

**MODELO PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DE
PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE
SOFTWARE (CEP-S)**

PATRÍCIA CORRÊA FONSECA

**MODELO PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DE
PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE
SOFTWARE (CEP-S)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: CLARINDO ISAÍAS P. S. PÁDUA
COORIENTADORA: LETÍCIA PEREIRA PINTO

Belo Horizonte, Minas Gerais

Setembro de 2010

© 2010, Patrícia Corrêa Fonseca.
Todos os direitos reservados.

F676m Fonseca, Patrícia Corrêa
Modelo para Controle Estatístico de Processos de
Desenvolvimento de Software (CEP-S) / Patrícia
Corrêa Fonseca. — Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010
xxvi, 144 f. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de
Minas Gerais

Orientador: Clarindo Isaías P. S. Pádua

Coorientadora: Letícia Pereira Pinto

1. Computação - Teses. 2. Engenharia de Software -
Testes. I. Orientador. II. Coorientadora. III. Título.

CDU 519.6*32(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Modelo para controle estatístico de processos de desenvolvimento de software
(CEP-S)

PATRÍCIA CORRÊA FONSECA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

PROF. CLARINDO ISAIÁS PEREIRA DA SILVA E PÁDUA - Orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

PROFA. M.SC. LETÍCIA PEREIRA PINTO

PROF. JOSÉ LUIS BRAGA
Departamento de Informática - UFV

PROF. RODOLFO SÉRGIO FERREIRA DE RESENDE
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

VITOR ALCANTARA BATISTA
Laboratório Synergia - DCC - UFMG

Belo Horizonte, 17 de setembro de 2010.

Dedico este trabalho a meus pais, Glória e Marconi.

Agradecimentos

Aos professores Ângelo de Moura Guimarães e Antônio Alfredo F. Loureiro, pelos incentivos e pelas recomendações, que viabilizaram a oportunidade para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Clarindo, pelas orientações, que culminaram nesta dissertação.

À Letícia Pereira Pinto, minha co-orientadora, pelas orientações em estatística, que guiaram grande parte do trabalho nesse assunto.

Ao Vitor Alcântara Batista, pela prontidão e apoio na coleta e análise dos dados, e ao Laboratório Synergia, que colocou à disposição tais dados. Ambos tornaram possível a realização dos estudos de caso.

Ao professor Rodolfo F. Resende, pelas revisões do artigo que escrevermos, juntamente com o Professor Clarindo e a Letícia. O artigo foi um marco importante na fase de elaboração desta dissertação, pois favoreceu a construção de uma visão sintetizada e, ao mesmo tempo, completa.

Ao Departamento de Ciência da Computação e à UFMG pela excelência no ensino e pesquisa, que gera a satisfação de ser formada por esta instituição. Ao CNPq pelo apoio financeiro trazido pela bolsa de estudos concedida durante um semestre.

À Fernanda Sander, ao Bruno, Waltin e Rabelo pela disponibilidade em ajudarem com as preciosas revisões do texto.

Ao André, meu amor, por não revidar minhas ausências, por ser meu porto seguro.

À Cleo e Toninho pelo carinho, suporte e também pelos exemplos de vida acadêmica.

Ao *Sr Eteg*, que com benevolência, me manteve em seu quadro de profissionais, mesmo quando minha dedicação estava focada, em grande parte, nos trabalhos de pesquisas.

À Márcia Tupinambás, minha amiga e terapeuta, pelas conversas e pelo reiki, que me ajudam a lidar melhor com as questões cotidianas.

E são muitos a quem tenho que agradecer, que, de alguma forma, com uma palavra, uma ideia, uma piada, uma companhia, fazem parte desta conquista! Em especial, aos familiares, aos amigos, *às super poderosas*: Ana, Luluzinha e Quel, amigas de toda hora, *à dvd-session* e *à hellmans*, grupo de amigos e colegas que promovem os eventos sociais, que fazem a vida mais divertida!

“Pensar estatisticamente será um dia, para a eficiente prática da cidadania, tão necessário como a habilidade de ler e escrever.”

(H.G.Wells)

Resumo

Considerando a importância da indústria de software no mercado nacional, o fato de ela ser, na maioria, representada por pequenas e médias empresas (PME) e pela crença de que a promoção dessa indústria se dá, em parte, pela promoção da qualidade e produtividade, propomos um modelo para PME aplicarem Controle Estatístico de Processo (CEP) no desenvolvimento de software, o Controle Estatístico de Processo de Software (CEP-S). O CEP utiliza a estatística para gerenciar os processos de produção, promover continuamente a melhoria de qualidade através da redução da variabilidade dos parâmetros de controle e dar apoio à tomada de decisão da alta gerência. O seu objetivo principal é permitir diagnosticar se o processo está sob influência de causas atribuíveis que precisam ser investigadas e eliminadas. O modelo CEP-S propõe um conjunto de características de qualidade a serem monitoradas para determinados processos, os gráficos de controle mais adequados para cada processo e sugestões para a escolha dos parâmetros de controle. Esses elementos são organizados em um método proposto no modelo, fornecendo um arcabouço com escolhas pré-definidas, porém flexíveis, que contribui para tornar a aplicação de CEP em PME facilitada, favorecendo as investidas iniciais nas atividades de controle estatístico.

Abstract

Considering the importance of software industry in the national market, the fact that it is mostly composed of small and medium enterprises (SMEs) and based on the belief that the advancement of this industry occurs, in part, by improving quality and productivity we propose here a model for the application of a Statistical Process Control (SPC) to software development by SMEs. The SPC uses statistics to manage the production process, to continually improve quality by reducing the variability of the control parameters and to support decision making by top management. Its main purpose is to diagnose whether the process is under the influence of assignable causes that need to be investigated and eliminated. The model proposes a set of quality characteristics to be monitored for certain processes, and the control charts most appropriate for each case and suggestions for choosing the control parameters. These elements are organized in a method proposed in the model, providing a framework flexible but with pre-defined choices, to facilitate the application of SPC by SMEs, enabling their initial forays in statistical control activities.

Lista de Figuras

1.1	Tipos de pesquisa segundo Jung [2004]	11
2.1	Gráfico das Baleias - RUP Rational Unified Process	20
2.2	Ilustração de um Ciclo do PDCA	21
2.3	Ilustração do Modelo IDEAL	22
2.4	Ilustração do Ciclo DMAIC	24
2.5	Exemplo de um Diagrama SIPOC	25
2.6	Escada Qualidade em Serviços	27
2.7	Visão de uma matriz Desdobramento da Função da Qualidade	28
2.8	Tabela Classificação Modelo Kano	29
3.1	Varição controlada	38
3.2	Varição não controlada	39
3.3	Parâmetros de controle LC, LSC e LIC	41
3.4	Limites de controle e especificação	46
3.5	Correlação Forte	49
3.6	Correlação Fraca	49
3.7	Testes de controle	52
3.8	Exemplo de Histograma - número de defeitos por tipo	56
3.9	Exemplo de Diagrama de Pareto - número de defeito por tipo	57
3.10	Exemplo de gráfico para análise de custo x benefício	58
4.1	Visão das atividades para aplicação de CEP	60
4.2	Visão dos processos de desenvolvimento de software	63
4.3	Características de interesse	71
4.4	<i>Goal-Driven Software Measurement</i>	75
4.5	Estratégia	76
4.6	Mapa estratégico BSC	79
4.7	Visão integrada das 3 ferramentas	81

4.8	Digrama de decisão para gráfico de controle	86
4.9	Parâmetros de controle	86
4.10	Classificação de defeitos	88
4.11	Atividades para estabilizar o processo	88
4.12	Controle Estatístico de Processo	90
5.1	[IR-ReP] Teste de normalidade	94
5.2	[IR-ReP] MMEP (1)	95
5.3	[IR-ReP] MMEP (3)	95
5.4	[IR-PrP] Teste de normalidade	96
5.5	[IR-PrP] MMEP (1)	96
5.6	[IR-PrP] MMEP (4)	96
5.7	[IR-PPP] Teste de normalidade	97
5.8	[IR-PPP] MMEP (1)	97
5.9	[IR-PPP] MMEP (2)	97
5.10	Participação dos Processos em Produção	98
5.11	[IR-DeP] Teste de normalidade	99
5.12	[IR-DeP] MMEP (1)	99
5.13	[IR-DeP] MMEP (2)	99
5.14	[DR-ReP] MMEP (1)	101
5.15	[DR-ReP] MMEP (3)	101
5.16	[DR-PrP] MMEP (1)	102
5.17	[DR-PrP] MMEP (9)	102
5.18	[DR-PPP] Teste de normalidade	103
5.19	[DR-PPP] MMEP (1)	103
5.20	[DR-DeP] MMEP (1)	104
5.21	[DR-DeP] MMEP (4)	104
5.22	[DE-ReP] MMEP (1)	105
5.23	[DE-PrP] MMEP (1)	106
5.24	[DE-PPP] MMEP (1)	107
5.25	[IM-ReP] MMEP (1)	108
5.26	[IM-PrP] Teste de normalidade	109
5.27	[IM-PrP] $\bar{X} - I$ (1)	109
5.28	[IM-PrP] MMEP (1)	109
5.29	[IM-PPP] Teste de normalidade	110
5.30	[IM-PPP] MMEP (1)	111

C.1	Porte das empresas brasileiras de software	132
C.2	Fatores da competitividade	135

Lista de Tabelas

3.1	Comprimentos Médios de Sequências para CMS_1	45
3.2	Comprimentos Médios de Sequências para Vários Esquemas de Controle MMEP	46
3.3	Estimativa de ppm para C_p	57
4.1	Atividades dos processos alvo de CEP	65
4.2	Processos da estratégia	77
B.1	Classificação do Software	128
C.1	Histórico dos marcos das ações políticas do Brasil	132

Sumário

Agradecimentos	ix
Resumo	xiii
Abstract	xv
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xxi
1 Introdução	5
1.1 Motivação	6
1.2 Objetivos do trabalho	8
1.3 Limites do trabalho	9
1.4 Método de pesquisa	10
1.5 Organização deste documento	15
2 Revisão bibliográfica	17
2.1 Principais conceitos	18
2.2 CEP e a melhoria de processos de desenvolvimento de software	30
2.2.1 O primeiro momento de revisão	30
2.2.2 O segundo momento de revisão	31
2.3 Caracterização das PME desenvolvedoras de software	34
3 O controle estatístico de processo (CEP)	37
3.1 Métodos estatísticos	39
3.2 Visão geral dos gráficos de controle	40
3.3 Limites de controle	43
3.4 Limites de especificação	45
3.5 Tamanho da amostra e frequência de amostragem	47

3.6	Testes de hipótese, nível de significância e P-valor	47
3.7	Coeficiente de correlação	48
3.8	Testes de normalidade	50
3.9	Testes para detecção de situações fora-de-controle	50
3.10	Gráficos de controle X-Barra, S e R	52
3.11	Gráfico de controle X Barra-Individual	53
3.12	Gráficos de controle para não-conformidades (Defeitos)	54
3.13	Gráfico MMEP	54
3.14	Histograma e Gráfico de Pareto	55
3.15	Capacidade do processo	56
3.16	Gráfico de custo benefício	57
4	O Modelo CEP-S	59
4.1	Seleção dos processos alvo do controle estatístico	61
4.1.1	Visão dos processos alvo de CEP	62
4.1.2	Visão das atividades dos processos alvo de CEP	64
4.1.3	Considerações	66
4.1.4	Guia de personalizações	68
4.2	Identificação das características de interesse	70
4.2.1	As Características de interesse	70
4.2.2	Seleção das características de interesse	73
4.3	Planejamento e execução das medições	80
4.4	Construção dos gráficos de controle	85
4.5	Estabilização dos processos	88
4.6	Controle estatístico dos processos	89
5	Estudo de caso	91
5.1	Aplicando o Modelo CEP-S	91
5.1.1	Processo: Identificação de Requisitos (IR)	94
5.1.2	Processo: Detalhamento de Requisitos (DR)	100
5.1.3	Processo: Desenho Externo (DE)	105
5.1.4	Processo: Implementação (IM)	107
5.2	Visão geral das análises dos resultados	111
5.3	Análise de viabilidade Modelo CEP-S	112
6	Conclusão	117
6.1	Trabalhos futuros	118

Apêndice A	Conceitos e fórmulas estatísticas	121
A.1	Definições iniciais	121
A.2	Erros de pesquisa	125
Apêndice B	Caracterização do software	127
Apêndice C	Análise do cenário atual do mercado de software nacional	131
Referências Bibliográficas		137

Glossário

Glossário

amostra Parte da população selecionada para análise. 33

análise de ponto de função é uma técnica usada para medir o tamanho funcional do software (tamanho na visão do usuário) e cuja utilização vem ganhando cada vez mais adeptos, utiliza o fator de ajuste para ajustar o tamanho do software em função de 14 características gerais do sistema, que são: Comunicação de Dados, Processamento de Dados Distribuído, Desempenho, Utilização do Equipamento (Restrições de Recursos Computacionais), Volume de Transações, Entrada de Dados On-line, Eficiência do Usuário Final (Usabilidade), Atualização On-line, Processamento Complexo, Reusabilidade, Facilidade de Implantação, Facilidade Operacional (Processos Operacionais, tais como Inicialização, Cópia de Segurança, Recuperação etc), Múltiplos Locais e Organizações do Usuário e Facilidade de Mudanças (Manutenibilidade). 3

distribuição de probabilidade Coleção de pares, $[x_i, p(x_i)]$, onde x_i são os possíveis resultados para $i=1,2,\dots$ e $p(x_i)$ as probabilidades do resultado x_i . 33

subgrupo racional Consiste na retirada de pequenas amostras a intervalos de tempo regulares, onde cada amostra ou subgrupo racional é constituído de unidades produzidas quase num mesmo instante. Se houver uma causa atribuível dificilmente ele ocorrerá durante a formação do subgrupo. Isso minimiza a probabilidade de que a amostra seja formada por elementos de diferentes populações. Costa et al. [2008]. 43

Acrônimos

Acrônimos

APF Análise de Ponto de Função. 3

BSC Balanced Scorecard. 6, 66, 69, 72, 74, 76

CEO Chief executive officer. 62

CEP Controle Estatístico de Processo. xiii, 1–5, 9–11, 13, 14, 18, 21, 27–29, 33, 35, 38–40, 44, 48, 55, 56, 62, 66, 76, 88, 113–115, 130

CEP-S Controle Estatístico de Processo de Software. xiii, 1, 3–6, 10, 11, 28, 30, 33, 34, 37, 38, 43, 48, 52, 53, 55–58, 62–66, 68, 69, 74, 76, 81, 83, 84, 87, 88, 108–110, 113–115

CMMI Capability Maturity Model Integration. 9, 14, 17, 18, 26, 62

CMS Comprimento Médio da Sequência. 40, 41, 48

CUSUM Soma Cumulativa. 50

GQ(I)M Goal-Question-Indicator-Measurement. 6, 66, 69, 70, 76

GQM Goal-Question-Metric. 70

LOC Linhas de Código. 3

MMEP Média Móvel Exponencialmente Ponderada. 50, 51, 110, 114

MPS.BR Melhoria de Processos do Software Brasileiro. 1, 18, 62, 110

PDCA Plan Do Check Act. 9, 14, 15, 17, 19, 26, 62

PME pequenas e médias empresas. xiii, 1, 2, 4, 6, 9, 12, 13, 19, 30, 31, 40, 55, 56, 63, 127–130

PSM Practical Software and Systems Measurement: A Foundation for Objective Project Management. 4, 76

TIC Tecnologias da Informação e da Comunicação. 128

UML Unified Modeling Language. 15

Capítulo 1

Introdução

“A viagem de descoberta consiste não em achar novas paisagens, mas em ver com novos olhos.”

