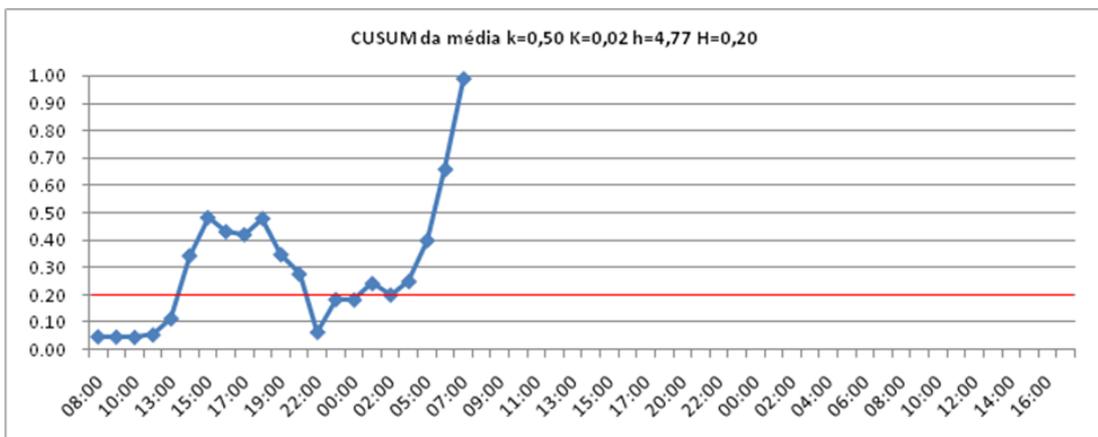


Gráfico 5 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 1 do computador 1.

FONTE: o autor.

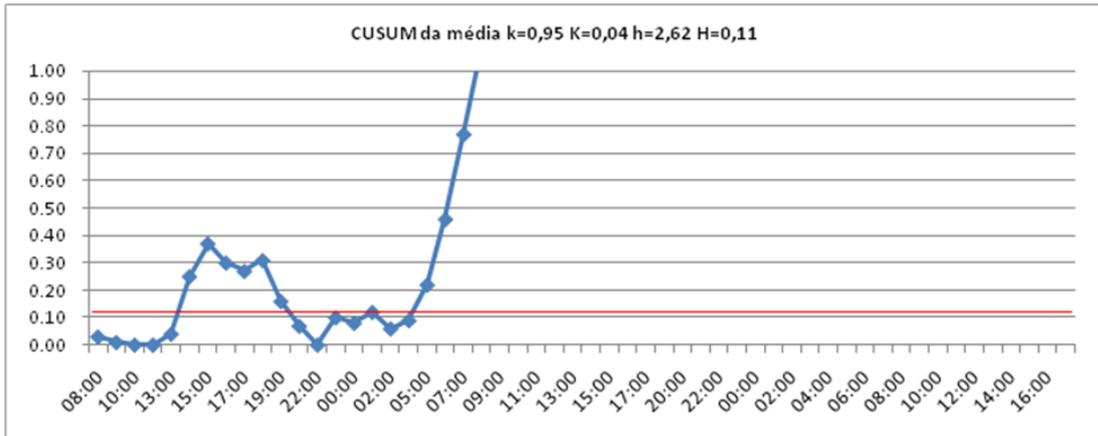


Gráfico 6 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 1 do computador 1.

FONTE: o autor.

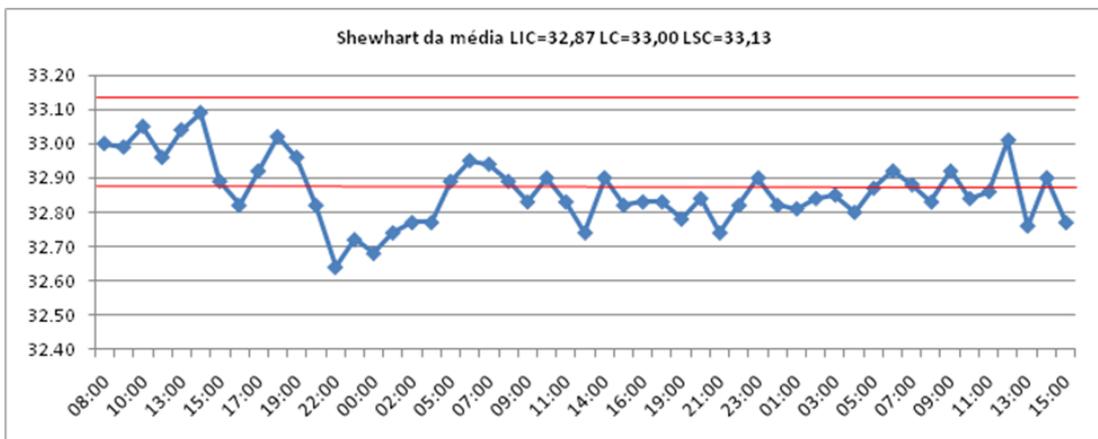


Gráfico 7 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 1 do computador 3.

FONTE: o autor.

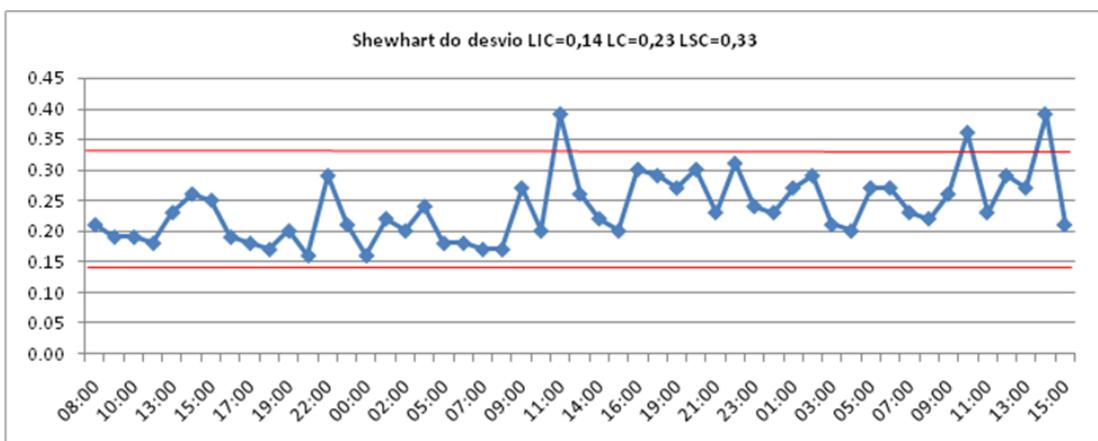


Gráfico 8 – Gráfico de controle S de Shewhart do acoplador 1 do computador 3.

FONTE: o autor.

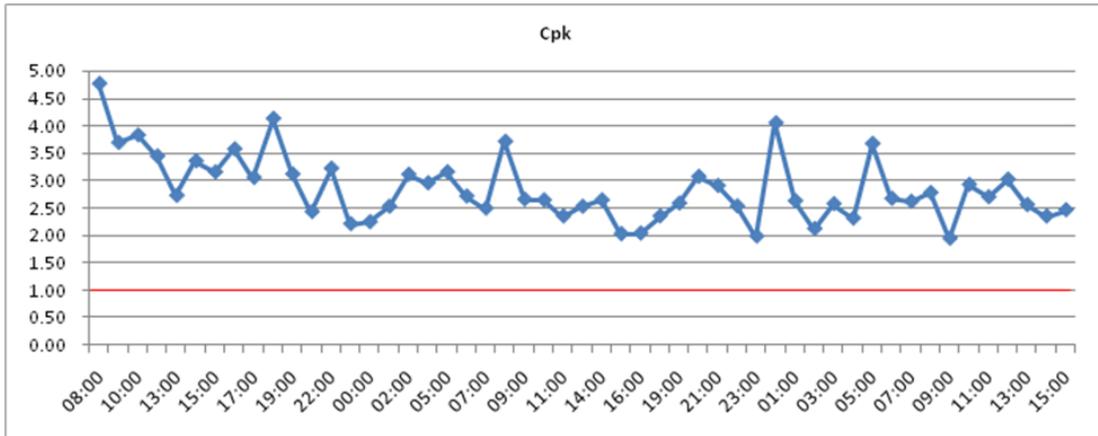


Gráfico 9 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 1 do computador 3.

FONTE: o autor.

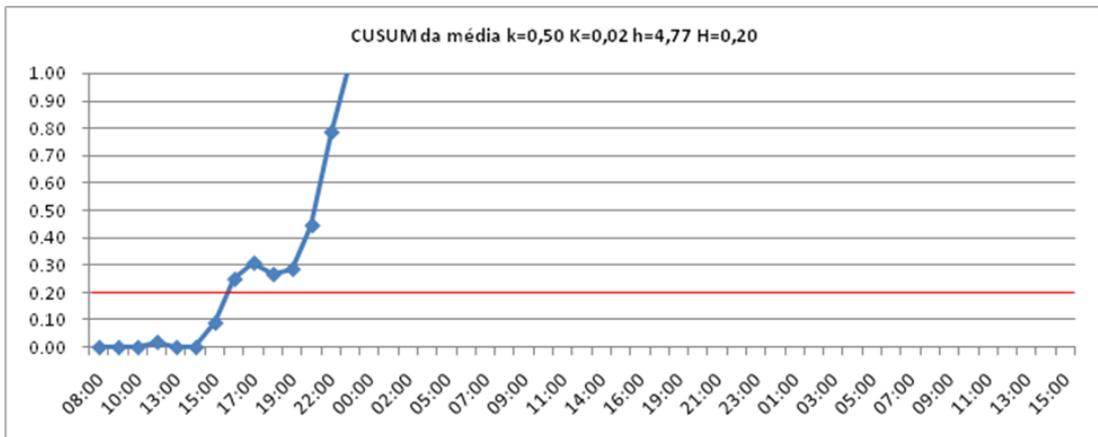


Gráfico 10 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 1 do computador 3.

FONTE: o autor.

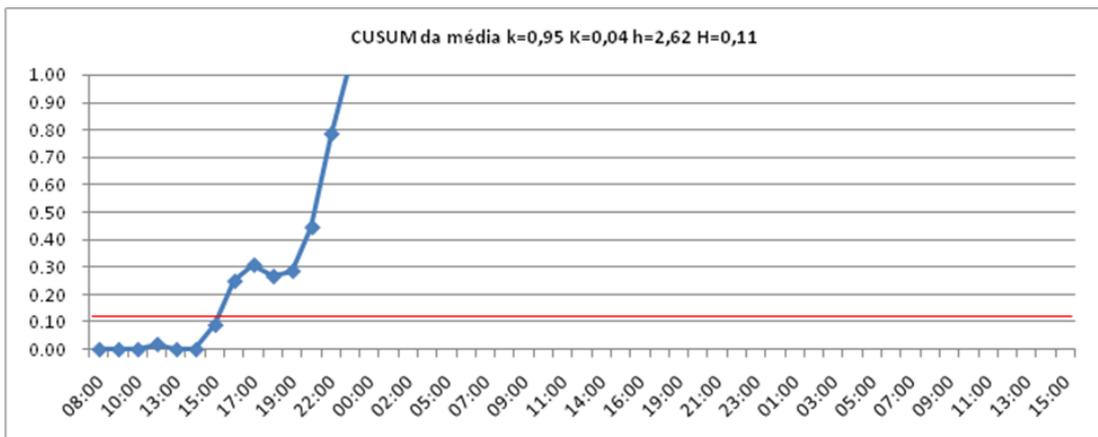


Gráfico 11 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 1 do computador 3.

FONTE: o autor.

5.2.2 Gráficos com condição inicial fora de controle

Os gráficos de controle da média e de CUSUM foram capazes de detectar que o processo estava fora de controle no primeiro ponto.