Marcel Proust

O setor brasileiro de software é composto por 8,5 mil empresas que desenvolvem, distribuem e comercializam software. Dentre as que desenvolvem, 94% são micro e pequenas empresas, Fuoco [2009], e dessas, a grande maioria é atuante apenas no mercado nacional.

O caráter transversal do software nas cadeias produtivas e sua disseminação nas diversas atividades humanas tem eleito essa indústria como estratégica, uma vez que os resultados de seu desenvolvimento têm efeitos relevantes em várias frentes. É mais relevante do que a participação quantitativa direta da indústria de software no produto agregado de cada país é o papel crucial desempenhado por tais tecnologias para o funcionamento de inúmeras atividades, sejam elas diretamente produtivas ou ligadas ao consumo, Roselino [2006a]. Vários programas e incentivos nacionais vêm sendo realizados para promoção dessa indústria. Os apoios vão desde incentivos fiscais e de financiamentos diretos via BNDES até subsídios para programas de melhorias da qualidade e da produtividade, como o Melhoria de Processos do Software Brasileiro (MPS.BR), voltado para a realidade de PME que desenvolvem software.

Considerando a importância da indústria de software no mercado nacional, o fato de ela ser, na maioria, representada por PME e pela crença de que a promoção dessa indústria se dá, em parte, pela promoção da qualidade e produtividade, propomos um modelo para PME aplicarem CEP no desenvolvimento de software, o CEP-S. O CEP utiliza a estatística para gerenciar os processos de produção e promover continuamente a melhoria de qualidade através da redução da variabilidade dos parâmetros de controle. O seu objetivo principal é permitir diagnosticar se o processo está sob influência de causas atribuíveis que precisam ser investigadas e eliminadas. O modelo CEP-S propõe

um conjunto de características de qualidade a serem monitoradas para determinados processos, os gráficos de controle mais adequados para cada processo e sugestões para a escolha dos parâmetros de controle, fornecendo um arcabouço com escolhas pré-definidas que contribui para tornar a aplicação de CEP em PME facilitada, favorecendo as investidas iniciais nas atividades de controle estatístico.

1.1 Motivação

O raciocínio do controle estatístico, segundo Levine et al. [2000], pode ser definido como os processos voltados para o entendimento, o gerenciamento e a redução de variações nas execuções dos processos de produção. Ele é uma ferramenta estatística muito popular em manufaturas mas não na indústria de software, Florac & Carleton [1999]. Em parte, essa falta de popularidade da aplicação de CEP em processos de desenvolvimento de software pode ser resultante de alguns desafios, distintos daqueles da aplicação em manufatura. Seguem alguns fatores responsáveis por essa distinção:

- A quantidade de dados (medidas) gerada na produção (projetos de desenvolvimento) de software e sistemas é pequena, o que limita ou até inviabiliza as pesquisas como amostragens, medições, projetos de experimentos (DOE, do inglês *Design Of Experiments*) e análises estatísticas, Serrano [2004]. Essa quantidade pode apresentar-se ainda mais reduzida para empresas de menor porte, onde o número de projetos executados em cada período de tempo é pequeno;
- As atividades são intensivamente dependentes da interferência humana, de fatores como a criatividade, por exemplo, e são mais centradas em processos do que em produtos, o que dificulta a aplicação direta de CEP, Komuro [2006]. Empresas que têm seus processos informais têm esse fator agravado, pois são fortemente dependentes de seus profissionais;
- Kan, em Kan [2004], aponta que a aplicação simples de CEP nos processos de desenvolvimento de software é difícil porque, além de envolver um alto grau de criatividade e atividades mentais, tais processos são bastante complexos;
- Em software, cada unidade de produto desenvolvido é um novo produto, distinto do anterior. Isso dificulta a definição das características de interesse normalizadas, das características de qualidade a serem controladas estatisticamente;
- Em manufatura, as medidas para as características de interesse são bem definidas. Como exemplos típicos de tais características podemos citar volume, cor,

densidade, peso e resistência. Em contraposição à manufatura, as medidas das características de interesse em software têm alto grau de subjetividade. Como exemplos dessas medidas citamos tamanho (Análise de Ponto de Função (APF) e Linhas de Código (LOC))¹ e número de defeitos ou não-conformidades ².

Além dos desafios citados, relativos à indústria de software, adicionamos um desafio específico de organizações de pequeno e médio porte. Essas, que representam a grande maioria da indústria de software nacional, por definição, têm um quadro limitado de profissionais, sendo tal prática uma forte restrição à presença de um profissional dedicado e capacitado em definir um modelo de CEP para essas organizações. A demanda por profissionais com habilidades técnicas diretamente relacionadas ao desenvolvimento de software, ou seja, à área fim, tende a absorver todo o potencial de contratação de profissionais disponível nessas organizações.

A motivação para a construção do modelo CEP-S está no fato de que CEP é uma poderosa ferramenta, que apoia o gerenciamento quantitativo e a melhoria contínua dos processos. Porém, para que seja uma proposta aplicável a empresas que prestam serviços de desenvolvimento de software é necessário que haja mecanismos que enderecem os desafios apresentados. Espera-se que o modelo defina tais mecanismos para permitir o uso de CEP e para:

- Apoiar a gestão da qualidade e a promoção da maturidade dos processos;
- Fornecer informações sobre a existência de causas especiais de variação e a previsibilidade dos processos. Um estudo da Associação Brasileira das Empresas de Software, ABES [2009b], mostrou que 29% das empresas de software determinaram a otimização e a previsibilidade como objetivos estratégicos em 2009;
- Apoiar a quantificação dos ganhos providos pelas ações de melhoria;
- Apoiar a sintetização de informações para a tomada de decisão;
- Apoiar a formulação de estimativas confiáveis a partir das informações da capacidade dos processos;

¹As características gerais de sistema da análise de ponto de função são baseadas em padrões e recursos computacionais antigos, que pouco refletem a realidade, tornando seu uso pouco efetivo e deixando o tamanho funcional subjetivo em relação à lacuna das características gerais. O número de linhas de código, além de ser usado somente depois do sistema codificado, é dependente da linguagem de implementação e não há um padrão que defina objetivamente o que é uma linha de código.

²O número de defeitos ou não-conformidades não reflete o impacto do prazo de correção ou dos custos incorrido para o cliente e o fornecedor, ou seja, o impacto dos defeitos não é proporcional ao número de defeitos

Uma abordagem, proposta por Deming, Florac & Carleton [1999], afirma que, para a organização ser competitiva, melhorar a qualidade e aumentar a produtividade algumas ações precisam ser realizadas. Tais ações podem ser realizadas a partir da aplicação de CEP e consistem em: focar nos processos que geram os produtos e serviços; certificar-se de que os processos têm os suportes adequados; reconhecer que variações estão presentes em todos os processos e que identificar as causas de sua existência é uma oportunidade para aplicação de ações de melhorias; usar as variações dos processos para apoiar as tomadas de decisão e gerenciar o comportamento inadequado dos processos.

1.2 Objetivos do trabalho

A proposta principal deste trabalho consiste na construção de um modelo que defina os passos para a aplicação de CEP em PME que prestam serviços de desenvolvimento de software. Esse modelo é composto por um conjunto de atividades que foram agrupadas em duas fases: planejamento e execução. A fase do planejamento corresponde às atividades descritas a seguir, nos itens A, B, C, D e E. A fase de execução corresponde à atividade descrita no item F.

- A. *Seleção dos processos alvo do controle estatístico:*** a aplicação de CEP é dispendiosa, deve se restringir a um número pequeno de processos, a apenas os considerados estratégicos e que influenciam fortemente o sucesso do negócio. A presente atividade seleciona tais processos, define uma visão de como eles são organizados para o planejamento das medições e apresenta os conceitos envolvidos e as personalizações necessárias para adaptar o modelo CEP-S à organização;
- B. *Identificação das características de interesse:*** essa atividade identifica um conjunto de características de interesse, cuja mensuração seja tangível e estrategicamente significativa. Em seguida, apresenta um mecanismo para apoiar a organização na seleção de um subconjunto de características, dentre as propostas, aquelas que estiverem alinhadas aos objetivos estratégicos;
- C. *Planejamento e execução das medições:*** a organização precisa ser capaz de planejar e executar eficientemente um plano de medição, para que os dados disponibilizados para análise sejam confiáveis. Para o planejamento e a execução de políticas de medição, recomendamos o método Practical Software and Systems Measurement: A Foundation for Objective Project Management (PSM), PSM [2003], cujos passos são apresentados ao longo dessa atividade;

D. Construção dos gráficos de controle: os gráficos planejados para o controle estatístico devem ser eficientes na detecção rápida e confiável de condições fora-de-controle. Essa construção é apresentada a partir dos seguintes passos: (i) a escolha dos gráficos; (ii) a definição dos parâmetros, que são: os limites de controle, o tamanho da amostra e a frequência da amostragem; (iii) a definição dos testes de estabilidade e a identificação das causas atribuíveis;

E. Estabilização dos processos: essa atividade é responsável pela promoção das melhorias mais significativas de processos. Ela é complexa e desafiadora para a organização, podendo colocar em risco o sucesso do controle estatístico se as melhorias não forem efetivas e, por consequência, não levarem o processo a uma situação de estabilidade. O processo estável permite o cálculo dos parâmetros de controle que conduzirão o controle estatístico. A organização nem sempre conseguirá eliminar as causas atribuíveis e levar o processo a uma situação de estabilidade, inviabilizando assim a aplicação do modelo CEP-S.

F. Controle estatístico dos processos: essa atividade envolve os passos para execução do CEP, que são: a coleta e plotagem dos dados; os testes de controle; a investigação das causas atribuíveis; a aplicação de melhorias; e a eliminação dos dados influenciados por causas atribuíveis.

1.3 Limites do trabalho

Estabelecer os limites do trabalho é tão importante quanto definir seus objetivos, pois delimita mais rigorosamente o seu escopo. Para o presente trabalho os limites são:

- O modelo CEP-S propõe uma estrutura para o controle estatístico dos processos de Requisitos e de Implementação de software, definindo as considerações para a sua aplicação, a partir de uma visão desses processos. O modelo é extensível, podendo ser aplicado a outros processos de software, porém ele se limita a definir uma visão e as considerações apenas para os processos de Requisitos e de Implementação;
- O modelo CEP-S não define os processos de medição da organização, mas apresenta o método PSM como recomendação. É necessário que a organização tenha seus processos de medição definidos e institucionalizados, pois tais processos são os responsáveis pela produção dos insumos para a aplicação do modelo CEP-S;

- O modelo CEP-S não esgota as necessidades de medições da organização. Ele trata exclusivamente das medições que são usadas nos controles estatísticos propostos. Logo, a organização deve tratar de outras medições, indo além das estabelecidas no presente trabalho. O vasto conjunto de medições que uma organização necessita é diferente do conjunto que ela deve controlar estatisticamente, visto o alto custo para realizar os controles estatísticos. Esses controles estatísticos devem focar apenas nos processos que estão relacionados e colaboram diretamente com os objetivos estratégicos.
- O modelo é voltado para PME que prestam serviços de desenvolvimento de software sob encomenda e vertical. A aplicação do modelo em outros cenários não será abordada neste trabalho.
- Espera-se que o modelo CEP-S seja usado em conjunto com outras ferramentas da organização, para o gerenciamento da estratégia, do portfólio, dos projetos ou da qualidade, apropriado para a análise estatística. A Seção 4.2.2.4 apresenta um exemplo de como o CEP-S pode ser integrado ao Balanced Scorecard (BSC) e ao Goal-Question-Indicator-Measurement (GQ(I)M) para a seleção das características de interesse. Porém, desvia-se do escopo do presente trabalho a oferta de mecanismos para integração do modelo com a vasta quantidade de ferramentas de gerenciamento que podem estar em uso em uma organização. O estudo desses mecanismos poderia, inteiramente só, compor um trabalho completo de pesquisa, devido à sua dimensão.

1.4 Método de pesquisa

“O método científico é um conjunto de regras básicas para desenvolver uma experiência a fim de produzir um novo conhecimento, bem como corrigir e integrar conhecimentos pré-existentes. Na maioria das disciplinas científicas consiste em juntar evidências observáveis, empíricas (ou seja, baseadas apenas na experiência) e mensuráveis e as analisar com o uso da lógica.”