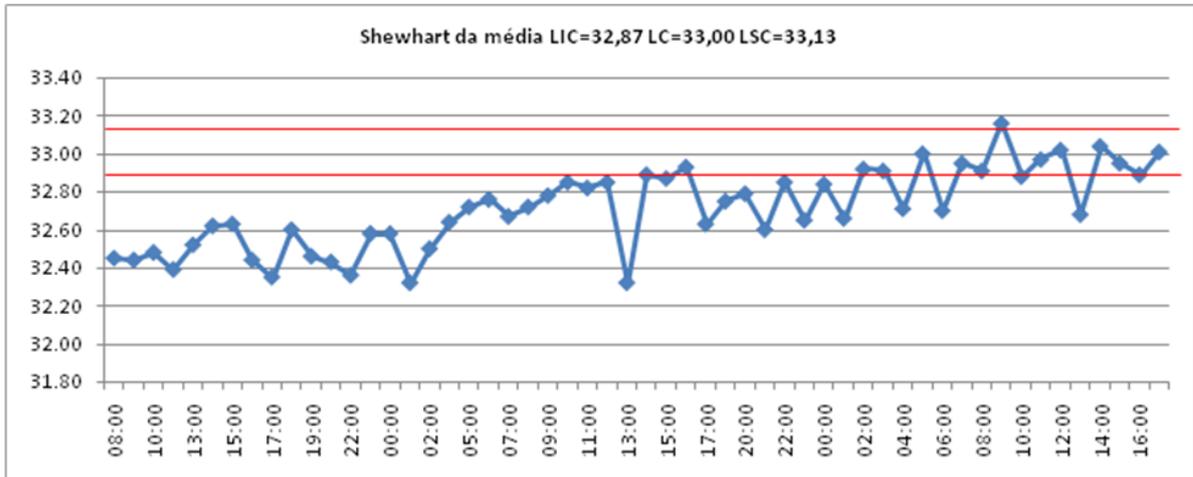


Gráfico 12 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 2 do computador 1.

FONTE: o autor.

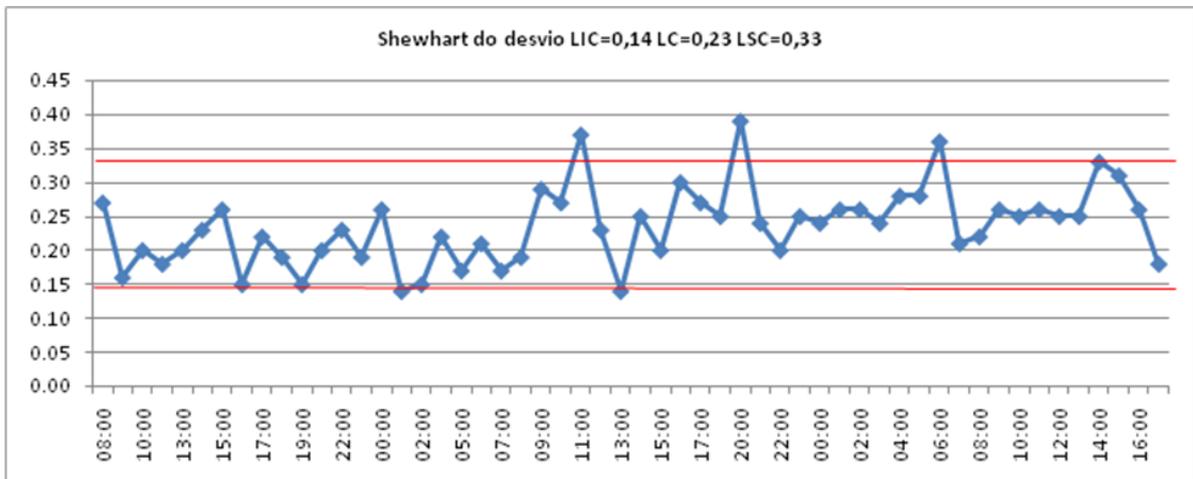


Gráfico 13 – Gráfico de controle S de Shewhart do acoplador 2 do computador 1.

FONTE: o autor.

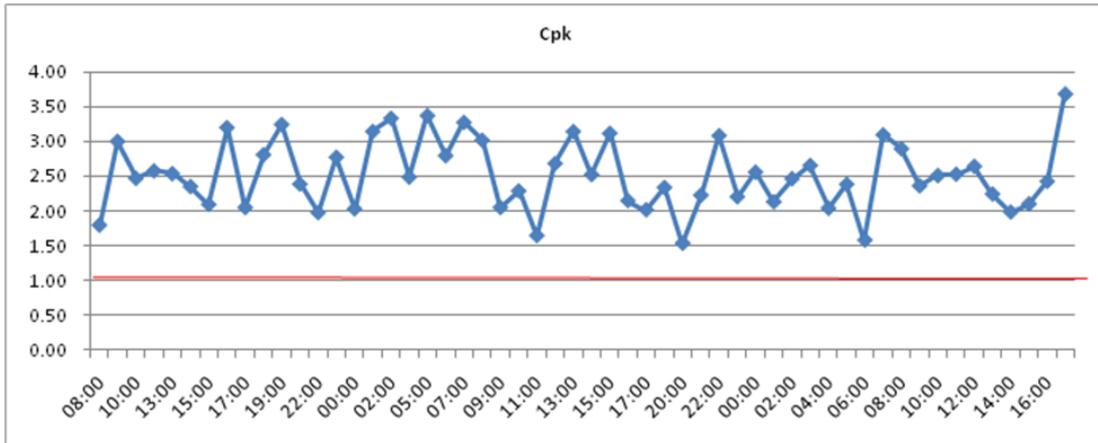


Gráfico 14 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 2 do computador 1.

FONTE: o autor.

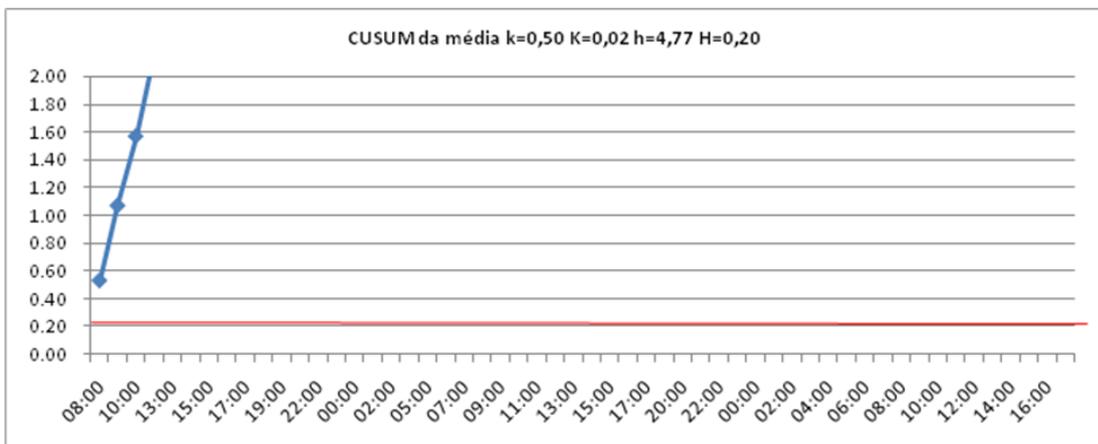


Gráfico 15 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 2 do computador 1.

FONTE: o autor.

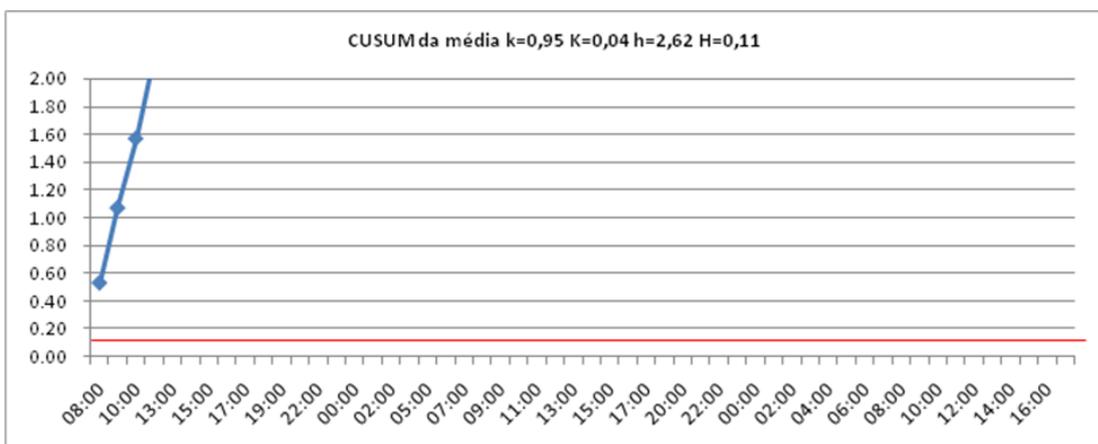


Gráfico 16 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 2 do computador 1.

FONTE: o autor.

5.3 Gráficos de controle com tamanho da amostra reduzido

Reduzindo o tamanho da amostra para $n = 4$, os parâmetros dos gráficos de controle passaram a ser os do Quadro 5. Diferente do que aconteceu no item 0, os limites de controle da média para monitorar o índice de capacidade C_{pk} estão mais distantes dos limites do gráfico de Shewhart tradicional.

Gráfico de controle	Parâmetro do gráfico	Valor calculado	Unidade
Shewhart tradicional	$LSC_{\bar{X}}$	33,55	dBm
	$LC_{\bar{X}}$	33,00	
	$LIC_{\bar{X}}$	32,45	
	LSC_R	1,72	
	LC_R	0,75	
	LIC_R	0,00	
Shewhart otimizado	$LSC_{\bar{X}}$	34,20	
	$LC_{\bar{X}}$	33,00	
	$LIC_{\bar{X}}$	31,80	
	LSC_R	1,73	
	LC_R	0,75	
	LIC_R	0,00	
CUSUM tradicional	K para $k=0,50$	0,07	
	H para $h=4,77$	0,70	
CUSUM otimizado	K para $k=0,95$	0,14	
	H para $h=2,622$	0,39	

Quadro 5 – Parâmetros calculados dos gráficos de controle com tamanho de amostra $n = 4$.

FONTE: o autor.

5.3.1 Gráficos do processo sob controle

Três acopladores estavam sob controle segundo o gráfico de Shewhart. No caso do acoplador 4 do computador 2, os gráficos de controle CUSUM (Gráfico 20 e Gráfico 21) apontaram situação fora de controle no quinto ponto, mas o valor acumulado ficou abaixo do limite de controle no sexto ponto. Neste caso, fica clara a maior sensibilidade do gráfico de controle CUSUM para detectar pequenos desvios no processo, ratificando o que Alves (2003) menciona em seu trabalho. Não foi possível observar uma diferença significativa entre o CUSUM tradicional e o otimizado.

O Gráfico 19 mostra o comportamento do índice C_{pk} que ficou acima do valor mínimo especificado.

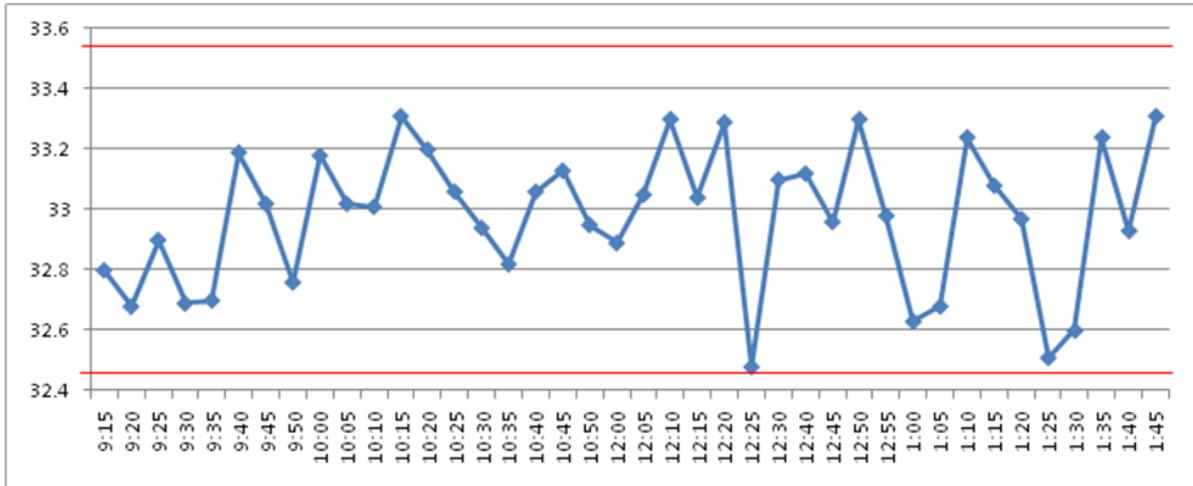


Gráfico 17 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 4 do computador 2.

FONTE: o autor.

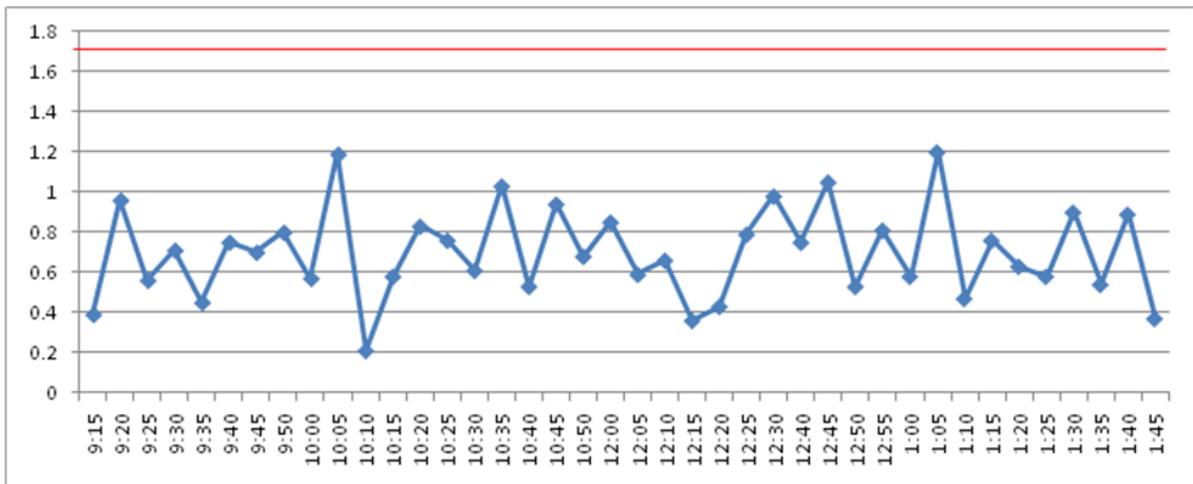


Gráfico 18 – Gráfico de controle R de Shewhart do acoplador 4 do computador 2.

FONTE: o autor

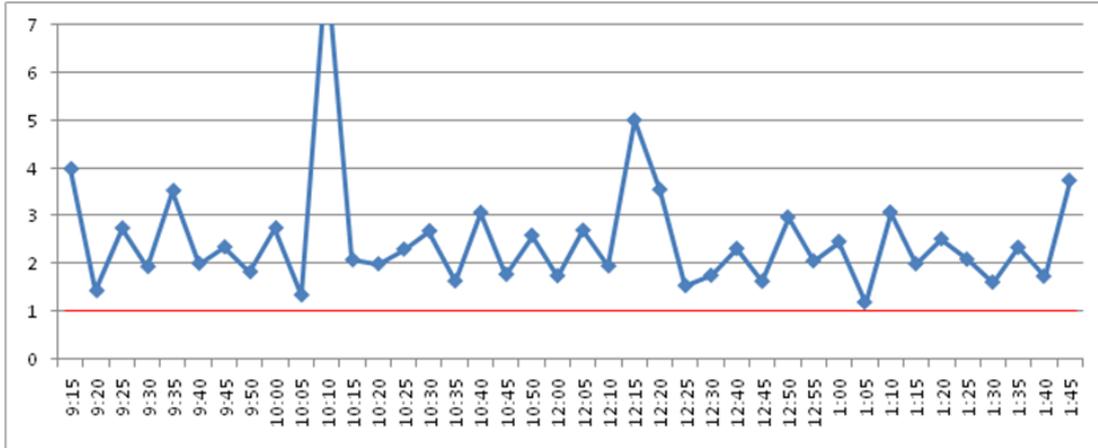


Gráfico 19 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 4 do computador 2.

FONTE: o autor.

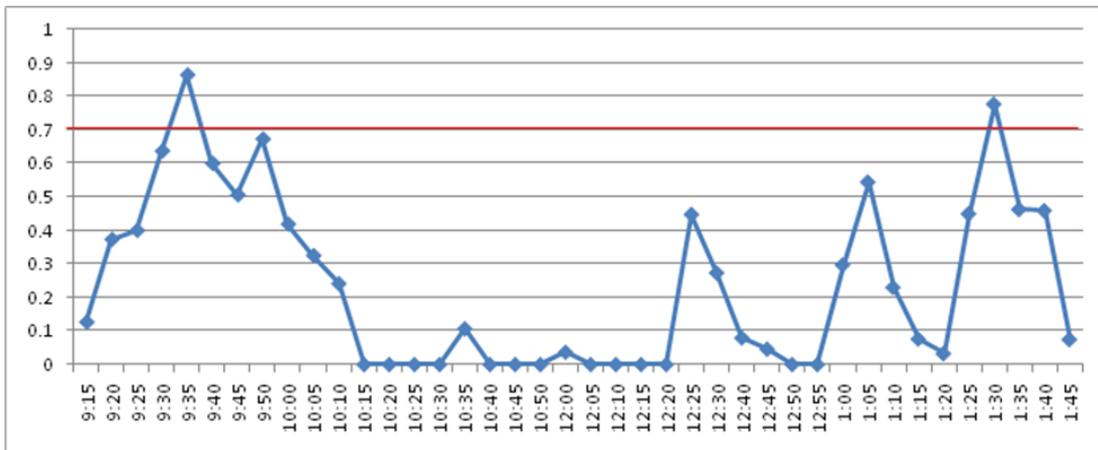


Gráfico 20 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 4 do computador 2.

FONTE: o autor.

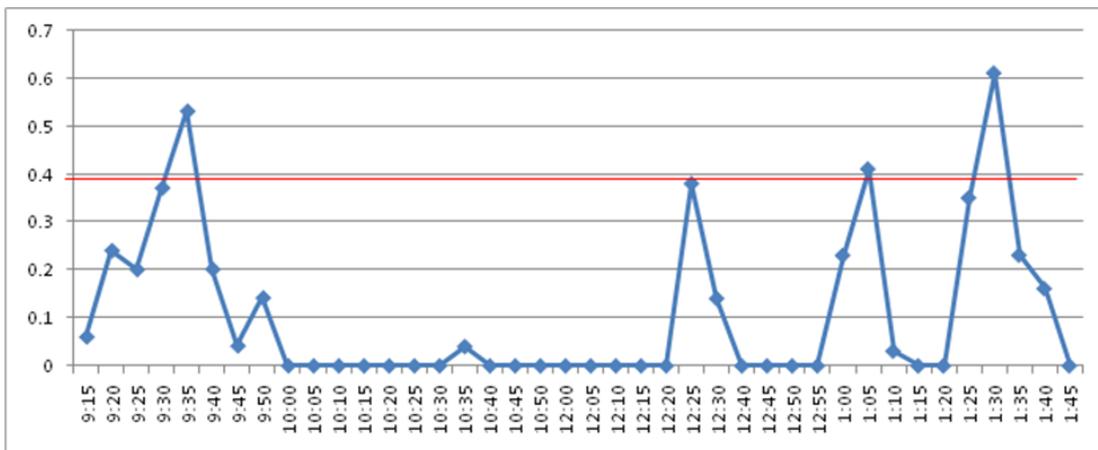


Gráfico 21 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 4 do computador 2.

FONTE: o autor.

5.3.2 Gráficos do processo fora de controle

O Gráfico 22 mostra a curva da média (Shewhart tradicional) de um acoplador com pontos próximos ao limite de controle. Nesta situação foi possível observar a superioridade do gráfico de controle CUSUM otimizado comparado ao CUSUM tradicional (Gráfico 25 e Gráfico 26).

Considerando os limites de controle otimizados (Quadro 5) para monitorar o índice C_{pk} , os gráficos de controle da média e da amplitude estão sob controle. Este resultado não é coerente com os índices C_{pk} do Gráfico 24. Uma possível explicação para esta divergência é o tamanho da amostra muito reduzido para calcular o índice C_{pk} . Franklin (1999) e Stoumbos (2002) recomendam um tamanho da ordem de algumas dezenas, mas este experimento utilizou o mesmo tamanho adotado para os gráficos de controle ($n = 4$).

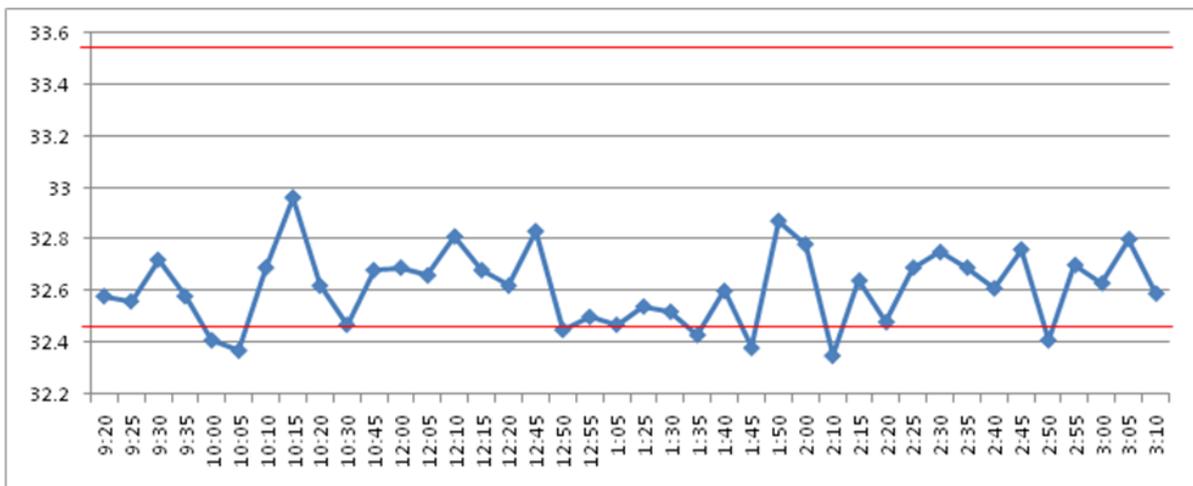


Gráfico 22 – Gráfico de controle \bar{X} de Shewhart do acoplador 2 do computador 3.

FONTE: o autor.

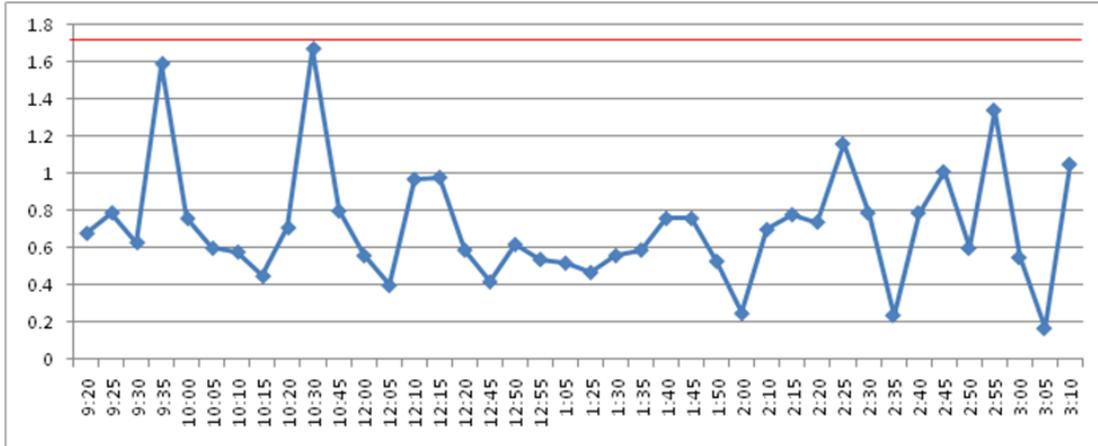


Gráfico 23 – Gráfico de controle R de Shewhart do acoplador 2 do computador 3.

FONTE: o autor.

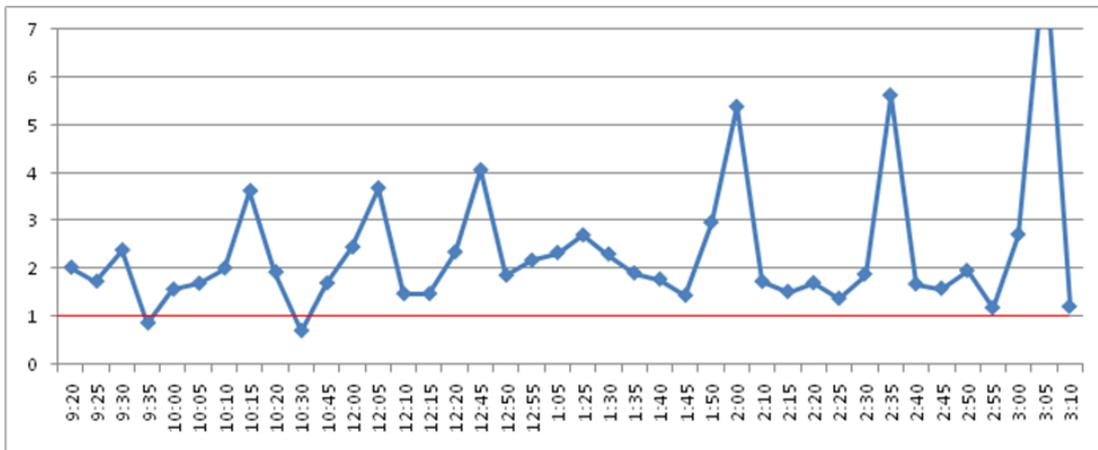


Gráfico 24 – Gráfico de C_{pk} do acoplador 2 do computador 3.