Wikipédia(2009)

Esta Seção apresenta o tipo de pesquisa e os procedimentos planejados e realizados para o desenvolvimento do presente trabalho. Para definir o tipo da pesquisa, apresentamos duas classificações, dadas por Jung, Jung [2004], e Wohlin, Wohlin et al. [2000]. Jung propõe uma classificação que abrange a natureza, os objetivos, os procedimentos e o local de realização da pesquisa, como exposto na figura 1.1. Segundo ele, quanto à natureza, uma pesquisa pode ser básica/fundamental ou aplicada/tecnológica; quanto aos objetivos, ela pode ser exploratória, descritiva ou explicativa; quanto aos

procedimentos, pode ser experimental, operacional ou um estudo de caso; e, finalmente, quanto ao local pode ser de laboratório ou de campo. Wohlin propõe uma classificação que abrange quatro métodos relevantes de pesquisa e enfoca no detalhamento do método empírico, por esse ser bastante apropriado para pesquisas em Engenharia de Software. Os quatro métodos são:



Figura 1.1: Tipos de pesquisa segundo Jung [2004]

Método científico: a realidade é observada e um modelo é construído para representá-la;

Método de engenharia: alguma evolução das soluções atuais é proposta após essas terem sido estudadas;

Método empírico: um modelo é proposto e evoluído através de estudos empíricos.

Método analítico: uma teoria formal é proposta e então comparada com as observações empíricas.

Segundo Wohlin, a Engenharia de Software é governada mais pelo comportamento humano, através das pessoas envolvidas no desenvolvimento de software, que por regras formais ou leis. Sendo assim, o modelo empírico é um modelo adequado para estudos dessa disciplina. Wohlin divide os estudos empíricos em dois paradigmas, sendo eles a pesquisa qualitativa e a pesquisa quantitativa, e em três estratégias, a vistoria, o estudo de caso e o experimento. Os paradigmas e as estratégias são detalhados a seguir:

Os dois **paradigmas empíricos** propostos são:

Pesquisa qualitativa: interpreta os fenômenos sobre a ótica das pessoas que os avaliam;

Pesquisa quantitativa: compara dois ou mais grupos, geralmente a partir de experimentos controlados ou coleta de dados de estudos de caso e promove análise estatística dos resultados.

Essas duas abordagens são complementares, podem ser usadas para investigar um mesmo tópico, onde cada uma endereça questões diferentes.

As três principais **estratégias empíricas** são:

Vistoria: é uma investigação desenvolvida em retrospectiva, via questionários ou entrevistas. É realizada através de uma amostragem representativa da população a ser estudada. Os resultados obtidos são analisados e conclusões descritivas ou exploratórias são estabelecidas. Esses resultados podem ser analisados a partir do paradigma qualitativo ou quantitativo ou a partir de ambos os paradigmas.

Estudo de caso: é um monitoramento de projetos e atividades, é uma observação da realidade, sem intervenção sistemática do pesquisador, Wazlawick [2008], onde os dados são coletados com um propósito específico e os resultados documentados. O controle sobre o ambiente é menor que no uso de experimentos. Os resultados de um estudo de caso podem ser analisados a partir do paradigma qualitativo ou quantitativo ou a partir de ambos os paradigmas. Para que um estudo de caso seja válido é necessário que haja bases sólidas de validação e minimização de má interpretação dos resultados. Wohlin sumariza uma proposta de três meios para validar um estudo de caso: (i) comparar os resultados obtidos contrapondo-os aos resultados de uma linha de base anterior; (ii) comparar os resultados de duas execuções paralelas, cujas características sejam semelhantes; (iii) aplicar o método para algumas execuções individuais e randomicamente não aplicar para outras.

Experimento: são estudos em ambientes controlados sistematicamente pelo pesquisador, realizados normalmente em laboratórios, cujos dados coletados são analisados sempre quantitativamente.

Quanto à natureza, segundo a visão de Jung, o presente trabalho foi planejado para ser uma pesquisa aplicada/tecnológica, ou seja, a partir de conhecimentos básicos gerar um novo produto e modificar práticas existentes. Quanto aos objetivos, foi planejado para ser uma pesquisa exploratória, que visa os estudos exploratórios iniciais e a descoberta de novas práticas. Quanto aos procedimentos, é um estudo de caso que investiga um fenômeno dentro de um contexto real, cujos passos consistiram de:

- (i) projetar e construir um modelo com componentes pré-definidos de CEP, que favoreça o uso em PME prestadora de serviços de desenvolvimento de software e que aborde características de interesse significativas;
- (ii) planejar e executar os estudos de caso em duas organizações, de pequeno e médio porte, as quais se dispuseram de antemão a participar dessa etapa;
- (iii) retroalimentar o modelo, com melhorias identificadas durante a execução dos estudos de caso;
- (iv) avaliar o modelo final e elaborar a conclusão do trabalho.

Os procedimentos descritos foram estabelecidos após dois momentos distintos de revisões bibliográficas e após os objetivos do presente trabalho terem sido definidos em detalhes e avaliados qualitativamente como relevantes.

A primeira etapa de revisão bibliográfica foi realizada com foco principal no programa de melhorias Six Sigma e, secundariamente, no uso desse programa, assim como de outros (Plan Do Check Act (PDCA), IDEAL e Capability Maturity Model Integration (CMMI)), por PME prestadoras de serviços de desenvolvimento de software. A proposta consistia na construção de um *Modelo para Estabilização de Processos de Desenvolvimento Software para Aplicação Prévia a Projetos de Melhorias Estatisticamente Controladas*. Durante as revisões foi percebida uma atenção especial à importância da escolha correta das características de interesse, nos vários trabalhos revisados, nos quais contraditoriamente, as características escolhidas, de acordo com a avaliação da autora do presente trabalho, aparentavam-se pouco significativas, pois baseavam-se no número de defeitos. A necessidade de características de interesse significativas levou à elaboração de uma proposta mais abrangente e a uma segunda etapa de revisão bibliográfica, com foco principal em CEP de desenvolvimento de software. A nova revisão forneceu

os subsídios necessários para a consolidação da nova proposta, a qual culminou no presente modelo.

O modelo foi definido a partir da evolução de modelos de CEP genéricos existentes, na direção de especializá-los para os processos de desenvolvimento de software. Estavam previstos o projeto e desenvolvimento de único modelo, porém, dois foram elaborados devido às falhas de projeto no primeiro. Houve uma primeira definição, o respectivo modelo definido e uma prova de conceito realizada, porém tal definição resultou em um modelo complexo, pouco inteligível e com aplicabilidade duvidosa. Foi então necessário reprojeta-lo, tratando os pontos falhos iniciais, assim como executar uma nova prova de conceito. O novo modelo foi avaliado como satisfatório após ter sido submetido a uma prova de conceito com dados reais e a uma avaliação qualitativa de seu enunciado.

O passo seguinte, planejar e executar os estudos de caso, foi realizado e, em paralelo, deu-se o início da redação do presente documento. O planejamento consistiu nas seguintes atividades e definições: (i) aplicar o modelo, inicialmente, em apenas uma das organizações; (ii) avaliar ferramentas disponíveis de apoio ao CEP, selecionar e adquirir uma para ser utilizada nos estudos de caso; (iii) definir um responsável na organização para apoiar o planejamento do CEP e as coletas e validações dos dados; (iv) planejar a aplicação do CEP, ou seja, executar as atividades do Modelo CEP-S, relativas ao planejamento do CEP, que são: seleção dos processos, identificação das características de interesse, coleta e validação dos dados, construção dos gráficos de controle e estabilização dos processos; (v) analisar os resultados.

A execução dos estudos de caso transcorreu como planejada. A organização escolhida para aplicação inicial de CEP foi o Laboratório Synergia, devido aos dados disponíveis. O Synergia é o Laboratório de Engenharia de Software e Sistemas do Departamento de Ciência da Computação da UFMG que oferece serviços de desenvolvimento de sistemas, implantação de processos, consultoria em TI e treinamentos diversos. Em seguida, várias ferramentas disponíveis no mercado, algumas próprias para CEP, outras com foco em estatística geral, foram avaliadas (EView, SAS, Statistica, Gretl, R e Minitab). Após a avaliação optamos pelo uso do Minitab por ele oferecer as funcionalidades requeridas pelo modelo CEP-S, por ter interface gráfica de fácil aprendizado, por ser bastante usado em universidades e empresas e por ter diferentes modalidades de licença, o que possibilitou a aquisição de uma adequada para o desenvolvimento deste trabalho. Em seguida, as atividades planejadas para o CEP foram realizadas, sendo algumas delas junto ao responsável na organização pelo apoio ao estudo de caso, como: a seleção dos processos, a coleta e avaliação dos dados e parte da análise dos resultados. Essa análise foi executada em duas etapas: a primeira

gerou um resultado intermediário, com erros nas interpretações de agrupamentos de alguns dados. Uma nova análise foi necessária, cujos resultados gerados se mostraram consistentes e satisfatórios, os quais estão registrados no presente trabalho. Todas as características de interesse possíveis de serem controladas, de acordo com os dados disponíveis, foram utilizadas no estudo de caso e a estabilização dos processos foi executada através da simulação de exclusão dos pontos fora-de-controle e não de fato, no ambiente de produção do Laboratório Synergia.

A execução do estudo de caso resultou tanto na evolução e validação do modelo quanto na melhoria da organização da redação do presente trabalho. Por fim, com os objetivos do modelo tendo sido alcançados, a conclusão do trabalho foi elaborada.

1.5 Organização deste documento

A primeira atividade que culminou na construção do modelo CEP-S consistiu em uma investigação sobre o estado da arte da aplicação de CEP em desenvolvimento de software. Os resultados dessa investigação, assim como os principais conceitos envolvidos, encontram-se descritos no **Capítulo 2**. Em seguida, foi realizado um estudo sobre os conceitos relacionados a CEP, como, aspectos teóricos, ferramentas e diretrizes. O resultado desse estudo está descrito no **Capítulo 3** e foi utilizado como fundamentação para todo restante do trabalho.

Uma vez realizados os estudos para fundamentação teórica, iniciou-se a elaboração do modelo CEP-S propriamente dito. A descrição detalhada desse modelo encontra-se no **Capítulo 4**. Esse Capítulo apresenta os processos selecionados para o CEP e uma visão de como tais processos são organizados para a execução das medições, juntamente com os conceitos envolvidos e as personalizações necessárias para a adaptação do modelo CEP-S aos processos das organizações. Em seguida, as características de interesse são identificadas, juntamente com as convenções e os procedimentos que descrevem a forma pela qual tais atributos devem ser mensurados. Os passos para o planejamento e execução das medições são descritos, seguidos pela definição de um mecanismo para a organização escolher os gráficos de controle de acordo com os dados que foram coletados, definir os parâmetros de controle e os testes de estabilidade. Por fim, as atividades para estabilização dos processos são apresentadas.

O **Capítulo 5** apresenta o estudo de caso, onde o modelo CEP-S é aplicado aos processos de uma organização real, o Laboratório Synergia, de porte médio, com a intenção de validar as práticas propostas, via a comparação dos processos antes e depois do estudo de caso. Uma análise da aplicabilidade do modelo CEP-S é apresentada nesse

Capítulo. Essa análise examina a proposta do modelo *versus* os resultados alcançados no estudo de caso, os pontos fortes e fracos identificados durante a aplicação desse estudo de caso, as estimativas de custo e prazo para executar uma instância do CEP-S e os possíveis riscos envolvidos.

Finalmente, o **Capítulo 6** apresenta as contribuições e as conclusões observadas, assim como propostas de trabalhos futuros.

O documento vem acompanhado ainda de três apêndices, com informações complementares. O **Apêndice A** apresenta os conceitos e as fórmulas estatísticas, que complementam os conceitos apresentados, principalmente, no Capítulo 3 e usados para construção e análise dos gráficos de controle, no Capítulo 4. Os **Apêndices B e C** apresentam uma caracterização do software e uma análise do cenário atual do mercado de software nacional, respectivamente, com o objetivo de contextualizar as diferenças entre o cenário de PME que prestam serviços de desenvolvimento de software (foco do modelo) dos demais cenários.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

Este Capítulo apresenta as revisões bibliográficas que apoiaram a formulação do presente trabalho. Como introdução, citamos um artigo que discute o estado da arte e futuras pesquisas em CEP e em melhoria de processos de desenvolvimento de software (*SPI - Software Process Improvement*). Em seguida, a Seção 2.1 apresenta, como referência, os principais conceitos da área de pesquisa. A Seção 2.2 relata as revisões realizadas, as quais ocorreram em dois momentos distintos. No primeiro, o foco dos estudos foram as atividades de estabilização de processos para aplicação prévia de Six Sigma para melhoria de processos de software. No segundo momento, com a evolução da proposta, o foco dos estudos foi a aplicação de CEP em desenvolvimento de software, o que conduziu ao presente trabalho. Por fim, a Seção 2.3, apresenta a revisão sobre as características de PME desenvolvedoras de software sob encomenda.

Serrano, em Serrano [2004], relata que a melhoria de processos de software é uma área relativamente nova e que muitas das ideias foram trazidas e adaptadas de teorias e metodologias da aplicação da qualidade em sistemas de manufatura, que foram desenvolvidas nas últimas décadas por Deming [1986], Crosby [1979], Shewhart [1931] e Juran [1998]. Cita ainda que cada modelo e metodologia desenvolvidos e em pesquisas têm sido apoiados por diferentes grupos de pessoas, o que os tornam difíceis de serem estudados, adaptados, aplicados, entendidos, ensinados e desenvolvidos. Complementa que mudanças só serão percebidas eficiente e efetivamente se esses conceitos e princípios (qualidade, CEP, SPI) forem introduzidos no corpo de conhecimento dos programas de Engenharia de Software e ciência da computação das universidades.

2.1 Principais conceitos

Esta Seção apresenta os principais conceitos da área de pesquisa, desde os conceitos fundamentais, como qualidade, estatística e CEP, até os modelos e ferramentas, como SixSigma, PDCA, IDEAL e o CMMI, que foram referenciados no presente trabalho.