FONTE: o autor.

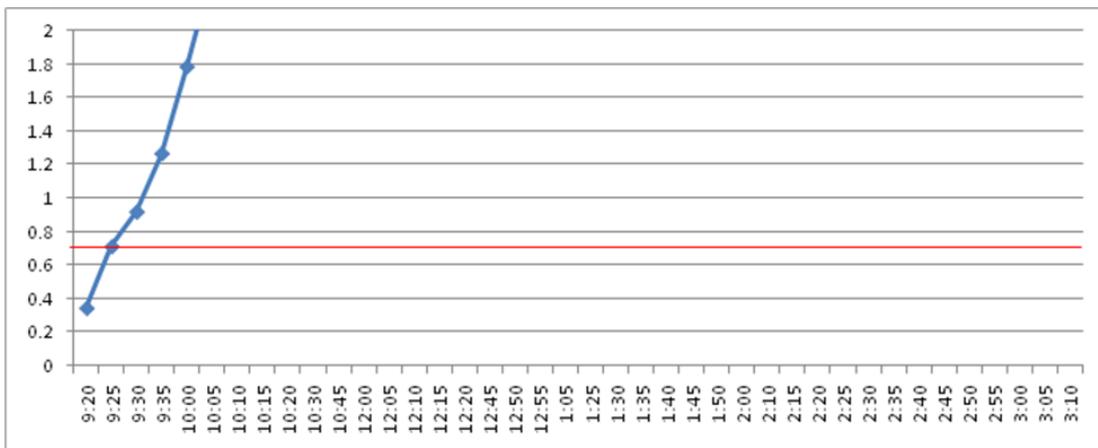


Gráfico 25 – Gráfico de controle de CUSUM tradicional da média do acoplador 2 do computador 3.

FONTE: o autor.

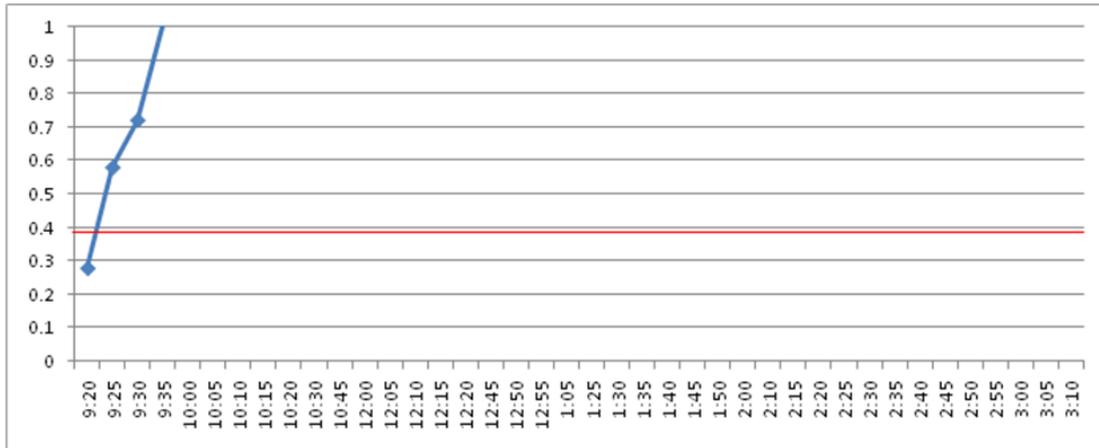


Gráfico 26 – Gráfico de controle de CUSUM otimizado da média do acoplador 2 do computador 3.

FONTE: o autor.

5.4 Impacto no processo produtivo

Os gráficos de controle demonstraram uma grande sensibilidade quando foi usada a estimativa do desvio padrão para recalculer os parâmetros (item 0). Por isso o tamanho da amostra foi redimensionado em 5.3, utilizando um valor sugerido pela literatura (ALVES, 2003; CHANDRA, 2001; MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

5.4.1 Redução de custo

A detecção prematura de problemas pode reduzir o custo de produção através da redução de produtos defeituosos. No caso do experimento, o tamanho da amostra $n = 30$ reduziu significativamente a distância dos limites de controle da linha central, aumentando a sensibilidade dos gráficos de controle. Neste caso, há indícios de que causas inesperadas com maior duração (ou de baixa frequência) foram suficientes para indicar que o processo estava fora de controle.

Apenas um acoplador apresentou C_{pk} abaixo de um (Tabela 7) mostrando que o processo nos demais acopladores estava com boa capacidade. Esta constatação vai ao encontro da hipótese de hiper-sensibilidade do gráfico de controle.

5.4.2 Índice C_{pk}

O índice C_{pk} necessita de tamanho da amostra da ordem de algumas dezenas para que o intervalo de confiança seja satisfatório. Por outro lado, os gráficos de controle procuram minimizar o tamanho da amostra.

No experimento realizado, não foi possível verificar a eficácia do uso de gráfico de controle para monitorar o índice C_{pk} , como proposto por Wu et al (2002). O artigo propõe minimizar o tamanho da amostra e foram realizados experimentos com dois tamanhos de amostra, $n = 30$ e $n = 4$.

6 CONCLUSÕES

No item 5.1 ficou claro que o gráfico de controle do desvio padrão deve ser usado em conjunto com o da média. O processo usado no experimento usava parâmetros incorretos, levando a conclusões também incorretas. Os gráficos de controle \bar{X} mostravam que o processo estava sob controle em todos os acopladores, mas os cálculos do item 0 mostraram que esta conclusão é incorreta.

Existe um indicativo de que o tamanho da amostra adotado no primeiro experimento estava maior que o ideal. A escolha do tamanho $n = 30$ teve o objetivo de aproximar a distribuição da normal. Os limites de controle ficaram muito apertados para o tamanho $n = 30$ depois da correção no valor do desvio padrão (item 0).

Nas condições dos experimentos, a otimização para monitorar C_{pk} não funcionou como esperado. Fica como sugestão para um trabalho futuro o cálculo do índice C_{pk} independentemente da amostra utilizada no gráfico de controle para que o tamanho da amostra para o cálculo do índice de capacidade seja grande o suficiente para ter um nível de confiança aceitável.

Os gráficos de CUSUM na condição do item 0 não apresentaram vantagem sobre os gráficos de Shewhart. Nas condições do item 5.1, os gráficos de CUSUM foram mais rápidos para detectar desvios sistemáticos na média do processo.

Ao reduzir o tamanho da amostra, os gráficos de controle mostraram um comportamento diferente do processo, conforme pode ser constatado no item 5.3. Acopladores que estavam fora de controle passaram a sob controle.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nos experimentos, o valor de C_{pk} foi calculado com tamanho de amostra utilizado nos gráficos de controle. Para uma investigação mais apurada da otimização recomendada por Wu (2002), fica como sugestão utilizar tamanhos de amostra distintas para o gráfico de controle e para o cálculo de C_{pk} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C. C. Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2003.
- BASU, R.; WRIGHT, J. N. *Quality Beyond Six Sigma*. Burlington: Elsevier Science Ltd., 2003.
- CHANDRA, M. J.. *Statistical Quality Control*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.
- DOTY, L. A. *Statistical Process Control*. 2 ed. Nova York: Industrial Press, Inc., 1996.
- EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station (MS) conformance specification; Part 1: Conformance specification (3GPP TS 51.010-1 version 6.5.0 Release 6). Sophia Antipolis Cedex, 2005.
- FRANKLIN, L. A. Sample size determination for lower confidence limits for estimating process capability indices. *Computers & Industrial Engineering*, n. 36, p. 603-614, 1999.
- JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. *Juran's Quality Handbook*. 5 ed. Nova York: McGraw-Hill, 1999.
- LEON-GARCIA, A.. *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*. 2 ed. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1994
- MARTIN, J. W. *Operational excellence : using lean six sigma to translate customer value through global supply chains*. 1 ed. Boca Raton: Auerbach Publications, 2008.
- MIRANDA, R. G. Um modelo para a análise da capacidade de processos com ênfase na transformação de dados. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2005.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 3 ed. Nova York: John Wiley & Sons, 2003.
- STOUMBOS, Z. G. Process capability indices: overview and extensions. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, n. 3, p. 191–210, 2002.
- SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. COISE/CGPRO/SAP. Indicadores de Desempenho do Pólo Industrial de Manaus. Manaus, 2010.
- VEDOVELLO, C.; FIGUEIREDO, P. N. *Capacidade Tecnológica Industrial e Sistema de Inovação*. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- VERSCHUUREN, G. *Excel 2007 for Scientists and Engineers*. 2 ed. Uniontown: Holy Macro! Books, 2008.
- WU, Z.; XIE, M.; TIAN, Y. Optimization Design of the X&S Charts for Monitoring Process

Capability. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 21, n. 2, p. 83-92, 2002.

WU, Z.; YANG, M.; JIANG, W.; KHOO, M. B. C. Optimization Designs of the Combined Shewhart-CUSUM Control Charts. *Journal of Computational Statistics and Data Analysis*, Elsevier B.V., n. 53, p. 496-506, 2008.

APÊNDICE A

Dados obtidos do experimento com tamanho da amostra $n = 30$.

Tabela 2 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 1, $n = 30$.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	33,07	0,21	3,06
	09:00	33,02	0,19	3,47
	10:00	33,02	0,19	3,47
	11:00	33,03	0,18	3,65
	13:00	33,08	0,23	2,78
	14:00	33,25	0,26	2,24
	15:00	33,16	0,25	2,45
	16:00	32,97	0,19	3,46
	17:00	33,01	0,18	3,69
	18:00	33,08	0,17	3,76
	19:00	32,89	0,20	3,15
	21:00	32,95	0,16	4,06
	22:00	32,81	0,29	2,08
	23:00	33,14	0,21	2,95
00:00	33,02	0,16	4,12	
01/08/2009	01:00	33,08	0,22	2,91
	02:00	32,98	0,20	3,30
	04:00	33,07	0,24	2,68
	05:00	33,17	0,18	3,39
	06:00	33,28	0,18	3,19
	07:00	33,35	0,17	3,24
	08:00	33,37	0,17	3,20
	09:00	33,42	0,27	1,95
	10:00	33,37	0,20	2,72
	11:00	33,38	0,39	1,38
	12:00	33,22	0,26	2,28
	13:00	33,08	0,22	2,91
	14:00	33,36	0,20	2,73
	15:00	33,26	0,30	1,93
	16:00	33,14	0,29	2,14
	17:00	33,22	0,27	2,20
19:00	33,24	0,30	1,96	
20:00	33,23	0,23	2,57	
21:00	33,04	0,31	2,11	
22:00	33,15	0,24	2,57	
23:00	33,23	0,23	2,57	
00:00	33,15	0,27	2,28	
02/08/2009	01:00	33,07	0,29	2,22
	02:00	33,12	0,21	2,98
	03:00	33,22	0,20	2,97
	04:00	33,17	0,27	2,26
	05:00	33,10	0,27	2,35

	06:00	33,23	0,23	2,57
	07:00	33,18	0,22	2,76
	08:00	33,20	0,26	2,31
	09:00	33,33	0,36	1,55
	10:00	33,29	0,23	2,48
	11:00	33,43	0,29	1,80
	12:00	33,17	0,27	2,26
	13:00	33,07	0,39	1,65
	14:00	33,16	0,21	2,92
	15:00	33,10	0,24	2,64
	16:00	33,12	0,19	3,30
	18:00	33,21	0,21	2,84