Qualidade: há várias definições de qualidade, algumas mais genéricas, como: é “o grau negativo ou positivo de excelência”¹ ou “o grau com que um conjunto de características inerentes atende às necessidades”². Outras específicas, como: é “a capacidade de um produto de software satisfazer as necessidades explícitas e implícitas quando utilizados sob condições especificadas”³. Em ambos os níveis de definição, a qualidade é tratada como algo relacionado às características desejáveis em um produto ou serviço.

Essas definições também evoluíram ao longo do tempo. Durante a Revolução Industrial, século XVIII, com as mudanças tecnológicas e nos processos produtivos, o foco da qualidade e da produtividade era o trabalhador, ou seja, poderia ser usado o seguinte lema: “se você quer que o barco navegue mais rápido, chicoteie mais duramente os remadores”. No século XX, com o Gerenciamento Científico, o foco passou a ser nos processos, em “COMO” fazer e não mais no “O QUE” fazer, ou seja, “se você quer que o barco navegue mais rápido examine e analise os elementos que fazem o barco navegar e determine o melhor modo de acelerá-lo”. Podemos citar a influência de Frederik Winslow Taylor, considerado o “pai da administração científica”, que introduziu os princípios do planejamento, controle e execução e tinha como objetivo acelerar o processo produtivo com qualidade. Outras influências complementaram a evolução dos conceitos, como a abordagem de Shewhart, onde qualidade é “inversamente proporcional à variabilidade”, de William Edwards Deming, onde inspeção torna-se o principal método para atingir a “conformidade com os requisitos” e de Joseph Juran, que expandiu as estratégias de qualidade para todas as funções de uma organização e suas diretrizes eram para atender as necessidades dos usuários, através da “adequação para uso”.

Em 1924 Shewart introduz o conceito de gráfico de controle, considerado o início do controle estatístico da qualidade, e marca o início dos movimentos de melhorias substanciais da qualidade, custo e produtividade nas organizações. Dedicamos

¹de acordo com o dicionário Houaiss;

²de acordo com PMBOK e a ISO9000:20000;

³de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 25000 - Engenharia de Software - Requisitos e avaliação da qualidade de produtos de software - Guia do SQuaRE.

todo o Capítulo 3 para apresentar os conceitos relativos à estatística e ao **Controle Estatístico de Processo (CEP)**.

Processo: *“Um processo pode ser definido como uma organização lógica de pessoas, materiais, energia, equipamento e procedimentos em atividades designadas para produzir um específico resultado”*, Gabriel A. Pall 1987.

Atividade: *“Um componente de trabalho realizado durante o andamento de um projeto”*, PMBOK 2004.

RUP - Rational Unified Process: é um processo proprietário de Engenharia de Software criado pela Rational Software Corporation, hoje pertence à IBM. Fornece técnicas e boas práticas de processos para o desenvolvimento de software, amplamente conhecido na indústria de software. O RUP usa a abordagem da orientação a objetos em sua concepção e é projetado e documentado utilizando a notação Unified Modeling Language (UML) para ilustrar os processos em ação. É considerado um processo pesado por sua proposta consistir em muitos artefatos e atividades, porém, é amplamente customizável para projetos de qualquer escala. Foi utilizado no presente trabalho para estabelecer a visão dos processos de desenvolvimento de software.

A figura 2.1 ilustra a proposta do RUP. O gráfico é conhecido como Gráfico das Baleias, pelo fato de seu formato assemelhar-se ao de baleias. Uma dimensão é relacionada ao tempo, onde o produto é desenvolvido em fases. Fase é um intervalo de tempo entre dois marcos definidos. São quatro as fases apresentadas: Concepção, Elaboração, Construção e Transição. Cada uma possui divisões menores, as iterações, que permitem pontos de controle (marcos) intermediários. A segunda dimensão apresenta as nove disciplinas, as quais são: Modelagem de Negócios, Requisitos, Análise e Projeto, Implementação, Teste, Implantação, Configuração e Gerenciamento de Mudança, Gerenciamento de Projeto e Ambiente. Uma disciplina, segundo o RUP é uma coleção de atividades relacionadas a uma “área de interesse” principal.

PDCA: abordagem bastante conhecida para melhoria contínua da qualidade, descrita por Walter Shewhart no livro *“Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control”*, publicado em 1939, também conhecida como ciclo de Deming, Brocka & Brocka [1995], devido a Deming ter sido um forte difusor dessa prática. As etapas do PDCA constituem em planejamento, execução, verificação e ação:

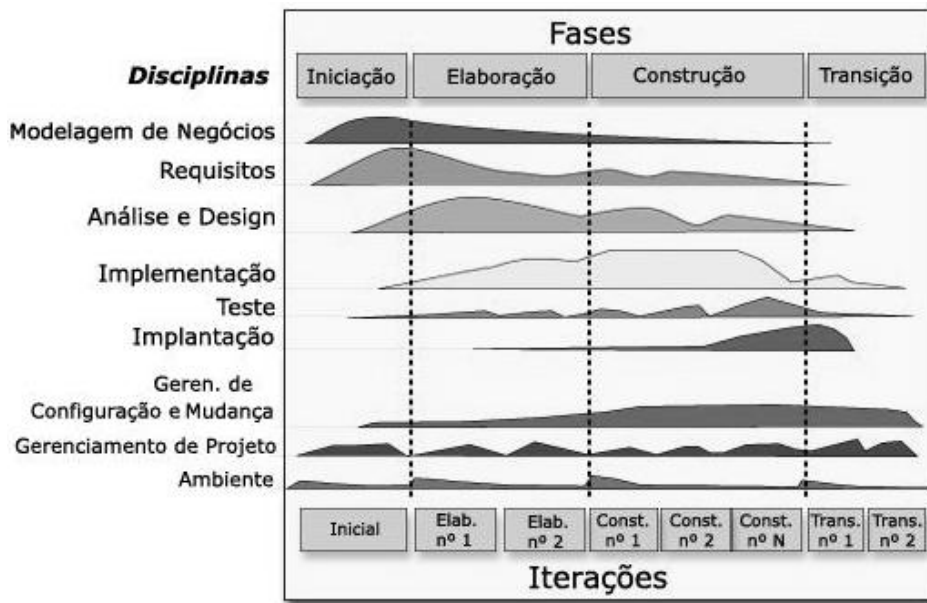


Figura 2.1: Gráfico das Baleias - RUP Rational Unified Process

Planejar (plan): escolha um processo que sugira um bom retorno. O Princípio de Pareto (80/20) pode ser usado como ferramenta de apoio à escolha. Planeje uma mudança que terá benefícios efetivos, estabeleça os objetivos sobre os itens de controle e o caminho para atingi-los. Por fim, defina os métodos a serem usados para executar o planejamento.

Executar (do): aplique as mudanças planejadas. Essa é uma etapa importante, ao realizá-la deve-se ter cuidado para que a confiança no modelo não seja perdida. Atue com treinamento e inicie os novos processos. Colete e analise os dados da execução.

Verificar (check): observe e analise objetivamente os efeitos das mudanças, ou seja, verifique: se o trabalho está sendo realizado de acordo com o planejado (padrão) e se os itens de controle correspondem aos objetivos.

Agir (act): se os resultados foram os esperados, institucionalize a mudança. Caso contrário, reinicie o planejamento, revisando outro processo. Se o resultado estiver fora do padrão, investigue as causas e tome ações preventivas e corretivas.

A figura 2.2 ilustra um exemplo do ciclo do PDCA

IDEAL: é um modelo para melhoria de processo que pode ser usado como roteiro para iniciar, planejar e executar ações de melhorias em processo de desenvolvimento de software. O guia foi publicado em 1996 pela SEI, *Software Engineering*



Figura 2.2: Ilustração de um Ciclo do PDCA

Institute, da Universidade Carnegie Mellon, Pittsburg, Pennsylvania, SEI [1996]. Ele consiste em cinco fases:

Iniciação (initiating): definição das bases para o esforço bem sucedido das melhorias;

Diagnóstico (diagnosing): determinação de onde o processo está relativo a onde é desejado que ele esteja;

Estabelecimento (establishing): planejamento dos detalhes de como alcançar o desejado;

Ação (acting): realização do trabalho de acordo com o planejado;

Aprendizado (learning): aprendizado com as experiências de melhorias para adaptar futuramente novas tecnologias.

A figura 2.3, extraída do referido guia, ilustra o Modelo IDEAL

Podemos perceber que o Modelo IDEAL é uma adaptação do PDCA para o desenvolvimento de software. Ele segue o mesmo princípio de ciclos de melhorias e retroalimentação das ações, onde lições aprendidas de uma execução constituem uma entrada importante para a realização do próximo ciclo de execução.

CMMI: é um modelo de referência que contém práticas necessárias à maturidade dos processos de desenvolvimento de software. Entende-se por capacidade a habilidade do processo alcançar o resultado desejado. Assim com o IDEAL, o CMMI também foi desenvolvido pela SEI, Chrissis et al. [2005]. A versão atual do CMMI (versão 1.2) apresenta três modelos:

- CMMI for Development (CMMI-DEV) para os processos de desenvolvimento de produtos e serviços.
- CMMI for Acquisition (CMMI-ACQ) para os processos de aquisição e terceirização de bens e serviços.

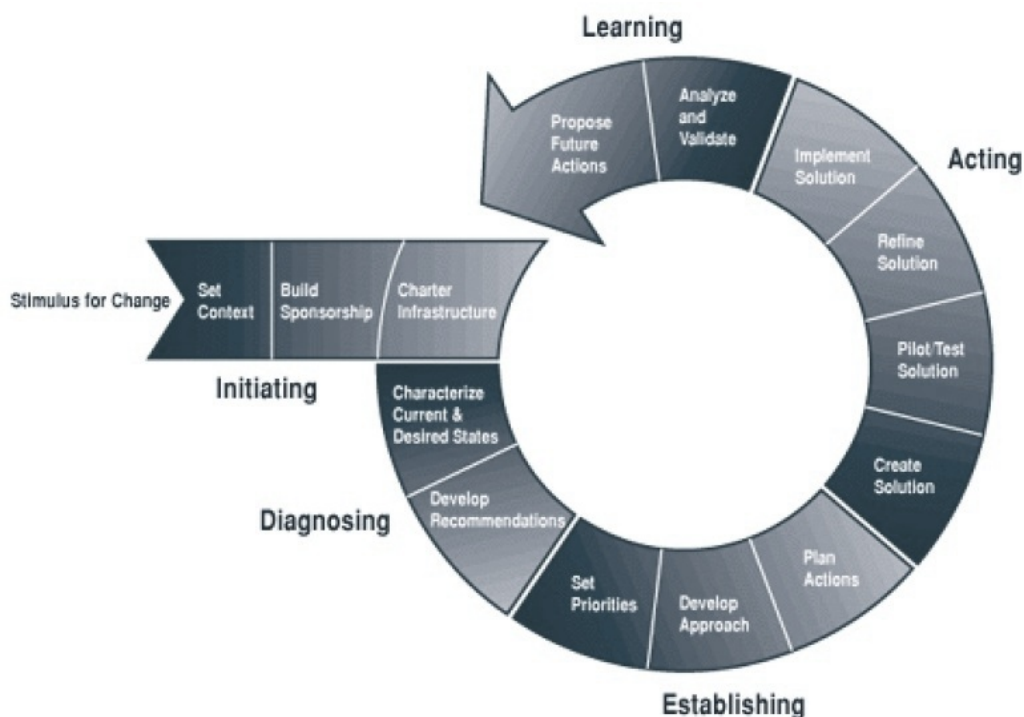


Figura 2.3: Ilustração do Modelo IDEAL

- CMMI for Services (CMMI-SVC) para os processos de empresas prestadoras de serviços.

O CMMI-DEV propõe cinco níveis que são: (nível 1) inicial; (nível 2) gerenciado; (nível 3) definido; (nível 4) quantitativamente gerenciado; (nível 5) em otimização.

Esse é um modelo que propõe um conjunto de requisitos que precisam ser atendidos para uma organização amadurecer seus processos, mas não apresenta “como fazer para atender tais requisitos”. Várias ferramentas são usadas em complemento a esse modelo, que apoiam o “*como fazer*”, por exemplo: o guia PMBOK, o RUP, o SixSigma, entre outras. Para os níveis mais avançados, onde a visão quantitativa é esperada, o CEP é uma poderosa ferramenta de apoio.

MPS.BR: é um modelo de qualidade para processo de desenvolvimento de software (Modelo MPS) voltado para a realidade do mercado de pequenas e médias empresas de software do Brasil. Ele é baseado nas normas ISO/IEC 12207 e ISO/IEC 15504 e na realidade do mercado brasileiro, bem como é compatível com o CMMI. Atualmente, pode também ser entendido como um programa do governo para promoção da melhoria da qualidade dos processos de desenvolvimento de software,

onde o governo subsidia os custos das avaliações e das consultorias para as ações de melhorias em PME. Os níveis definidos no modelo são sete: A - Em Otimização; B - Gerenciado quantitativamente; C - Definido; D - Largamente Definido; E - Parcialmente Definido; F - Gerenciado; G - Parcialmente Gerenciado.

Six Sigma (6σ): o termo “Six Sigma” pode ser entendido como um programa, uma metodologia ou uma mensuração. Como programa ele consiste em um direcionamento organizacional estratégico de mudanças para aumentar a satisfação do cliente, reduzir erros, aumentar a eficiência da produção e conseqüentemente melhorar os lucros. Como metodologia, é um conjunto de práticas aplicadas sistematicamente para eliminar defeitos. Como mensuração, o símbolo σ (sigma) é usado em estatística para representar o desvio padrão, onde 6σ é 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) ou 99,9997% das amostras livres de defeitos.