Tabela 3 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 1, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	32,45	0,27	1,79
	09:00	32,44	0,16	3,00
	10:00	32,48	0,20	2,47
	11:00	32,39	0,18	2,57
	13:00	32,52	0,20	2,53
	14:00	32,62	0,23	2,35
	15:00	32,63	0,26	2,09
	16:00	32,44	0,15	3,20
	17:00	32,35	0,22	2,05
	18:00	32,60	0,19	2,81
	19:00	32,46	0,15	3,24
	21:00	32,43	0,20	2,38
	22:00	32,36	0,23	1,97
	23:00	32,58	0,19	2,77
	00:00	32,58	0,26	2,03
01/08/2009	01:00	32,32	0,14	3,14
	02:00	32,50	0,15	3,33
	04:00	32,64	0,22	2,48
	05:00	32,72	0,17	3,37
	06:00	32,76	0,21	2,79
	07:00	32,67	0,17	3,27
	08:00	32,72	0,19	3,02
	09:00	32,78	0,29	2,05
	10:00	32,85	0,27	2,28
	11:00	32,82	0,37	1,64
	12:00	32,85	0,23	2,68
	13:00	32,32	0,14	3,14
	14:00	32,89	0,25	2,52
	15:00	32,87	0,20	3,12
16:00	32,93	0,30	2,14	
17:00	32,63	0,27	2,01	

	19:00	32,75	0,25	2,33
	20:00	32,79	0,39	1,53
	21:00	32,60	0,24	2,22
	22:00	32,85	0,20	3,08
	23:00	32,65	0,25	2,20
	00:00	32,84	0,24	2,56
02/08/2009	01:00	32,66	0,26	2,13
	02:00	32,92	0,26	2,46
	03:00	32,91	0,24	2,65
	04:00	32,71	0,28	2,04
	05:00	33,00	0,28	2,38
	06:00	32,70	0,36	1,57
	07:00	32,95	0,21	3,10
	08:00	32,91	0,22	2,89
	09:00	33,16	0,26	2,36
	10:00	32,88	0,25	2,51
	11:00	32,97	0,26	2,53
	12:00	33,02	0,25	2,64
	13:00	32,68	0,25	2,24
	14:00	33,04	0,33	1,98
	15:00	32,95	0,31	2,10
	16:00	32,89	0,26	2,42
	18:00	33,01	0,18	3,69

Tabela 4 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 1, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	32,77	0,16	3,69
	09:00	32,84	0,18	3,41
	10:00	32,81	0,20	3,02
	11:00	32,81	0,16	3,77
	13:00	32,89	0,16	3,94
	14:00	32,96	0,23	2,84
	15:00	32,98	0,17	3,88
	16:00	32,86	0,17	3,65
	17:00	32,87	0,17	3,67
	18:00	32,97	0,21	3,13
	19:00	32,89	0,15	4,20
	21:00	32,71	0,15	3,80
	22:00	32,69	0,23	2,45
	23:00	32,84	0,21	2,92
	00:00	32,92	0,27	2,37
01/08/2009	01:00	32,74	0,31	1,87
	02:00	32,88	0,17	3,69
	04:00	32,86	0,20	3,10
	05:00	32,95	0,16	4,06
	06:00	33,15	0,27	2,28

	07:00	33,07	0,23	2,80
	08:00	33,11	0,15	4,20
	09:00	33,14	0,19	3,26
	10:00	33,22	0,22	2,70
	11:00	33,13	0,25	2,49
	12:00	33,14	0,21	2,95
	13:00	32,74	0,31	1,87
	14:00	33,10	0,25	2,53
	15:00	33,42	0,25	2,11
	16:00	33,40	0,25	2,13
	17:00	33,41	0,30	1,77
	19:00	33,39	0,25	2,15
	20:00	33,29	0,24	2,38
	21:00	33,39	0,24	2,24
	22:00	33,38	0,35	1,54
	23:00	33,44	0,40	1,30
	00:00	33,44	0,18	2,89
	01:00	33,32	0,22	2,55
	02:00	33,44	0,30	1,73
	03:00	33,47	0,22	2,32
	04:00	33,30	0,22	2,58
	05:00	33,39	0,34	1,58
	06:00	33,44	0,31	1,68
	07:00	33,39	0,27	1,99
	08:00	33,35	0,28	1,96
02/08/2009	09:00	33,55	0,25	1,93
	10:00	33,28	0,24	2,39
	11:00	33,29	0,23	2,48
	12:00	33,46	0,22	2,33
	13:00	33,23	0,19	3,11
	14:00	33,37	0,22	2,47
	15:00	33,39	0,25	2,15
	16:00	33,33	0,33	1,69
	18:00	33,42	0,19	2,77

Tabela 5 – Dados obtidos do acoplador 4 do computador 1, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
	08:00	33,26	0,36	1,61
	09:00	33,42	0,21	2,51
	10:00	33,37	0,24	2,26
	11:00	33,22	0,25	2,37
01/07/2009	13:00	33,28	0,22	2,61
	14:00	33,43	0,23	2,28
	15:00	33,44	0,25	2,08
	16:00	33,30	0,15	3,78
	17:00	33,36	0,25	2,19

	18:00	33,47	0,24	2,13
	19:00	33,39	0,15	3,58
	21:00	33,28	0,31	1,85
	22:00	33,23	0,19	3,11
	23:00	33,30	0,27	2,10
	00:00	33,25	0,21	2,78
	01:00	33,08	0,24	2,67
	02:00	33,35	0,29	1,90
	04:00	33,28	0,21	2,73
	05:00	33,39	0,31	1,73
	06:00	33,33	0,29	1,92
	07:00	33,55	0,26	1,86
	08:00	33,48	0,20	2,53
	09:00	33,53	0,24	2,04
	10:00	33,61	0,20	2,32
	11:00	33,52	0,21	2,35
01/08/2009	12:00	33,59	0,21	2,24
	13:00	33,08	0,24	2,67
	14:00	33,56	0,33	1,45
	15:00	33,57	0,31	1,54
	16:00	33,61	0,25	1,85
	17:00	33,44	0,26	2,00
	19:00	33,56	0,25	1,92
	20:00	33,43	0,27	1,94
	21:00	33,56	0,19	2,53
	22:00	33,44	0,22	2,36
	23:00	33,58	0,32	1,48
	00:00	33,54	0,25	1,95
	01:00	33,54	0,33	1,47
	02:00	33,60	0,25	1,87
	03:00	33,70	0,36	1,20
	04:00	33,59	0,22	2,14
	05:00	33,62	0,25	1,84
	06:00	33,66	0,33	1,35
	07:00	33,63	0,29	1,57
	08:00	33,49	0,27	1,86
02/08/2009	09:00	33,78	0,27	1,51
	10:00	33,46	0,30	1,71
	11:00	33,68	0,24	1,83
	12:00	33,58	0,28	1,69
	13:00	33,46	0,25	2,05
	14:00	33,56	0,30	1,60
	15:00	33,63	0,27	1,69
	16:00	33,57	0,22	2,17
	18:00	33,64	0,31	1,46

Tabela 6 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 2, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	33,50	0,28	1,79
	09:00	33,59	0,22	2,14
	10:00	33,46	0,13	3,95
	11:00	33,35	0,15	3,67
	13:00	33,45	0,21	2,46
	15:00	33,73	0,19	2,23
	16:00	33,82	0,16	2,46
	18:00	33,45	0,18	2,87
	19:00	33,39	0,14	3,83
	21:00	33,41	0,16	3,31
	22:00	33,28	0,26	2,21
	23:00	33,45	0,34	1,52
	00:00	33,51	0,18	2,76
01/08/2009	01:00	33,46	0,26	1,97
	02:00	33,55	0,27	1,79
	04:00	33,57	0,18	2,65
	05:00	33,59	0,19	2,47
	06:00	33,70	0,22	1,97
	07:00	33,62	0,28	1,64
	08:00	33,64	0,15	3,02
	09:00	33,75	0,31	1,34
	10:00	33,71	0,19	2,26
	11:00	33,83	0,23	1,70
	12:00	33,75	0,28	1,49
	13:00	33,46	0,26	1,97
	14:00	33,83	0,29	1,34
	15:00	33,52	0,22	2,24
	16:00	33,56	0,19	2,53
	17:00	33,65	0,30	1,50
	19:00	33,66	0,27	1,65
	20:00	33,52	0,32	1,54
	21:00	33,47	0,27	1,89
22:00	33,64	0,30	1,51	
23:00	33,45	0,26	1,99	
00:00	33,54	0,23	2,12	
02/08/2009	01:00	33,48	0,21	2,41
	02:00	33,49	0,21	2,40
	03:00	33,59	0,26	1,81
	04:00	33,50	0,22	2,27
	05:00	33,61	0,17	2,73
	06:00	33,50	0,29	1,72
	07:00	33,72	0,30	1,42
	08:00	33,61	0,21	2,21
	09:00	33,65	0,22	2,05
	10:00	33,59	0,20	2,35
	11:00	33,81	0,28	1,42

	12:00	33,60	0,18	2,59
	13:00	33,49	0,22	2,29
	14:00	33,61	0,20	2,32
	15:00	33,61	0,26	1,78
	16:00	33,58	0,25	1,89
	18:00	33,56	0,25	1,92

Tabela 7 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 2, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	31,70	0,16	1,46
	09:00	31,79	0,17	1,55
	10:00	31,76	0,16	1,58
	11:00	31,78	0,17	1,53
	13:00	31,90	0,18	1,67
	14:00	31,82	0,13	2,10
	15:00	32,00	0,15	2,22
	16:00	31,77	0,16	1,60
	18:00	31,90	0,16	1,88
	19:00	31,91	0,20	1,52
	20:00	31,76	0,26	0,97
	21:00	31,77	0,23	1,12
	22:00	31,72	0,26	0,92
	23:00	31,73	0,25	0,97
01/08/2009	00:00	31,90	0,18	1,67
	01:00	31,84	0,29	0,97
	02:00	31,90	0,28	1,07
	04:00	31,87	0,17	1,71
	05:00	31,99	0,17	1,94
	06:00	32,05	0,24	1,46
	07:00	31,97	0,18	1,80
	08:00	31,95	0,14	2,26
	11:00	31,76	0,25	1,01
	13:00	31,84	0,29	0,97
	15:00	31,90	0,18	1,67
	16:00	31,95	0,26	1,22
	17:00	31,96	0,32	1,00
	19:00	32,10	0,27	1,36
02/08/2009	20:00	31,90	0,25	1,20
	21:00	31,94	0,23	1,36
	22:00	32,04	0,38	0,91
	23:00	31,97	0,22	1,47
02/08/2009	00:00	31,74	0,27	0,91
	01:00	31,83	0,25	1,11
	04:00	31,87	0,22	1,32
	06:00	32,01	0,31	1,09
	08:00	31,90	0,20	1,50

	10:00	31,94	0,24	1,31
	11:00	31,92	0,25	1,23
	14:00	33,14	0,25	2,48
	15:00	33,14	0,22	2,82
	16:00	33,22	0,33	1,80

Tabela 8 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 2, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	33,28	0,17	3,37
	09:00	33,14	0,18	3,44
	10:00	33,26	0,21	2,76
	11:00	33,24	0,14	4,19
	13:00	33,31	0,24	2,35
	14:00	33,37	0,20	2,72
	15:00	33,42	0,23	2,29
	16:00	33,26	0,14	4,14
	17:00	33,15	0,21	2,94
	18:00	33,18	0,20	3,03
	19:00	32,91	0,14	4,55
	20:00	32,92	0,32	2,00
	21:00	32,82	0,22	2,76
	22:00	32,76	0,21	2,79
23:00	32,96	0,17	3,84	
	00:00	32,87	0,14	4,45
01/08/2009	01:00	33,31	0,24	2,35
	02:00	33,09	0,21	3,03
	04:00	33,04	0,24	2,72
	05:00	33,09	0,26	2,45
	06:00	33,09	0,20	3,18
	07:00	33,08	0,19	3,37
	08:00	33,10	0,16	3,96
	09:00	32,99	0,23	2,88
	10:00	33,09	0,18	3,54
	11:00	33,21	0,28	2,13
	12:00	33,06	0,20	3,23
	13:00	32,92	0,32	2,00
	14:00	33,09	0,25	2,55
	15:00	32,97	0,20	3,28
16:00	32,88	0,27	2,32	
17:00	32,89	0,29	2,17	
19:00	33,08	0,30	2,13	
20:00	33,06	0,41	1,58	
21:00	33,05	0,22	2,95	
22:00	32,92	0,35	1,83	
23:00	33,08	0,20	3,20	
	00:00	33,00	0,30	2,22