A metodologia e o programa Six Sigma foram inicialmente desenvolvidos pela Motorola, em meados dos anos 80 e, de acordo com Rose [2005], em 10 anos de programa economizou \$414 bilhões, aumentou 5 vezes suas vendas e 20% seus lucros. Eles contemplam características de outros modelos de qualidade, tais como: controle da qualidade e o uso sistemático de ferramentas estatísticas, a análise e solução de problemas, os ciclos de melhoria como o PDCA, o alinhamento da qualidade com as estratégias da organização, e a ênfase na relação custo-benefício dos projetos de melhorias. Tem duas metodologias chave - DMAIC e DFSS.

DMAIC é usado para melhorar um processo de negócio existente. Consiste nos estágios seguintes:

Definir (define): formalizar os objetivos de melhoria do processo que sejam consistentes com as demandas do cliente e a estratégia da empresa;

Medir (measure): definir as medições do processo atual para comparação futura, medir e coletar os dados necessários;

Analisar (analyze): verificar o relacionamento e causalidade dos fatores;

Melhorar (improve): melhorar e otimizar o processo;

Controlar (control): controlar a aplicação do processo piloto, realizar a transição para a produção e medir continuamente o processo para garantir que as variações sejam corrigidas antes de se transformarem em defeitos.

A figura 2.4 ilustra o Ciclo DMAIC.

DFSS é o acrônimo para Design for Six Sigma (projeto para Six Sigma). É usado para projetar ou reprojetar um novo produto ou serviço de forma a se obter um

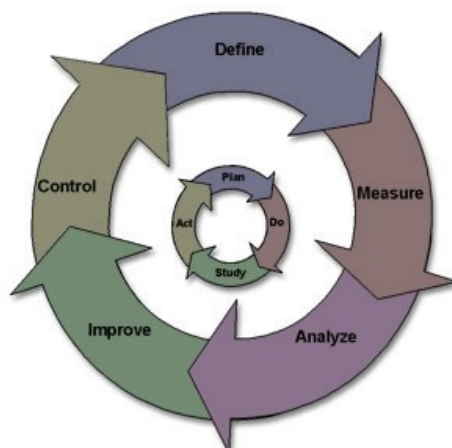


Figura 2.4: Ilustração do Ciclo DMAIC

desempenho previsível, maduro e livre de defeitos. As fases ou passos, ao contrário de DEMAIC, não são universais. Como exemplos de DFSS conhecidos citamos o **DMADV** (definir, medir, analisar, projetar e verificar) e o *IDOV* (identificar, projetar, otimizar e validar).

SIPOC: é o acrônimo para fornecedores (suppliers), entradas (inputs), processos (processes), saídas (outputs) e consumidor (customers). É um diagrama para prover um nível abstrato de entendimento dos problemas e processos da organização, Tinnirello [2002], e apoiar a identificação dos elementos relevantes de um projeto de melhoria para a aplicação de Six Sigma, Kloppenborg & Petrick [2002]. É particularmente útil quando os elementos entrada, saída, fornecedores ou processos não forem conhecidos. A figura 2.5 ilustra um exemplo de Diagrama SIPOC.

Lean: no primeiro momento, na busca por maior competitividade, a organização enfoca em entregas no prazo, estimativas de custos confiáveis e produtos aderentes à necessidade dos clientes. No segundo momento, a primazia no mercado pode ser estabelecida pela capacidade de realizar entregas mais rápidas, Araújo & Meira [2004], o que pode ser resultado de processos mais “enxutos”, precisos e modelos de gestão mais avançada. Lean é o conceito que visa a promoção de melhoria simultânea de custo, qualidade, velocidade e agilidade nos processos. É usado em conjunto com Six Sigma e com os seguintes princípios: entenda como o valor é percebido pelo cliente; elimine desperdícios em toda a cadeia de valor; estabeleça um fluxo contínuo do início ao fim; faça conforme demanda do cliente, não gere estoque e busque a perfeição através de melhoria contínua.

A natureza de serviços: o desenvolvimento de software sob encomenda, ou *outsour-*

SIPOC Diagrama - Exemplo

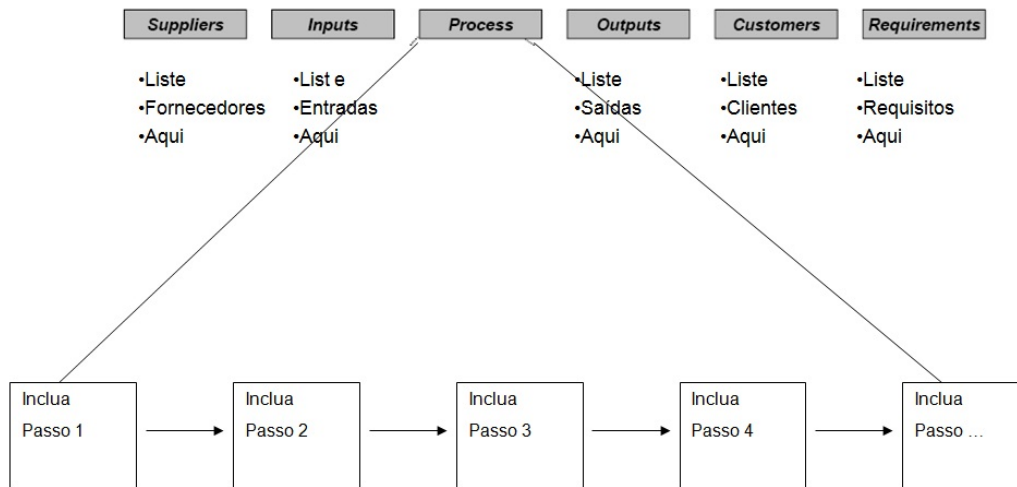


Figura 2.5: Exemplo de um Diagrama SIPOC

cing, é um modelo de negócio de terceirização onde ocorre a transferência de uma parte significativa da responsabilidade do gerenciamento dos serviços para o fornecedor. Por esse modelo de negócio ser bastante semelhante ao modelo de prestação de serviços, as características de serviços foram estudadas, com o objetivo de identificar questões importantes para a definição de características de interesse significativas para CEP de desenvolvimento de software. Segundo Fitzsimmons, Fitzsimmons & Fitzsimmons [2004], há em serviços:

Participação do cliente nos processos de serviço: a presença do cliente como um participante no processo de serviço requer atenção ao ambiente físico, onde ocorre o processo, o que não acontece no caso das operações de manufatura tradicional. Cuidados especiais com a decoração interior, mobília, leiaute, nível de ruído e até cores pode influenciar a percepção dos serviços pelo cliente.

Simultaneidade: os serviços são criados e consumidos simultaneamente e, portanto, não podem ser estocados, o que constitui uma característica fundamental para a administração de serviços. Essa impossibilidade de estocar serviços impede o uso da estratégia da manufatura tradicional, de confiar nos estoques como um amortecedor de absorção de flutuação na demanda. O fato dos serviços serem simultâneos elimina muitas oportunidades de intervenção no controle de qualidade. Um produto pode ser inspecionado

antes de ser entregue, um serviço precisa confiar em outros indicadores para assegurar a qualidade.

Mercadoria perecível: os serviços podem ser considerados mercadoria perecível.

Intangibilidade: serviços são ideias e conceitos, produtos são objetos.

Heterogeneidade: a combinação da natureza intangível dos serviços e do cliente como participante do sistema de prestação de serviços resulta na variação de serviços de cliente para cliente.

Um serviço, de acordo com James Fitzsimmons, é uma experiência perecível, intangível, desenvolvida para um consumidor que desempenha o papel de coprodutor. Medir a qualidade de serviços é um desafio, pois a satisfação é determinada por muitos fatores intangíveis, ao contrário de produtos com características físicas que podem ser objetivamente mensuradas.

A figura 2.6, extraída de Fitzsimmons & Fitzsimmons [2004], apresenta as etapas do desenvolvimento da qualidade. A Inspeção é mostrada como primeira atividade, pois é normalmente por onde as organizações começam a lidar com as questões de qualidade. Como último degrau, é apresentado o desdobramento da função da qualidade.

QFD Quality Function Deployment: desdobramento da função qualidade é o método usado para transformar as demandas (necessidades) dos usuários em projetos de qualidade. O QFD “desdobra” os requisitos expostos pelos clientes, através do uso de matrizes, transformando-os em especificação técnica do projeto. É uma técnica bastante difundida no mercado, porém, complexa de ser utilizada. Foi desenvolvida por Dr. Yoji Akao, apud Cheng & Melo [2007]. A figura 2.7, extraída de Faria [2009], apresenta uma visão de uma matriz de desdobramento da função qualidade.

Voz do Cliente (VOC): é um termo usado para descrever as expectativas, preferências e aversões dos clientes quanto a um produto ou serviço.

Modelo Kano: é um modelo para categorização da satisfação dos consumidores. O modelo propõe a classificação dos atributos do produto baseado em como eles são percebidos, consciente ou inconscientemente, pelos consumidores. Essa classificação é usada para guiar decisões de projetos e melhorias nos produtos indicando

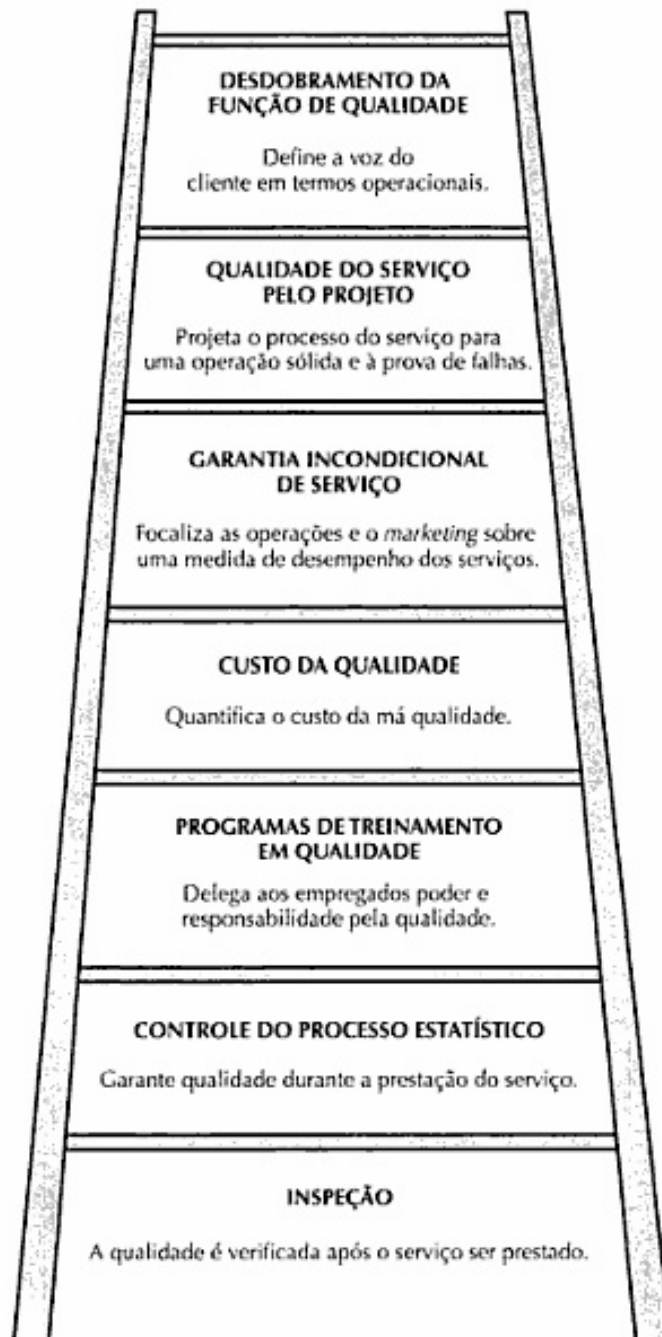


Figura 2.6: Escada Qualidade em Serviços

quando o “bom” é suficiente ou quando “mais” é melhor. Tal modelo foi desenvolvido pelo professor Noriaki Kano Tontini [2003]; Dodson [2008]; Apostila [2002] apud Kano [1984].

As categorias propostas são:

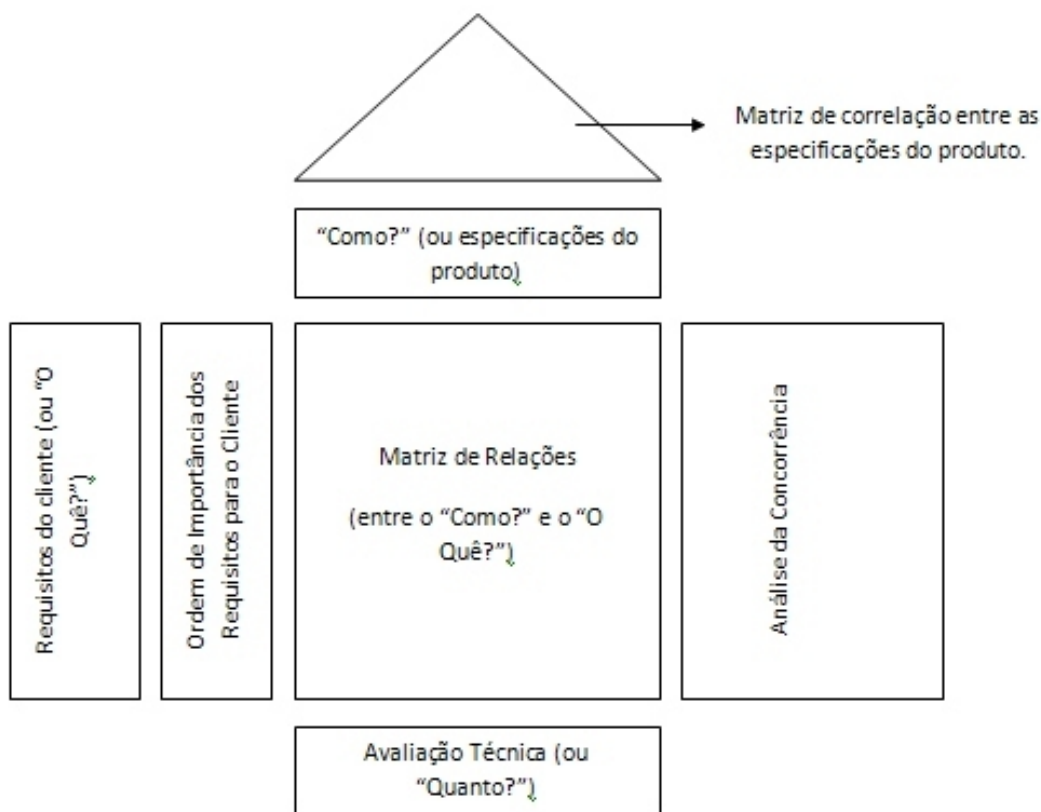


Figura 2.7: Visão de uma matriz Desdobramento da Função da Qualidade

- Atributos básicos (obrigatórios): são obrigatórios e esperados. Sua existência ou melhoria não implica em satisfação extra nem diferencial competitivo. Sua inexistência resulta em grande insatisfação. Podem ser não verbalizados.
- Atributos unidimensionais: os requisitos são solicitados pelos consumidores e quanto maior o nível de atendimento maior será a satisfação dos consumidores.
- Atributos atrativos: os consumidores não têm expectativas sobre esses requisitos e são surpreendidos ao tê-los. Porém, caso não haja tais requisitos não há descontentamento por parte dos consumidores.
- Atributos neutros: não trazem nem satisfação nem insatisfação. Podem não ser conhecidos ou raramente utilizados pelos usuários.
- Atributos reversos: são aqueles cuja presença traz insatisfação.