02/08/2009	01:00	33,12	0,30	2,09
	02:00	33,05	0,31	2,10
	03:00	33,04	0,29	2,25
	04:00	33,14	0,21	2,95
	05:00	33,00	0,23	2,90
	06:00	33,10	0,27	2,35
	07:00	33,00	0,28	2,38
	08:00	32,98	0,30	2,20
	09:00	32,93	0,36	1,79
	10:00	32,93	0,27	2,38
	11:00	33,09	0,18	3,54
	12:00	33,07	0,20	3,22
	13:00	32,96	0,22	2,97
	14:00	33,03	0,24	2,74
	15:00	32,98	0,22	3,00
	16:00	32,99	0,28	2,37
18:00	33,01	0,23	2,88	

Tabela 9 – Dados obtidos do acoplador 4 do computador 2, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	32,37	0,19	2,40
	09:00	32,53	0,19	2,68
	10:00	32,46	0,15	3,24
	11:00	32,49	0,12	4,14
	13:00	32,53	0,15	3,40
	14:00	32,68	0,19	2,95
	15:00	32,69	0,19	2,96
	16:00	32,50	0,13	3,85
	17:00	32,48	0,19	2,60
	18:00	32,51	0,14	3,60
	19:00	32,56	0,23	2,26
	21:00	32,44	0,20	2,40
	22:00	32,33	0,23	1,93
	23:00	32,36	0,24	1,89
00:00	32,34	0,24	1,86	
01, Aug, 09	01:00	32,43	0,22	2,17
	02:00	32,48	0,34	1,45
	03:00	32,43	0,19	2,51
	04:00	32,44	0,17	2,82
	05:00	32,50	0,16	3,13
	06:00	32,59	0,22	2,41
	07:00	32,56	0,20	2,60
	08:00	32,54	0,18	2,85
	09:00	32,45	0,19	2,54
	10:00	32,61	0,23	2,33
	11:00	32,65	0,36	1,53

	12:00	32,60	0,23	2,32
	13:00	32,43	0,22	2,17
	14:00	32,60	0,26	2,05
	15:00	32,49	0,20	2,48
	16:00	32,47	0,24	2,04
	17:00	32,49	0,23	2,16
	19:00	32,57	0,22	2,38
	20:00	32,57	0,41	1,28
	21:00	32,51	0,26	1,94
	22:00	32,58	0,32	1,65
	23:00	32,65	0,27	2,04
	00:00	32,38	0,17	2,71
02, Aug, 09	01:00	32,51	0,27	1,86
	02:00	32,44	0,25	1,92
	03:00	32,44	0,25	1,92
	04:00	32,52	0,22	2,30
	05:00	32,58	0,31	1,70
	06:00	32,58	0,26	2,03
	07:00	32,43	0,27	1,77
	08:00	32,43	0,23	2,07
	09:00	32,51	0,23	2,19
	10:00	32,44	0,23	2,09
	11:00	32,62	0,24	2,25
	12:00	32,64	0,25	2,19
	13:00	32,27	0,23	1,84
	14:00	32,53	0,32	1,59
	15:00	32,47	0,30	1,63
	16:00	32,51	0,24	2,10
	18:00	32,58	0,24	2,19

Tabela 10 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 3, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
	08:00	33,00	0,14	4,76
	09:00	32,99	0,18	3,69
	10:00	33,05	0,17	3,82
	11:00	32,96	0,19	3,44
	13:00	33,04	0,24	2,72
	14:00	33,09	0,19	3,35
	15:00	32,89	0,20	3,15
31/07/2009	16:00	32,82	0,17	3,57
	17:00	32,92	0,21	3,05
	18:00	33,02	0,16	4,12
	19:00	32,96	0,21	3,11
	21:00	32,82	0,25	2,43
	22:00	32,64	0,17	3,22
	23:00	32,72	0,26	2,21

	00:00	32,68	0,25	2,24
01/08/2009	01:00	32,74	0,23	2,52
	02:00	32,77	0,19	3,11
	04:00	32,77	0,20	2,95
	05:00	32,89	0,20	3,15
	06:00	32,95	0,24	2,71
	07:00	32,94	0,26	2,49
	08:00	32,89	0,17	3,71
	09:00	32,83	0,23	2,65
	10:00	32,90	0,24	2,64
	11:00	32,83	0,26	2,35
	13:00	32,74	0,23	2,52
	14:00	32,90	0,24	2,64
	15:00	32,82	0,30	2,02
	16:00	32,83	0,30	2,03
	17:00	32,83	0,26	2,35
	19:00	32,78	0,23	2,58
	20:00	32,84	0,20	3,07
	21:00	32,74	0,20	2,90
	22:00	32,82	0,24	2,53
	23:00	32,90	0,32	1,98
	00:00	32,82	0,15	4,04
02/08/2009	01:00	32,81	0,23	2,62
	02:00	32,84	0,29	2,11
	03:00	32,85	0,24	2,57
	04:00	32,80	0,26	2,31
	05:00	32,87	0,17	3,67
	06:00	32,92	0,24	2,67
	07:00	32,88	0,24	2,61
	08:00	32,83	0,22	2,77
	09:00	32,92	0,33	1,94
	10:00	32,84	0,21	2,92
	11:00	32,86	0,23	2,70
	12:00	33,01	0,22	3,02
	13:00	32,76	0,23	2,55
	14:00	32,90	0,27	2,35
		15:00	32,77	0,24

Tabela 11 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 3, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	33,29	0,20	2,85
	09:00	33,12	0,18	3,48
	10:00	33,14	0,20	3,10
	11:00	33,10	0,28	2,26
	13:00	33,13	0,21	2,97
	14:00	33,25	0,25	2,33

	15:00	33,26	0,24	2,42
	16:00	33,23	0,19	3,11
	17:00	33,09	0,18	3,54
	18:00	33,23	0,19	3,11
	19:00	33,28	0,17	3,37
	21:00	32,99	0,19	3,49
	22:00	32,87	0,21	2,97
	23:00	33,03	0,25	2,63
	00:00	33,03	0,16	4,10
01/08/2009	01:00	33,00	0,20	3,33
	02:00	33,16	0,27	2,27
	05:00	33,18	0,15	4,04
	06:00	33,26	0,22	2,64
	07:00	33,26	0,19	3,05
	08:00	33,30	0,14	4,05
	09:00	33,36	0,28	1,95
	10:00	33,44	0,20	2,60
	11:00	33,35	0,21	2,62
	13:00	33,00	0,20	3,33
	14:00	33,42	0,36	1,46
	15:00	33,17	0,32	1,91
	16:00	33,15	0,26	2,37
	17:00	33,24	0,30	1,96
	19:00	33,21	0,29	2,06
	20:00	33,30	0,32	1,77
	21:00	33,44	0,23	2,26
	22:00	33,26	0,39	1,49
	23:00	33,44	0,32	1,63
		00:00	33,40	0,22
02/08/2009	01:00	33,18	0,25	2,43
	02:00	33,34	0,20	2,77
	03:00	33,39	0,26	2,06
	04:00	33,22	0,25	2,37
	05:00	33,54	0,22	2,21
	06:00	33,23	0,25	2,36
	07:00	33,43	0,29	1,80
	08:00	33,32	0,30	1,87
	09:00	33,55	0,28	1,73
	10:00	33,22	0,23	2,58
	11:00	33,44	0,25	2,08
	12:00	33,46	0,29	1,77
	14:00	33,41	0,28	1,89
	15:00	33,48	0,30	1,69

Tabela 12 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 3, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
-------------	-------------	--------------	----------------------	------------

31/07/2009	08:00	33,36	0,22	2,48
	09:00	33,31	0,22	2,56
	10:00	33,34	0,19	2,91
	11:00	33,25	0,17	3,43
	13:00	33,36	0,21	2,60
	14:00	33,38	0,19	2,84
	15:00	33,36	0,22	2,48
	16:00	33,25	0,24	2,43
	17:00	33,23	0,19	3,11
	18:00	33,37	0,20	2,72
	19:00	33,32	0,15	3,73
	21:00	33,19	0,17	3,55
	22:00	33,08	0,26	2,46
	23:00	33,23	0,13	4,54
00:00	33,24	0,29	2,02	
01/08/2009	01:00	33,24	0,25	2,35
	02:00	33,25	0,14	4,17
	04:00	33,35	0,19	2,89
	05:00	33,32	0,15	3,73
	06:00	33,31	0,19	2,96
	07:00	33,31	0,24	2,35
	08:00	33,29	0,21	2,71
	09:00	33,28	0,23	2,49
	10:00	33,39	0,22	2,44
	11:00	33,44	0,29	1,79
	13:00	33,24	0,25	2,35
	14:00	33,49	0,23	2,19
	15:00	33,25	0,24	2,43
	16:00	33,31	0,20	2,82
	17:00	33,39	0,28	1,92
	19:00	33,40	0,36	1,48
	20:00	33,13	0,20	3,12
	21:00	33,38	0,27	2,00
	22:00	33,17	0,26	2,35
23:00	33,25	0,27	2,16	
00:00	33,26	0,28	2,07	
02/08/2009	01:00	33,23	0,26	2,27
	02:00	33,27	0,26	2,22
	03:00	33,19	0,22	2,74
	04:00	33,36	0,27	2,02
	05:00	33,26	0,22	2,64
	06:00	33,33	0,27	2,06
	07:00	33,28	0,21	2,73
	08:00	33,23	0,19	3,11
	09:00	33,31	0,30	1,88
	10:00	33,22	0,24	2,47
	11:00	33,41	0,21	2,52
	12:00	33,19	0,25	2,41

	13:00	33,04	0,26	2,51
	14:00	33,22	0,31	1,91
	15:00	33,21	0,31	1,92

Tabela 13 – Dados obtidos do acoplador 4 do computador 3, n = 30.

data	hora	média	desvio padrão	Cpk
31/07/2009	08:00	33,26	0,19	3,05
	09:00	33,04	0,15	4,36
	10:00	33,21	0,23	2,59
	11:00	33,19	0,17	3,55
	13:00	33,35	0,19	2,89
	14:00	33,34	0,23	2,41
	15:00	33,28	0,15	3,82
	16:00	33,32	0,18	3,11
	17:00	33,34	0,13	4,26
	18:00	33,38	0,13	4,15
	19:00	33,29	0,15	3,80
	21:00	33,15	0,14	4,40
	22:00	33,03	0,14	4,69
	23:00	33,14	0,25	2,48
	00:00	33,06	0,16	4,04
01/08/2009	01:00	33,13	0,27	2,31
	02:00	33,09	0,19	3,35
	03:00	33,14	0,19	3,26
	04:00	33,06	0,18	3,59
	05:00	33,16	0,17	3,61
	06:00	33,18	0,20	3,03
	07:00	33,28	0,23	2,49
	08:00	33,18	0,14	4,33
	09:00	33,28	0,22	2,61
	10:00	33,35	0,34	1,62
	11:00	33,25	0,20	2,92
	13:00	33,13	0,27	2,31
	14:00	33,41	0,30	1,77
	15:00	32,94	0,16	4,04
	16:00	33,11	0,30	2,10
	17:00	33,36	0,24	2,28
	19:00	33,34	0,25	2,21
20:00	33,16	0,20	3,07	
21:00	33,07	0,22	2,92	
22:00	33,22	0,32	1,85	
23:00	32,98	0,28	2,36	
	00:00	33,17	0,25	2,44
02/08/2009	01:00	32,89	0,21	3,00
	02:00	33,00	0,23	2,90
	03:00	32,93	0,20	3,22

04:00	32,99	0,25	2,65
05:00	33,03	0,23	2,86
06:00	33,01	0,29	2,29
07:00	33,23	0,25	2,36
08:00	32,97	0,24	2,74
09:00	33,20	0,34	1,76
10:00	33,07	0,25	2,57
11:00	33,32	0,23	2,43
12:00	33,08	0,22	2,91
13:00	32,99	0,35	1,90
14:00	33,22	0,28	2,12
15:00	33,09	0,26	2,45
18:00	33,14	0,23	2,70

APÊNDICE B

Dados obtidos do experimento com tamanho da amostra $n = 4$.