Passos para aplicação do método:

1. Elaborar e aplicar um questionário aos consumidores. O questionário deve conter, para cada atributo, duas questões: (i) qual o seu sentimento se o atributo x estiver presente no produto; (ii) qual o seu sentimento se o atributo x não estiver presente no produto. Ou seja, uma questão funcional e uma disfuncional sobre o atributo. As opções de respostas podem ser: muito satisfeito, satisfeito, indiferente, não atrapalha e insatisfeito. Cada questão deve tratar de um único atributo que deve ser claramente definido. Deve-se evitar questões negativas, ou seja, que utilizem o termo “não” e questões disfuncionais seguidas das funcionais (para evitar respostas automáticas). Deve-se definir o público de modo que seja possível estratificar as respostas e estudar a classificação dos atributos entre diferentes grupos de consumidores. Um consumidor que usa o produto pode classificá-lo como unidimensional enquanto um novo consumidor o classificaria como básico.
2. Gerar uma planilha a partir da tabela 2.8 de classificação bidirecional para categorizar cada atributo por entrevistado se atrativo, unidimensional, obrigatório, neutro ou reverso.

Resposta do consumidor		Questão Disfuncional (negativa)				
		Muito Satisfeito	Satisfeito	Indiferente	Não atrapalha	Insatisfeito
Questão Funcional (positiva)	Muito Satisfeito	-	A	A	A	U
	Satisfeito	R	N	N	N	O
	Indiferente	R	N	N	N	O
	Não atrapalha	R	N	N	N	O
	Insatisfeito	R	R	R	R	-

A - Atrativo U - Unidimensional O - Obrigatório R - Reverso N - Neutro

Figura 2.8: Tabela Classificação Modelo Kano

3. Computar o percentual de cada categoria por atributo. As informações podem ser exibidas em quadrante.

Algumas ferramentas apoiam o uso do modelo Kano: elicitación das entradas dos consumidores, matriz de prioridades, QFD e análise de valor. É mais comum que os requisitos lineares e inesperados sejam usados como entrada na aplicação de QFD.

BSC - Balanced Scorecard: segundo Kaplan, Kaplan & Norton [1997], é um “cartão de resultados equilibrado”, é uma ferramenta gerencial que permite equilibrar,

monitorar e controlar o desempenho empresarial a partir da definição de medidas de desempenho em quatro perspectivas: a financeira, a do cliente, a dos processos internos e a do aprendizado e crescimento.

2.2 CEP e a melhoria de processos de desenvolvimento de software

2.2.1 O primeiro momento de revisão

A proposta inicial do presente trabalho consistiu na construção de um modelo para estabilização de processos de desenvolvimento de software para aplicação prévia a projetos de melhorias estatisticamente controlados. Essa proposta foi motivada pelas dificuldades em estabilizar os processos de desenvolvimento de software, que a autora do presente trabalho vivenciou, em um ambiente real. A revisão bibliográfica para essa proposta abordou modelos e ferramentas que apoiam a gerência quantitativa de melhoria e a otimização de processos. Dentre esses modelos e ferramentas foram estudados o PDCA, o IDEAL, o SixSigma e o CMMI. Os artigos mais relevantes da aplicação dos modelos Six Sigma e CMMI em estudos de caso são citados a seguir.

Zhao, em Zhao et al. [2008a], faz uma descrição breve de alguns modelos de medição e de modelos de melhorias para processos de desenvolvimento de software. Propõe o uso de Six Sigma combinado ao modelo de gerenciamento de processo de software e apresenta um estudo de caso da aplicação dessa proposta. A abordagem visualiza dois aspectos: o projeto conceitual do produto de software através do modelo IDOV e a otimização dos demais processos através do DMAIC. Foi definido o escopo do projeto utilizando SIPOC em seguida definido o seu objetivo a partir do Modelo Kano. O autor conclui que Six Sigma é um modelo factível de ser aplicado em processos de desenvolvimento de software. Ainda o mesmo autor, no artigo Zhao et al. [2008b], propõe o uso de SixSigma combinado ao CMMI para alcançar melhorias de processo em desenvolvimento de software. Apresenta um estudo de caso da aplicação desses modelos combinados e conclui que eles são complementares, centrados no cliente, na redução da variação e na otimização do desenvolvimento. Outros artigos que apresentam propostas semelhantes são: Siviyy et al. [2005]; Murugappan & Keeni [2000]; Kim et al. [2008]; Gonçalves et al. [2008]; Pan et al. [2007].

Redzic, em Redzic & Baik [2006], apresenta a aplicação de DMAIC para melhoria da qualidade de software. O objetivo foi identificar e estabelecer mudanças táticas que incrementem a qualidade do software. Um plano de medição foi sistematicamente

desenvolvido e para analisar quantitativamente as melhorias providas pelas mudanças, a capacidade dos processos da organização foi calculada, uma linha de base foi gerada e depois comparada com os resultados obtidos pela aplicação do DMAIC. A conclusão relata que o software é um produto muito complexo e que Six Sigma pode ser aplicado com sucesso para prover melhorias de qualidade em processos de desenvolvimento de software.

Outra abordagem estudada foi a aplicação de Six Sigma para serviços, visto a natureza de serviço do desenvolvimento de software sob encomenda. George, em George [2004], apresenta como a aplicação de Lean e Six Sigma podem reduzir os custos e a complexidade e melhorar a qualidade dos serviços. Ele cita vários estudos de caso, enfatiza a importância do comprometimento da alta gerência para o sucesso de projetos de melhorias de processos. Apresenta a abordagem do Lean para maximizar a velocidade do processo, reduzir os desperdícios e a complexidade dos processos e a abordagem do Six Sigma para reconhecer as oportunidades de eliminar defeitos do ponto de vista do cliente, reduzir a variação e tomar decisões baseadas em análises quantitativas. Ainda na abordagem de serviços, Wood, em Wood [1994], apresenta um guia para evoluir os métodos aplicados em manufaturas para o contexto de serviços, discute que a *redução da variabilidade* não deve ser o objetivo final do controle estatístico de processos e que a terminologia *gráfico de nível de qualidade* seria mais apropriado que gráfico de controle.

Tinnirello, em Tinnirello [2002], discursa sobre o gerenciamento de projetos de software, o gerenciamento da qualidade e das relações de negócio para software. Para o gerenciamento da qualidade ele apresenta exemplos de uso dos modelos ISO 9000 e CMM e como o Six Sigma pode apoiar organizações no desenvolvimento de software. O autor enfatiza as vantagens do uso do Six Sigma mesmo quando nem todos os seus conceitos são utilizados pela organização.

2.2.2 O segundo momento de revisão

Durante a primeira revisão foi percebida, nos vários trabalhos revisados, uma atenção especial dada à escolha correta de métricas para CEP que refletissem os objetivos da organização ou a voz do cliente. A necessidade de características de interesse significativas levou à elaboração de uma proposta mais abrangente, para a construção de um modelo que abordasse não somente a estabilização dos processos mas também demais questões de CEP, como a definição das características de interesse e a escolha dos processos alvo de controle. Três livros formam a base das referências sobre os princípios e métodos estatísticos, tradicionais e modernos, utilizados nesse segundo momento de

revisão, que são: Florac & Carleton [1999]; Montgomery [2004]; Costa et al. [2008]. Além desses, alguns trabalhos publicados em congressos e periódicos de qualidade reconhecida, que apresentam o estado da arte da aplicação de CEP em processos de desenvolvimento de software complementam as referências, que são: Komuro [2006]; Jalote [2003]; Jalote & Saxena [2002]; Lantzy [1992]; Caivano [2005]; Baldassare et al. [2005]; Cobb & Mills [1990]; Weller [2000]; Montoni et al. [2007]; Sargut & Demirörs [2006].

Florac, além de apresentar alguns conceitos e métodos estatísticos, também discute como as características de qualidade dos processos e produtos de softwares podem ser quantificadas, esboçadas graficamente e analisadas para que as atividades de desenvolvimento de software sejam previsíveis, controladas e guiadas para alcançar os objetivos estratégicos e técnicos. Essa referência foi elaborada com apoio da SEI e tem o objetivo de encorajar e guiar organizações desenvolvedoras de software a usarem medidas para gerenciar quantitativamente os produtos e projetos de software.

Baldassare, em Baldassarre et al. [2007], apresenta uma revisão sistemática da aplicação de CEP, cuja motivação foi entender quão bem sucedida a aplicação de CEP está sendo realizada nos processos de produção de software. Como conclusão, há relatos das dificuldades de uso de CEP em processos de desenvolvimento de software devido às amostragens com pequenas quantidades de dados, dados sem distribuição normal usados indiscriminadamente, uso de gráficos que demandam grupos de observações sendo usados com observações individuais entre outras ações e situações inadequadas. Todos esses pontos foram tratados cuidadosamente pelo presente trabalho, na tentativa de observar os modelos estatísticos.

Vários dos trabalhos consultados que relatam a aplicação de CEP em software se restringem ao controle estatístico de taxa de defeitos, revisões e não-conformidades. Apenas um deles, o trabalho de Sargut, propõe outras características de interesse para o controle estatístico, bastante similares à proposta do presente trabalho. Sargut apresenta uma forte crítica aos artigos de CEP de desenvolvimento de software, justamente pelo fato dos controles serem estritamente para densidade de defeitos e efetividade das inspeções e devido à maioria deles não apresentarem detalhes suficientes do experimento, de modo que o mesmo pudesse ser reproduzido por outras organizações. Vale ressaltar que o artigo de Sargut foi revisado em 11/04/2010, quando o modelo CEP-S já havia sido projetado e estava sendo validado por meio dos estudos de caso, ou seja, a presente proposta não se baseou no artigo de Sargut. O acesso a ele, no entanto, foi importante pois ele mostra a viabilidade do uso das características de interesse, as quais são similares às propostas no modelo CEP-S. As duas propostas, o artigo de Sargut e o presente trabalho, foram comparadas e os pontos de similaridades e de distinções são

apresentados a seguir.

Pontos de Similaridade:

- As características de interesse propostas enfocam no controle dos processos e não no controle dos produtos. Esse ponto é um diferencial, visto que o desenvolvimento de software é altamente dependente do fator humano (criatividade, produtividade, etc). A maioria dos artigos revisados durante a revisão bibliográfica tratam apenas a taxa de defeitos ou de revisões, cujo foco é o controle do produto. Logo, estabelecer o foco do controle nos processos é necessário e mais aderente ao contexto de desenvolvimento software;
- Tratam com detalhes os gráficos adequados para cada situação. A maioria dos artigos revisados não aborda tais detalhes;
- Definem o uso de apenas um teste de estabilidade, o qual consiste na identificação de um ponto fora dos limites de controle;
- Propõe a aplicação de CEP para empresas ainda em estágios iniciais de maturidade de seus processos;
- Propõe a estratificação dos defeitos por tipo de ocorrência;

Pontos de Distinção: no presente trabalho

- A seleção das características de interesse é realizada a partir de seu alinhamento com os objetivos estratégicos;
- As características de interesse são definidas por processo, por fase do ciclo de vida (produção e pós-produção) e por um agrupador (módulo do sistema ou caso de uso ou algum outro a ser escolhido pela organização). Isso reduz a restrição de quantidade de dados para o controle, além de favorecer o controle por processo e por fases;
- Os gráficos de controle propostos podem monitorar pequenos desvios. Sargut somente cita o problema de falta de ferramenta para monitoramento de pequenos desvios, mas não apresenta uma proposta de solução.
- A visão dos processos a serem controlados é um modelo flexível, possível de ser adaptado a vários tipos de organizações, devido às personalizações e considerações apresentadas para tal. Sargut relata o modelo usado e não trata sua personalização de modo a permitir o uso por outras organizações;
- A estratificação dos defeitos é mais robusta que a apresentada no artigo de Sargut;

Por fim, um último item avaliado foi a definição dos parâmetros de controle. Jalote, em Jalote & Saxena [2002], e Montgomery, em Montgomery [2004], apresentam estudos para o planejamento otimizado dos gráficos de controle e em especial, para a definição dos limites de controle, visando os aspectos econômicos, como: o custo da amostragem, as perdas pela fabricação de produtos defeituosos, os custos de investigação de alarmes falsos. Jalote define um modelo para o cálculo dos limites de controle em função da otimização das variáveis: custo de alarmes falsos (erro tipo I), custo de falhas não detectadas (erro tipo II) e custo de reparar uma falha.