Tabela 14 – Dados obtidos do acoplador 1 do computador 1, $n = 4$.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	32.18	0.19	0.5	2.07
	9:20	32.07	0.49	1.27	0.73
	9:25	32.33	0.36	0.96	1.23
	9:30	32.55	0.42	1.05	1.23
	9:35	32.66	0.44	1.21	1.26
	9:40	32.29	0.32	0.88	1.34
	9:55	32.42	0.21	0.55	2.25
	10:00	32.47	0.29	0.71	1.69
	10:05	32.51	0.19	0.5	2.65
	10:10	32.32	0.26	0.71	1.69
	10:15	32.92	0.35	0.92	1.83
	10:20	32.62	0.19	0.49	2.84
	10:25	32.21	0.42	1.08	0.96
	10:30	32.56	0.08	0.23	6.50
	10:35	32.42	0.38	0.83	1.25
	10:40	32.63	0.41	1.11	1.33
	10:45	32.13	0.21	0.54	1.79
	10:50	32.43	0.35	0.85	1.36
	10:55	32.15	0.21	0.54	1.83
	12:00	32.33	0.3	0.76	1.48
	12:05	32.65	0.14	0.33	3.93
	12:10	32.8	0.19	0.52	3.16
	12:15	32.69	0.13	0.33	4.33
	12:20	32.91	0.26	0.71	2.45
	12:25	32.15	0.57	1.5	0.67
	12:30	32.75	0.26	0.71	2.24
	12:40	32.53	0.16	0.44	3.19
	12:45	32.64	0.46	1.25	1.19
	12:50	32.52	0.3	0.74	1.69
	12:55	32.37	0.26	0.54	1.76
	1:05	32.31	0.41	0.97	1.07
	1:10	32.46	0.46	1.25	1.06
1:15	32.65	0.2	0.53	2.75	
1:20	32.77	0.24	0.62	2.46	
1:25	32.51	0.25	0.64	2.01	
1:30	32.34	0.34	0.82	1.31	
1:35	32.62	0.2	0.57	2.70	
1:40	32.38	0.49	1.22	0.94	
1:45	32.17	0.45	1.13	0.87	
1:50	32.32	0.22	0.56	2.00	

Tabela 15 – Dados obtidos do acoplador 2 do computador 1, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	32.71	0.3	0.84	1.90
	9:20	32.73	0.58	1.59	0.99
	9:25	32.78	0.35	0.9	1.70
	9:30	32.76	0.32	0.76	1.83
	9:35	32.48	0.29	0.81	1.70
	9:40	32.29	0.25	0.69	1.72
	9:55	32.39	0.17	0.43	2.73
	10:00	32.74	0.22	0.55	2.64
	10:05	33.07	0.52	1.41	1.24
	10:10	32.54	0.27	0.73	1.90
	10:15	32.41	0.13	0.35	3.62
	10:20	32.77	0.12	0.31	4.92
	10:25	32.71	0.27	0.69	2.11
	10:30	32.59	0.29	0.69	1.83
	10:35	32.51	0.31	0.84	1.62
	10:40	32.58	0.35	0.96	1.50
	10:45	32.75	0.34	0.81	1.72
	10:50	32.45	0.38	0.88	1.27
	10:55	32.73	0.22	0.55	2.62
	12:00	32.61	0.23	0.58	2.33
	12:05	32.75	0.64	1.67	0.91
	12:10	32.91	0.46	1.19	1.38
	12:15	32.61	0.29	0.8	1.85
	12:20	32.83	0.2	0.51	3.05
	12:30	32.54	0.43	0.93	1.19
	12:40	32.8	0.5	1.22	1.20
	12:45	32.74	0.11	0.32	5.27
	12:50	32.73	0.5	1.32	1.15
	12:55	32.77	0.43	1.18	1.37
	1:00	32.53	0.28	0.78	1.82
	1:05	32.41	0.31	0.65	1.52
	1:10	32.53	0.51	1.22	1.00
	1:15	32.76	0.28	0.7	2.10
	1:20	32.64	0.07	0.18	7.81
	1:25	32.78	0.1	0.23	5.93
1:30	32.47	0.27	0.75	1.81	
1:35	32.44	0.42	0.95	1.14	
1:40	32.74	0.42	1.19	1.38	
1:45	32.41	0.31	0.82	1.52	
1:50	32.63	0.18	0.41	3.02	

Tabela 16 – Dados obtidos do acoplador 3 do computador 1, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	32.25	0.14	0.36	2.98
	9:25	32.38	0.32	0.8	1.44
	9:30	32.3	0.4	1.13	1.08
	9:35	31.86	0.45	1.08	0.64
	9:40	32.34	0.48	1.21	0.93
	9:45	32.41	0.27	0.64	1.74
	9:50	32.4	0.15	0.37	3.11
	9:55	31.98	0.24	0.51	1.36
	10:00	32.14	0.33	0.82	1.15
	10:05	32.13	0.31	0.75	1.22
	10:10	32.52	0.31	0.88	1.63
	10:15	32.27	0.49	1.25	0.86
	10:20	32.4	0.33	0.82	1.41
	10:25	32	0.39	0.95	0.85
	10:30	32.11	0.34	0.85	1.09
	10:35	32.39	0.25	0.68	1.85
	10:40	32.19	0.34	0.86	1.17
	10:45	32.52	0.48	1.31	1.06
	10:50	32.45	0.13	0.32	3.72
	10:55	32.16	0.47	1.12	0.82
	12:00	32.51	0.44	1.08	1.14
	12:05	32.26	0.18	0.49	2.33
	12:10	32.15	0.36	0.83	1.06
	12:15	32.1	0.41	0.99	0.89
	12:20	32.39	0.26	0.7	1.78
	12:25	32.06	0.29	0.72	1.22
	12:40	32.35	0.1	0.29	4.50
	12:45	32.06	0.4	0.97	0.88
	12:50	32.23	0.34	0.84	1.21
	12:55	32.21	0.44	0.97	0.92
	1:00	32.21	0.13	0.32	3.10
	1:05	32.35	0.46	1.24	0.98
	1:10	32.18	0.41	1.11	0.96
	1:15	32.36	0.32	0.87	1.42
	1:20	32.19	0.19	0.5	2.09
	1:25	32.12	0.35	0.84	1.07
1:30	32.13	0.34	0.95	1.11	
1:35	32.35	0.1	0.27	4.50	
1:40	32.23	0.27	0.67	1.52	
1:45	32.44	0.23	0.58	2.09	

Tabela 17– Dados obtidos do acoplador 4 do computador 1, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	32.67	0.17	0.45	3.27
	9:20	32.67	0.54	1.42	1.03
	9:25	32.94	0.16	0.42	4.04
	9:30	32.58	0.17	0.45	3.10
	9:35	32.51	0.37	0.87	1.36
	9:40	32.52	0.29	0.74	1.75
	9:45	32.78	0.37	1.03	1.60
	9:55	32.56	0.35	0.87	1.49
	10:00	32.43	0.49	1.37	0.97
	10:05	32.25	0.25	0.64	1.67
	10:10	32.43	0.19	0.46	2.51
	10:15	32.95	0.35	0.95	1.86
	10:20	32.92	0.12	0.34	5.33
	10:25	32.69	0.21	0.58	2.68
	10:30	32.86	0.43	1.18	1.44
	10:35	32.56	0.16	0.41	3.25
	10:40	32.63	0.54	1.18	1.01
	10:45	32.83	0.12	0.32	5.08
	10:50	32.66	0.14	0.34	3.95
	10:55	32.53	0.27	0.7	1.89
	12:00	32.84	0.4	1.04	1.53
	12:05	32.93	0.32	0.85	2.01
	12:10	32.46	0.34	0.86	1.43
	12:15	32.76	0.13	0.37	4.51
	12:20	32.78	0.03	0.09	19.78
	12:40	33.07	0.42	1.11	1.53
	12:45	32.82	0.46	1.22	1.32
	12:50	32.7	0.18	0.48	3.15
	12:55	32.68	0.39	1.07	1.44
	1:05	32.62	0.37	0.79	1.46
	1:15	32.77	0.29	0.71	2.03
	1:20	32.43	0.34	0.87	1.40
	1:25	32.57	0.15	0.38	3.49
	1:30	32.58	0.3	0.82	1.76
1:35	32.85	0.24	0.54	2.57	
1:40	32.89	0.42	1.12	1.50	
1:45	32.96	0.1	0.27	6.53	
1:50	32.71	0.44	1.2	1.30	
1:55	32.6	0.19	0.49	2.81	
2:00	32.71	0.29	0.72	1.97	

Tabela 18– Dados obtidos do acoplador 1 do computador 2, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	33.54	0.38	0.97	1.28
	9:20	33.37	0.24	0.6	2.26
	9:25	33.52	0.53	1.28	0.93
	9:30	33.37	0.2	0.49	2.72
	9:35	33.47	0.57	1.49	0.89
	9:40	33.52	0.16	0.36	3.08
	9:45	33.38	0.36	0.97	1.50
	9:50	33.51	0.38	0.93	1.31
	10:00	33.38	0.2	0.53	2.70
	10:05	33.7	0.39	1	1.11
	10:10	33.42	0.17	0.47	3.10
	10:15	33.62	0.09	0.24	5.11
	10:20	33.63	0.3	0.76	1.52
	10:25	33.3	0.58	1.54	0.98
	10:30	33.42	0.29	0.75	1.82
	10:35	33.54	0.3	0.85	1.62
	10:40	33.32	0.24	0.6	2.33
	10:45	33.31	0.41	1.02	1.37
	12:00	33.61	0.39	1.07	1.19
	12:05	33.35	0.19	0.46	2.89
	12:10	33.1	0.43	1.05	1.47
	12:15	33.18	0.54	1.26	1.12
	12:20	33.5	0.17	0.45	2.94
	12:25	33.21	0.24	0.6	2.49
	12:30	33.28	0.37	0.98	1.55
	12:40	33.35	0.23	0.63	2.39
	12:45	33.59	0.32	0.79	1.47
	12:50	33.26	0.36	1.01	1.61
	12:55	33.54	0.13	0.34	3.74
	1:05	33.33	0.25	0.59	2.23
	1:10	33.29	0.05	0.15	11.40
	1:15	33.27	0.07	0.19	8.24
	1:20	33.22	0.26	0.63	2.28
	1:25	33.25	0.35	0.84	1.67
	1:30	33.45	0.51	1.43	1.01
	1:35	33.48	0.23	0.64	2.20
1:40	32.93	0.69	1.78	0.93	
1:45	33.36	0.62	1.46	0.88	
2:00	33.38	0.41	0.95	1.32	
2:05	33.45	0.24	0.65	2.15	

Tabela 19– Dados obtidos do acoplador 2 do computador 2, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	32.92	0.52	1.29	1.23
	9:20	32.68	0.21	0.58	2.67
	9:25	32.73	0.55	1.36	1.05
	9:30	32.65	0.21	0.53	2.62
	9:35	32.54	0.28	0.7	1.83
	9:40	32.88	0.09	0.26	6.96
	9:45	32.98	0.19	0.42	3.47
	9:50	32.49	0.4	0.94	1.24
	10:00	32.53	0.12	0.31	4.25
	10:05	32.8	0.51	1.26	1.18
	10:10	32.71	0.15	0.38	3.80
	10:15	32.9	0.31	0.82	2.04
	10:20	32.7	0.44	1.12	1.29
	10:25	32.86	0.23	0.55	2.70
	10:30	33.35	0.13	0.32	4.23
	10:35	32.39	0.41	1.03	1.13
	10:40	32.68	0.32	0.85	1.75
	10:45	32.62	0.21	0.58	2.57
	10:50	33.1	0.23	0.53	2.75
	12:00	32.66	0.4	0.95	1.38
	12:05	32.69	0.3	0.81	1.88
	12:10	32.98	0.15	0.39	4.40
	12:15	32.82	0.16	0.41	3.79
	12:20	32.82	0.2	0.56	3.03
	12:25	32.87	0.04	0.11	15.58
	12:30	32.75	0.21	0.51	2.78
	12:40	32.63	0.24	0.62	2.26
	12:45	32.6	0.39	1.08	1.37
	12:50	32.78	0.22	0.58	2.70
	12:55	32.86	0.32	0.9	1.94
	1:05	32.69	0.13	0.32	4.33
	1:10	32.87	0.5	1.38	1.25
	1:15	32.99	0.39	0.82	1.70
	1:20	32.72	0.24	0.58	2.39
1:25	32.6	0.2	0.51	2.67	
1:30	32.65	0.29	0.72	1.90	
1:35	32.9	0.28	0.75	2.26	
1:40	32.54	0.39	0.97	1.32	
1:45	32.61	0.08	0.2	6.71	
1:50	32.86	0.25	0.71	2.48	

Tabela 20– Dados obtidos do acoplador 3 do computador 2, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	33.83	0.41	1.09	0.95
	9:20	33.83	0.39	0.93	1.00
	9:25	33.92	0.33	0.85	1.09
	9:30	33.96	0.11	0.3	3.15
	9:35	33.42	0.54	1.29	0.98
	9:40	33.72	0.29	0.74	1.47
	9:45	33.75	0.25	0.67	1.67
	9:50	33.63	0.47	1.17	0.97
	10:00	33.41	0.25	0.68	2.12
	10:05	33.41	0.36	0.99	1.47
	10:10	33.47	0.35	0.85	1.46
	10:15	33.73	0.42	1.03	1.01
	10:20	33.39	0.07	0.17	7.67
	10:25	33.83	0.38	0.98	1.03
	10:30	33.37	0.19	0.48	2.86
	10:35	33.86	0.43	1.13	0.88
	10:40	33.71	0.32	0.82	1.34
	10:45	33.71	0.39	1.08	1.10
	10:50	33.49	0.14	0.35	3.60
	12:00	33.54	0.25	0.65	1.95
	12:05	33.93	0.35	0.93	1.02
	12:10	33.67	0.3	0.83	1.48
	12:15	33.71	0.18	0.44	2.39
	12:20	33.63	0.5	1.06	0.91
	12:25	33.69	0.55	1.48	0.79
	12:30	33.69	0.15	0.41	2.91
	12:40	33.6	0.23	0.54	2.03
	12:45	33.56	0.33	0.81	1.45
	12:50	33.51	0.2	0.52	2.48
	12:55	33.76	0.28	0.69	1.48
	1:00	33.79	0.47	1.31	0.86
	1:05	33.86	0.12	0.32	3.17
	1:10	33.9	0.31	0.73	1.18
	1:15	33.79	0.29	0.76	1.39
	1:20	33.45	0.33	0.82	1.57
	1:25	33.62	0.52	1.3	0.88
1:30	33.55	0.23	0.58	2.10	
1:35	33.66	0.25	0.6	1.79	
1:40	33.55	0.27	0.62	1.79	
1:45	33.34	0.28	0.77	1.98	

Tabela 21– Dados obtidos do acoplador 4 do computador 2, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:15	32.8	0.15	0.39	4.00
	9:20	32.68	0.39	0.96	1.44
	9:25	32.9	0.23	0.56	2.75
	9:30	32.69	0.29	0.71	1.94
	9:35	32.7	0.16	0.45	3.54
	9:40	33.19	0.3	0.75	2.01
	9:45	33.02	0.28	0.7	2.36
	9:50	32.76	0.32	0.8	1.83
	10:00	33.18	0.22	0.57	2.76
	10:05	33.02	0.49	1.19	1.35
	10:10	33.01	0.08	0.21	8.29
	10:15	33.31	0.27	0.58	2.09
	10:20	33.2	0.3	0.83	2.00
	10:25	33.06	0.28	0.76	2.31
	10:30	32.94	0.24	0.61	2.69
	10:35	32.82	0.37	1.03	1.64
	10:40	33.06	0.21	0.53	3.08
	10:45	33.13	0.35	0.94	1.78
	10:50	32.95	0.25	0.68	2.60
	12:00	32.89	0.36	0.85	1.75
	12:05	33.05	0.24	0.59	2.71
	12:10	33.3	0.29	0.66	1.95
	12:15	33.04	0.13	0.36	5.03
	12:20	33.29	0.16	0.43	3.56
	12:25	32.48	0.32	0.79	1.54
	12:30	33.1	0.36	0.98	1.76
	12:40	33.12	0.27	0.75	2.32
	12:45	32.96	0.4	1.05	1.63
	12:50	33.3	0.19	0.53	2.98
	12:55	32.98	0.32	0.81	2.06
	1:00	32.63	0.22	0.58	2.47
	1:05	32.68	0.47	1.2	1.19
	1:10	33.24	0.19	0.47	3.09
	1:15	33.08	0.32	0.76	2.00
	1:20	32.97	0.26	0.63	2.53
	1:25	32.51	0.24	0.58	2.10
1:30	32.6	0.33	0.9	1.62	
1:35	33.24	0.25	0.54	2.35	
1:40	32.93	0.37	0.89	1.74	
1:45	33.31	0.15	0.37	3.76	

Tabela 22– Dados obtidos do acoplador 1 do computador 3, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:20	33.23	0.08	0.19	7.38
	9:25	33.5	0.56	1.51	0.89
	9:30	32.99	0.17	0.39	3.90
	9:35	33.38	0.62	1.47	0.87
	10:00	33.25	0.18	0.5	3.24
	10:05	33.39	0.27	0.73	1.99
	10:10	33.3	0.49	1.24	1.16
	10:15	33.16	0.38	1.06	1.61
	10:20	33.15	0.42	1	1.47
	10:30	33.32	0.36	1.02	1.56
	10:45	33.17	0.35	0.85	1.74
	12:00	33.16	0.39	0.94	1.57
	12:05	33.44	0.34	0.91	1.53
	12:10	33.28	0.29	0.73	1.98
	12:15	33.27	0.15	0.39	3.84
	12:20	33.35	0.26	0.61	2.12
	12:40	32.98	0.27	0.69	2.44
	12:45	33.25	0.27	0.73	2.16
	12:50	33.16	0.33	0.79	1.86
	12:55	33.72	0.27	0.7	1.58
	1:05	33.42	0.16	0.44	3.29
	1:25	33.23	0.25	0.7	2.36
	1:30	33.23	0.15	0.37	3.93
	1:35	33.11	0.32	0.87	1.97
	1:40	32.73	0.32	0.79	1.80
	1:45	33.38	0.43	1.09	1.26
	1:50	33.03	0.24	0.59	2.74
	2:00	32.99	0.23	0.63	2.88
	2:10	33.05	0.43	1.16	1.51
	2:15	33.16	0.18	0.51	3.41
	2:20	33.23	0.16	0.4	3.69
	2:25	33.24	0.08	0.23	7.33
	2:30	32.69	0.21	0.59	2.68
	2:35	33.01	0.47	1.03	1.41
2:40	32.69	0.37	0.93	1.52	
2:45	33.03	0.34	0.86	1.93	
2:55	32.92	0.44	1.07	1.45	
3:00	33.36	0.36	0.92	1.52	
3:05	33.16	0.29	0.71	2.11	
3:10	33.39	0.34	0.82	1.58	

Tabela 23– Dados obtidos do acoplador 2 do computador 3, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:20	32.58	0.26	0.68	2.03
	9:25	32.56	0.3	0.79	1.73
	9:30	32.72	0.24	0.63	2.39
	9:35	32.58	0.61	1.59	0.86
	10:00	32.41	0.3	0.76	1.57
	10:05	32.37	0.27	0.6	1.69
	10:10	32.69	0.28	0.58	2.01
	10:15	32.96	0.18	0.45	3.63
	10:20	32.62	0.28	0.71	1.93
	10:30	32.47	0.7	1.67	0.70
	10:45	32.68	0.33	0.8	1.70
	12:00	32.69	0.23	0.56	2.45
	12:05	32.66	0.15	0.4	3.69
	12:10	32.81	0.41	0.97	1.47
	12:15	32.68	0.38	0.98	1.47
	12:20	32.62	0.23	0.59	2.35
	12:45	32.83	0.15	0.42	4.07
	12:50	32.45	0.26	0.62	1.86
	12:55	32.5	0.23	0.54	2.17
	1:05	32.47	0.21	0.52	2.33
	1:25	32.54	0.19	0.47	2.70
	1:30	32.52	0.22	0.56	2.30
	1:35	32.43	0.25	0.59	1.91
	1:40	32.6	0.3	0.76	1.78
	1:45	32.38	0.32	0.76	1.44
	1:50	32.87	0.21	0.53	2.97
	2:00	32.78	0.11	0.25	5.39
	2:10	32.35	0.26	0.7	1.73
	2:15	32.64	0.36	0.78	1.52
	2:20	32.48	0.29	0.74	1.70
	2:25	32.69	0.41	1.16	1.37
	2:30	32.75	0.31	0.79	1.88
	2:35	32.69	0.1	0.24	5.63
	2:40	32.61	0.32	0.79	1.68
	2:45	32.76	0.37	1.01	1.59
2:50	32.41	0.24	0.6	1.96	
2:55	32.7	0.48	1.34	1.18	
3:00	32.63	0.2	0.55	2.72	
3:05	32.8	0.07	0.17	8.57	
3:10	32.59	0.44	1.05	1.20	

Tabela 24– Dados obtidos do acoplador 3 do computador 3, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:20	33.14	0.15	0.43	4.13
	9:25	33.95	0.38	1.01	0.92
	9:30	33.23	0.29	0.79	2.03
	9:35	33.92	0.19	0.47	1.89
	10:00	33.24	0.43	1.21	1.36
	10:05	33.45	0.12	0.33	4.31
	10:10	33.66	0.23	0.61	1.94
	10:15	33.37	0.36	0.98	1.51
	10:20	33.59	0.39	1.07	1.21
	10:30	33.63	0.29	0.81	1.57
	10:35	33.6	0.41	1.08	1.14
	10:45	33.44	0.31	0.79	1.68
	12:00	33.37	0.27	0.66	2.01
	12:05	33.12	0.27	0.74	2.32
	12:10	33.27	0.1	0.27	5.77
	12:15	33.49	0.26	0.67	1.94
	12:20	33.44	0.25	0.64	2.08
	12:40	33.47	0.21	0.56	2.43
	12:45	33.23	0.22	0.58	2.68
	12:50	33.22	0.33	0.85	1.80
	12:55	33.83	0.14	0.38	2.79
	1:05	33.47	0.33	0.83	1.55
	1:10	33.39	0.24	0.65	2.24
	1:20	33.73	0.55	1.45	0.77
	1:25	33.38	0.17	0.48	3.18
	1:30	33.96	0.21	0.53	1.65
	1:35	33.3	0.2	0.45	2.83
	1:40	33.59	0.13	0.37	3.62
	1:45	33.36	0.2	0.53	2.73
	1:50	33.63	0.31	0.76	1.47
	2:00	33.91	0.23	0.61	1.58
	2:10	33.78	0.25	0.61	1.63
	2:15	33.73	0.31	0.82	1.37
2:20	33.44	0.22	0.6	2.36	
2:25	33.54	0.34	0.84	1.43	
2:30	33.22	0.23	0.64	2.58	
2:35	33.84	0.38	1.02	1.02	
2:40	33.85	0.2	0.55	1.92	
2:45	33.5	0.27	0.74	1.85	
2:50	33.72	0.24	0.61	1.78	

Tabela 25– Dados obtidos do acoplador 4 do computador 3, n = 4.

Dia	Hora	Média	Desvio	Amplitude	C_{pk}
16/11/2009	9:20	32.23	0.21	0.46	1.95
	9:25	32.32	0.16	0.4	2.75
	9:30	32.65	0.18	0.48	3.06
	9:35	33.15	0.41	1.15	1.50
	10:00	32.48	0.38	0.97	1.30
	10:05	32.71	0.16	0.43	3.56
	10:10	32.2	0.1	0.25	4.00
	10:15	32.9	0.27	0.62	2.35
	10:20	32.66	0.38	0.86	1.46
	10:25	32.59	0.3	0.81	1.77
	10:30	32.85	0.22	0.57	2.80
	10:35	32.4	0.32	0.79	1.46
	10:45	32.81	0.28	0.71	2.15
	12:00	32.69	0.28	0.71	2.01
	12:05	32.25	0.07	0.18	5.95
	12:10	32.94	0.46	1.18	1.41
	12:15	32.63	0.21	0.55	2.59
	12:20	32.57	0.41	1.08	1.28
	12:40	32.72	0.28	0.7	2.05
	12:45	32.7	0.4	1.08	1.42
	12:50	32.45	0.22	0.62	2.20
	12:55	32.51	0.43	1.09	1.17
	1:05	32.8	0.03	0.09	20.00
	1:10	32.54	0.37	1.04	1.39
	1:20	32.51	0.29	0.64	1.74
	1:25	32.83	0.19	0.49	3.21
	1:30	32.59	0.61	1.71	0.87
	1:35	32.57	0.32	0.82	1.64
	1:40	32.32	0.31	0.77	1.42
	1:45	32.38	0.35	0.9	1.31
	1:50	32.54	0.2	0.52	2.57
	2:00	32.89	0.22	0.61	2.86
	2:10	32.35	0.2	0.44	2.25
	2:15	32.58	0.17	0.47	3.10
	2:20	32.31	0.3	0.69	1.46
	2:25	32.75	0.29	0.82	2.01
	2:30	32.9	0.21	0.52	3.02
	2:35	32.62	0.34	0.85	1.59
	2:40	32.71	0.28	0.79	2.04
	2:45	33.02	0.12	0.31	5.50