2.3 Caracterização das PME desenvolvedoras de software

O modelo CEP-S foi proposto visando apoiar PME prestadoras de serviços de desenvolvimento de software (outsourcing) vertical sob encomenda. As PME de software representam a maioria das empresas de software nacionais, são fortemente impactadas pela dificuldade de estimativas, visto o grau de subjetividade das medidas de software e pela produção de software sob encomenda ser um produto único em cada produção. Essas características motivaram a construção do modelo CEP-S. Este capítulo apresenta a caracterização dessas empresas de forma mais detalhada, quanto ao modelo de negócio, à forma de comercialização e ao mercado alvo. Apresenta também os desafios de mercado destas empresas.

Quanto ao modelo de negócio, a prestação de serviços de desenvolvimento de software é a terceirização do desenvolvimento de software ou outros serviços, onde ocorre a transferência de uma parte significativa da responsabilidade pelo gerenciamento do serviço para o provedor do serviço. Esse pode ser convencional, que é a terceirização de uma atividade na área de TI, ou pode ser BPO (business process outsourcing), que é o fornecedor ser responsável pelo processo ou função de negócio do cliente. Quanto à forma de comercialização, o software sob encomenda é desenvolvido para atendimento às necessidades exclusivas de um usuário. A relação da empresa desenvolvedora e do usuário é intensa. E, quanto ao mercado alvo, o software vertical é um software de uso específico, para um determinado processo de negócio. Para mais detalhes sobre a caracterização do software, vide apêndice B-Caracterização do software.

As PME empresas atuam em nichos atrativos do mercado, onde grandes empresas não conseguem atuar, Freire [2002]. Porém, estas empresas enfrentam desafios como:

- O mercado de software impõe fortes barreiras ao crescimento, de modo que gran-

des empresas dominam os principais mercados e, ao mesmo tempo, o mercado não impõe barreiras à entrada de novos concorrentes, visto o custo de entrada nesse mercado ser relativamente baixo;

- O modelo de comercialização de software sob encomenda tem se tornado uma commodity, vende quem tem o menor preço;
- As empresas enfrentam dificuldades para avaliar o retorno de investimentos em qualidade devido às características não funcionais do software (usabilidade, robustez, desempenho, reusabilidade, corretude, adequação), dificuldades para integrar estratégia no dia-a-dia operacional e dificuldades em realizar estimativas de custo e prazo confiáveis.

Os custos do desenvolvimento do software estão concentrados na produção da primeira unidade, custos de criação, Pressman [1997]. Esses custos são altos e caracterizam o cenário de empresas de outsourcing de software vertical sob encomenda. Os custos de reprodução e distribuição, custos marginais, são mínimos, praticamente desprezíveis, visto que o custo da reprodução (cópia) é zero e o custo de distribuição é insignificante em relação ao custo de produção. Esses custos caracterizam o cenário das empresas desenvolvedoras de software como produto. Os custos de criação altos, sem economia de escala, e a intangibilidade são alguns dos fatores que diferenciam negativamente a competitividade das empresas que prestam serviços de desenvolvimento de software das empresas que desenvolvem software como produto.

A venda de serviços de software depende da reputação da empresa fornecedora, da existência de um relacionamento de confiança mútua entre as partes vendedor e comprador, visto a característica intangível do software. Por um lado, esse fator favorece PME em atuações locais mas, por outro lado, é considerado uma das barreiras mais significativas à exportação devido à inexistência de uma estrutura de vendas e suporte no exterior, próximo ao cliente, Pondé [1993]. De acordo com Martins, Martins [2004], considerando a intangibilidade dos serviços de software, é indispensável dedicar atenção à capacitação em processos, com certificações que sejam amplamente aceitas e que facilitem as negociações com os mercados potenciais.

E para finalizar esta caracterização, olhamos para as causas mais significativas de morte dessas empresas. Quase 30% das empresas nascentes, de qualquer segmento, morrem antes de completarem um ano. Estudos apontam como causas a falta de foco no cliente e o desperdício. As empresas de software enfrentam, além das causas citadas, a alta taxa de re-trabalho. Estima-se que em empresas de baixa maturidade, até 45%

do esforço total é relativo ao re-trabalho, o que causa impacto negativo no custo e prazo, Garcia & Leite [2006].

Capítulo 3

O controle estatístico de processo (CEP)

“Um fenômeno será dito ser controlado quando, através do uso de experiências passadas, nós podemos prever, pelo menos com limites, como será a variação do fenômeno no futuro.”

Walter A. Shewhart 1931

Este capítulo apresenta os conceitos de controle estatístico de processos, as fórmulas e conceitos dos gráficos de controles usados no modelo CEP-S, a definição para limites de controle, testes de estabilidade, testes de correlação e teste de normalidade e para algumas ferramentas da qualidade que serão usadas para apoiar o controle estatístico, tais como o gráfico de custo benefício e o histograma.

Uma estatística é uma medida calculada para descrever uma característica de qualidade de uma amostra¹ da população, Levine et al. [2000], e apoiar a tomada de decisão. É a ciência de analisar dados e tirar conclusões, levando em conta a variação dos dados, Montgomery [2004]. A modelagem ou descrição desses dados pode ser feita via distribuição de probabilidade². A distribuição de probabilidade de uma estatística, distribuição amostral, é descrita pelos seus parâmetros de controle que, em geral, são desconhecidos, podem mudar ao longo do tempo e são estimados a partir de dados de uma amostra. Exemplos de parâmetros: média (μ) e variância (σ^2).

O CEP é uma ferramenta que usa a estatística para gerenciar os processos e promover continuamente a melhoria de qualidade através da redução da variabilidade dos parâmetros de controle. Alguma variabilidade é inerente aos processos de produção, não é possível eliminá-la inteiramente, mas é intenção do CEP reduzi-la. Segundo

¹Parte da população selecionada para análise.

²Coleção de pares, $[x_i, p(x_i)]$, onde x_i são os possíveis resultados para $i=1,2,\dots$ e $p(x_i)$ as probabilidades do resultado x_i .

Montgomery, Montgomery [2004], a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade, ou seja, quanto menor a variabilidade maior é a qualidade dos produtos e processos.

A variação total de um processo pode ser expressa, segundo Florac, Florac & Carleton [1999], por:

$$\text{Variação Total} = \text{Variação devido às causas aleatórias} + \text{Variação devido às causas atribuíveis}$$

A variação devido às causas aleatórias, também conhecidas como causas comuns, é inerente ao processo, devido às interações de seus componentes (pessoas, equipamentos, processos, métodos, insumos) e são inevitáveis. Os processos que têm apenas causas aleatórias são processos estáveis, onde há variações randômicas, porém, essas ocorrem dentro de um intervalo previsível, uma variação conhecida. Resultados inesperados são extremamente raros. Um processo previsível é um processo sob controle, Florac & Carleton [1999]. A figura 3.1, obtida de Florac & Carleton [1999], ilustra a variação devido às causas aleatórias, onde as amostras variam dentro dos limites conhecidos.

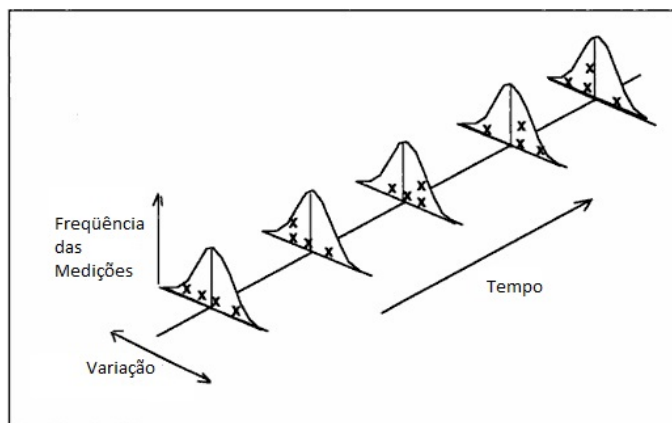


Figura 3.1: Variação controlada

A variação devido às causas atribuíveis, também referenciada como causas especiais pelo PMBOK, PMI [2009], deve-se à eventos que não fazem parte do processo. Quando uma ou mais medidas não se mantêm dentro dos limites de variação estimados, o processo é tido como instável, ou seja, não está sob controle e as causas devem ser investigadas. Providências para eliminar futuras ocorrências devem ser tomadas. A figura 3.2, obtida de Florac & Carleton [1999], ilustra a variação devido às causas atribuíveis, onde as amostras variam sem limites conhecidos.

As Seções seguintes apresentam os conceitos propostos para esse capítulo, enfocando nos detalhes para a construção dos gráficos de controle propostos para o modelo

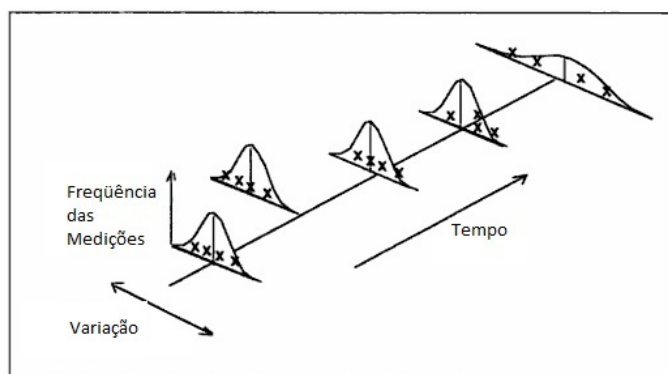


Figura 3.2: Variação não controlada

CEP-S. As ferramentas de qualidade histograma, gráfico de Pareto e diagrama de dispersão, que apoiam a aplicação de CEP, são também apresentadas. As definições descritas nas seções seguintes foram extraídas de Costa et al. [2008]; Levine et al. [2000]; Meyer [1983]; Montgomery [2004].

3.1 Métodos estatísticos

Estatística “é um conjunto de técnicas úteis para tomada de decisão sobre um processo ou população, baseada na análise da informação contida em uma amostra dessa população. Os métodos estatísticos desempenham um papel fundamental na melhoria de qualidade”. Dentre os métodos citamos a Estatística Descritiva e a Estatística Inferencial.

A **Estatística Descritiva** envolve a coleta, apresentação e caracterização de um conjunto de dados que descrevem apropriadamente as várias características desse conjunto. A **Estatística Inferencial** torna possível a estimativa de uma característica de uma população ou a tomada de uma decisão referente à população com base somente em resultados de amostras.

A Estatística Inferencial é o método utilizado no presente trabalho, ele pode ser realizado a partir de uma estimativa de parâmetros (valores) da população ou de testes de hipótese, Cooper & Schindler [2001]. A **Estimativa de Parâmetros Populacional** pode ser estimação pontual ou por intervalo. Na estimação pontual é obtido um valor numérico único que esperamos estar relativamente próximo ao verdadeiro valor e na estimação por intervalo é construído um intervalo que contém, com grau de confiança conhecido, o verdadeiro valor do parâmetro. Os **Testes de Hipótese** são uma afirmação sobre os parâmetros de uma distribuição de probabilidade, que podem ser realizados através da Teoria da Amostragem ou o Método Bayesiano. A

Teoria da Amostragem é a abordagem clássica que representa uma visão objetiva de probabilidade na qual se baseia a tomada de decisão a partir da análise de dados das amostragens disponíveis. Uma hipótese é estabelecida e ela é aceita ou rejeitada, com base na amostragem dos dados coletados. Esse é o método utilizado no presente trabalho. O **Método Bayesiano** usa dados das amostragens disponíveis e informações adicionais que consistem de estimativas de probabilidade subjetivas, declaradas em termo de grau de crenças, onde tais informações subjetivas são periodicamente modificadas.

3.2 Visão geral dos gráficos de controle

Gráficos de controle são usados para monitorar a estabilidade dos processos, identificar necessidade de ações de melhoria para a redução da variabilidade e estimar os parâmetros do processo ou do produto.

Os gráficos de controle precisam ser planejados de forma a serem eficientes em detectar confiavelmente condições de fora-de-controle. Esse planejamento envolve a definição dos limites de controle, o tamanho da amostra, a frequência da amostragem e os testes de estabilidade. Tais itens serão detalhados nas próximas seções. Um gráfico de controle indica apenas se o processo está ou não sob controle, ou seja, se existem apenas causas aleatórias ou se há também causas atribuíveis. Caso o gráfico de controle aponte a existência de causas atribuíveis, essas devem ser investigadas e o que deu origem a elas deve ser eliminado do processo. Como exemplos de parâmetros do processo ou do produto estimados pelo gráficos de controle podemos citar: a capacidade, a média (μ), o desvio padrão (σ) ou a variância (σ^2), a fração de não-conformidades, entre outros.

Um gráfico de controle contém uma linha central (LC) que representa o valor médio da característica de qualidade, a linha superior que representa o Limite Superior de Controle (LSC) e a linha inferior que representa o Limite Inferior de Controle (LIC).

Detalhamos, a seguir, o modelo geral para a construção de gráficos de controle:

Seja w uma estatística amostral que mede alguma característica de qualidade de interesse e suponha que a média de w seja μ_w e o desvio padrão σ_w . Então, a linha central, o limite superior de controle e o limite inferior de controle são:

$$\begin{aligned}LSC &= \mu_w + L\sigma_w \\LC &= \mu_w \\LIC &= \mu_w - L\sigma_w\end{aligned}\tag{3.1}$$

Onde L é a distância dos limites de controle à linha central, expressa em unidades de desvio padrão.

A figura 3.3 apresenta um exemplo de gráfico de controle com LC, LSC e LIC.

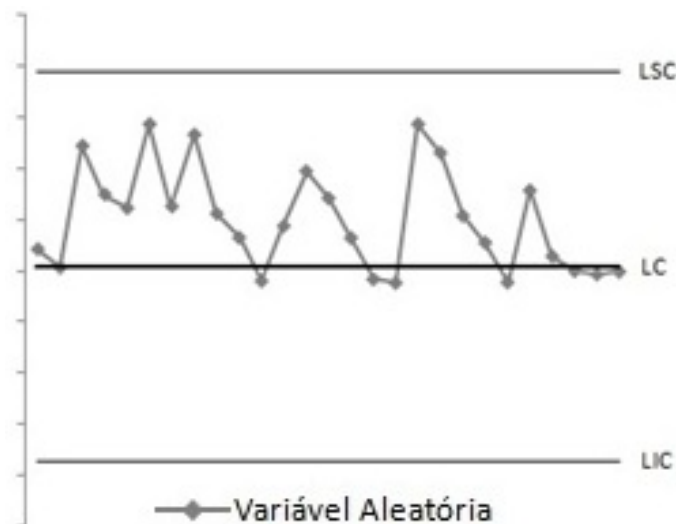


Figura 3.3: Parâmetros de controle LC, LSC e LIC

Os parâmetros μ e σ podem ser definidos de antemão, se seus valores alvo forem conhecidos, ou, caso contrário, podem ser estimados. Um exemplo de parâmetros de controle definidos previamente é a quantidade de leite em um saquinho de 1 litro: a média esperada é $\mu = 1$ litro, com um desvio de $\sigma = 0,02$. No caso onde os parâmetros não são definidos previamente, a estimativa é realizada a partir de dados coletados durante um período em que necessariamente o processo esteja operando sob controle, ou seja, isento de causas atribuíveis. Portanto, para estimar os parâmetros de controle é necessário identificar e eliminar as causas atribuíveis. Em um processo sob controle, os pontos plotados em um gráfico de controle têm um comportamento aleatório e praticamente todos esses pontos estarão entre os limites de controle LSC e LIC. Em um processo fora-de-controle, os pontos plotados têm um comportamento não aleatório e alguns pontos estarão plotados fora dos limites de controle. Há vários testes que podem ser usados para detectar a existência de variação devido à causas atribuíveis. O teste mais comumente usado é a verificação da existência de algum ponto que tenha sido plotado fora dos limites LSC e LIC. Esse e outros testes serão detalhados na seção 3.9 *Testes para detecção de situações fora-de-controle*.

Os gráficos de controle podem ser usados para variáveis ou atributos. Variáveis são normalmente medições de fenômenos contínuos, como exemplos temos: volume, voltagem, esforço despendido, anos de experiência. Atributos são informações sobre

um item, se ele é conforme ou não, e quase sempre originam de uma contagem Flórac & Carleton [2000].

Os gráficos de controle de variáveis usados no modelo CEP-S são:

- Gráfico \bar{X} -Individual ($\bar{X}I$);
- Gráfico Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP):

O gráfico para controle de atributos usado no modelo CEP-S é o:

- Gráfico de Controle para Não-Conformidades por unidade ou Defeitos (u);

Os gráficos citados acima serão apresentados nas próximas seções. Também serão apresentados os gráficos \bar{X} , S e R, conhecidos como gráficos de Shewhart, que são os mais utilizados para o controle estatístico de processo. Porém, esses não serão usados no modelo CEP-S por não serem apropriados para amostras de tamanho $n = 1$, tamanho que, em geral, são colhidas as amostras de desenvolvimento de software.

Os gráficos de variáveis são usados no modelo CEP-S para o controle dos processos após a execução dos projetos. O gráfico de atributo é usado no modelo CEP-S para o controle do processo durante a execução dos projetos. Destacamos que o controle estatístico de processos de manufatura acontecem durante a produção. Em software, isso não é possível para a maioria dos casos, sendo então realizado após a produção. As ações de melhorias derivadas das informações dos gráficos são corretivas e para prevenção de futuras ocorrências, e normalmente não são usadas para a produção corrente de onde os dados foram gerados.

Montgomery cita algumas razões para a popularidade dos gráficos de controle:

- Técnica comprovada para a melhoria da produtividade. Um programa bem definido de CEP reduz retrabalho causando o aumento de produtividade, a redução dos custos e o aumento da capacidade de produção;
- Eficazes na prevenção de defeitos;
- Evitam o ajuste desnecessário. O CEP pode distinguir entre um “ruído de fundo”, variação aleatória, de uma variação de causa atribuível, que precisa ser investigada e ter uma ação de melhoria;
- Fornecem informação de diagnóstico;
- Fornecem informação sobre a capacidade do processo.

3.3 Limites de controle

A definição dos limites de controle é uma decisão crítica no momento do planejamento do gráfico de controle. Se aproximarmos os limites de controle da linha central, aumentamos o risco de um erro tipo I , ou seja, o risco de um ponto cair fora dos limites, quando nenhuma causa atribuível está presente. Se afastarmos os limites de controle da linha central, aumentamos o erro tipo II , ou seja, o risco de um ponto cair entre os limites de controle indicando falsamente que o processo está sob controle.¹

Nos Estados Unidos é prática padrão, independente da distribuição da característica de qualidade ou do tipo de gráfico usado, o uso de 3σ (3 desvio padrão) para o cálculo dos limites de controle. Isso corresponde a 99,73% da produção estarem dentro dos limites de controle e 2.700 defeitos por milhão de oportunidades. No Reino Unido e em parte da Europa Ocidental, os limites utilizados são o de probabilidade $\alpha = 0,001$. Esse valor corresponde à probabilidade do erro tipo I, onde temos o risco de 10 alarmes falsos em 10.000 pontos. Haverá pouca diferença entre os dois padrões citados se as características da qualidade tiverem distribuição normal. De acordo com a tabela *Área em caudas simétricas da distribuição normal padrão* a probabilidade do erro tipo I para 3σ de uma distribuição normal é $p=0,00135$ para cada lado da curva (0,0027 no total) e o desvio padrão para a probabilidade $\alpha=0,001$ é $3,09\sigma$.

Jalote, Jalote & Saxena [2002], e Montgomery apresentam estudos para o planejamento otimizado dos gráficos de controle e, em especial, para a definição dos limites de controle, visando os aspectos econômicos, como: o custo da amostragem, as perdas pela fabricação de produtos defeituosos, os custos de investigação de alarmes falsos. Jalote define um modelo para o cálculo dos limites de controle em função da otimização das variáveis: custo de alarmes falsos (erro tipo I), custo de falhas não detectadas (erro tipo II) e custo de reparar uma falha. Tais otimizações são dignas de atenção, porém, optamos por utilizar a aplicação padrão de CEP, ou seja, limites de controle $L=3$, também conhecidos como limites naturais, e não otimizá-los pelos seguintes motivos:

- Os limites calculados com base em 3σ fornecem bons resultados na prática;

¹Para testar uma hipótese, toma-se uma amostra aleatória da população em estudo, calcula-se a estatística de teste apropriada e então, rejeita-se ou não a hipótese nula (H_0). Dois tipos de erros podem acontecer nesses testes: Se a hipótese nula é rejeitada mesmo ela sendo verdadeira, diz-se ERRO I. Se a hipótese nula não é rejeitada e ela é falsa, diz-se ERRO II. As probabilidades (P) desses tipos de erros são denotadas como:

$$\alpha = P(\text{erro tipo I}) = P(\text{rejeitar } H_0 | H_0 \text{ é verdadeira})$$

$$\beta = P(\text{erro tipo II}) = P(\text{não rejeitar } H_0 | H_0 \text{ é falsa})$$

No controle de qualidade, α é também chamado de risco do fabricante.

- Em muitos casos a distribuição da característica da qualidade não é conhecida a ponto de permitir o cálculo dos limites de probabilidades exatos;
- Os custos dos erros tipo *I* e *II* em software não são estimados com facilidade para permitir otimizações nas definições dos limites de controle;
- A utilização de CEP em PME de serviços de desenvolvimento de software ainda é incipiente, com fortes limitações de dados para amostragem. Portanto, nesse caso, a aplicação padrão de CEP pode ser suficiente para controle dos processos.

Shewhart, para justificar o uso de limites de controle 3σ , cita que “*se um processo estiver sob controle, evite ajustes desnecessários, que só tendem a aumentar a sua variabilidade*”. A otimização dos limites de controle para a prática de CEP em software pode ser considerada um objetivo futuro para empresas que estão iniciando nessa prática.

A definição dos limites de controle pode ser feita a partir da análise do Comprimento Médio da Sequência (CMS), o qual representa o número médio de observações necessário para que um ponto sinalize uma condição de fora-de-controle, sendo CMS_0 no processo sob controle (alarme falso) e CMS_1 no processo fora-de-controle. A análise conjunta do CMS_0 e CMS_1 indica a eficácia do gráfico de controle. A intenção é definirmos esses parâmetros de modo a termos o maior CMS_0 possível e o menor CMS_1 possível. Assim, o gráfico de controle sinalizará a falta de controle *rapidamente* quando o processo sofrer alguma alteração e *vagarosamente* quando o processo não sofrer qualquer alteração (alarme falso). Para os gráficos de Shewhart, com observações não autocorrelacionadas e distribuídas normalmente, o CMS é calculado pela equação 3.2:

$$CMS = \frac{1}{p(\text{um ponto aparece fora-de-controle})} \quad (3.2)$$

Onde p é a probabilidade de que qualquer ponto exceda os limites de controle, dada pela equação 3.3:

$$\begin{aligned} CMS_0 &= \frac{1}{\alpha} \\ CMS_1 &= \frac{1}{1 - \beta} \\ \beta &= \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Onde β é o risco de não se detectar o deslocamento k na primeira amostra e n é o tamanho da amostra.

Para $\alpha = 0,0027$, que corresponde a $L=3$, considerando a distribuição normal e a não autocorrelação, temos $CMS_0 = 370$ e CMS_1 de acordo com a tabela 3.1. Isso é o mesmo que dizer que, para um processo sob controle, um alarme falso será dado a cada 370 amostras e uma causa atribuível será sinalizada a cada $\approx 43,9$ pontos, para um deslocamento de 1σ da média, a cada $\approx 6,3$ pontos para 2σ e a cada $\approx 2,0$ pontos para 3σ .

Tamanho do Deslocamento	β	CMS_1
1σ	0,9772	43,96
2σ	0,8413	6,30
3σ	0,5000	2,00

Tabela 3.1: Comprimentos Médios de Sequências para CMS_1

Para a construção do gráfico MMEP, será necessário planejar dois parâmetros para os limites de controle: o L , que tem o mesmo significado apresentado anteriormente, e o λ , que é uma constante $0 < \lambda \leq 1$. Valores pequenos de λ fazem com que os dados históricos tenham peso maior e valores grandes de λ fazem com que a última observação tenha peso maior. Para $\lambda = 1$ o gráfico MMEP se reduz ao gráfico de Shewhart. O planejamento ótimo para o gráfico MMEP deve considerar os CMS sob controle e fora-de-controle. E, em geral, λ no intervalo de $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$ funciona bem na prática. De acordo com Hunter, Hunter [1989], apud Montgomery [2004], o gráfico MMEP com os parâmetros $L = 3,054$ e $\lambda = 0,4$ teria o peso das observações correntes e anteriores iguais aos pesos das observações dos gráficos de Shewhart. Esses parâmetros resultam em um $CMS_0 = 500$ e um $CMS_1 \approx 14,3$. Logo, assumimos para a aplicação do gráfico MMEP os parâmetros $L = 3,054$ e $\lambda = 0,4$, o que resulta na equivalência dos gráficos de Shewhart e MMEP. Porém, a organização pode optar por definir parâmetros diferentes dos sugeridos. A tabela 3.2 pode ser utilizada para apoiar essa nova definição. Ela apresenta o CMS para várias combinações dos parâmetros L e λ para o gráfico MMEP.

3.4 Limites de especificação

Os Limites de Especificação, segundo Florac, Florac & Carleton [1999], são também conhecidos como “a voz do cliente”. São os limites especificados externamente, pelo cliente, pelo negócio, pelos engenheiros de produção ou pela gerência. Segundo o PMBOK, PMI [2009], *é a área do gráfico de ambos os lados da linha central, ou média, de dados traçados em um gráfico de controle que atende aos requisitos do cliente para*

Mudança na Média (multiplo de σ)	$L = 3,054$ $\lambda = 0,40$	$L = 2,998$ $\lambda = 0,25$	$L = 2,962$ $\lambda = 0,20$	$L = 2,814$ $\lambda = 0,10$	$L = 2,615$ $\lambda = 0,05$
0	500	500	500	500	500
0,25	224	170	150	106	84,1
0,50	71,2	48,2	41,8	31,3	28,8
0,75	28,4	20,1	18,2	15,9	16,4
1,00	14,3	11,1	10,5	10,3	11,4
1,50	5,9	5,5	5,5	6,1	7,1
2,00	3,5	3,6	3,7	4,4	5,2
2,50	2,5	2,7	2,9	3,4	4,2
3,00	2,0	2,3	2,4	2,9	3,5
4,00	1,4	1,7	1,9	2,2	2,7

Tabela 3.2: Comprimentos Médios de Sequências para Vários Esquemas de Controle MMEP

um produto ou serviço. Não há uma relação estatística ou matemática entre os limites de controle e os limites de especificação. É importante não confundir tais limites e, principalmente, entender que para produzir produtos que atendam à especificação, os limites de especificação devem conter os limites de controle. A figura 3.4 apresenta um gráfico de controle que ilustra, além dos limites de controle LC, LSC e LIC os limites de especificação LSE (limite superior de especificação) e LIE (limite inferior de especificação).

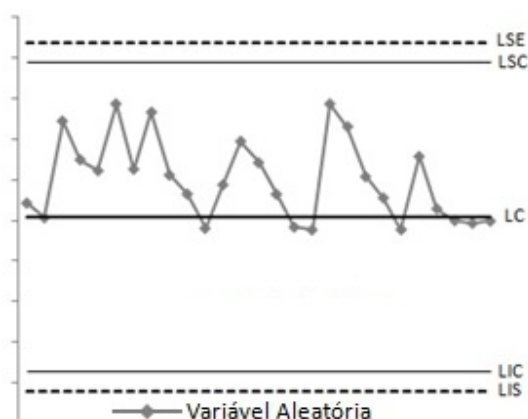


Figura 3.4: Limites de controle e especificação

3.5 Tamanho da amostra e frequência de amostragem

Definir o tamanho da amostra e a frequência da amostragem faz parte do planejamento de um gráfico de controle. O ideal seria coletar grandes amostras em um curto intervalo de tempo, porém esse cenário pode ser inviável economicamente. Além disso, quando a taxa de produção é lenta, o que é a característica do desenvolvimento de software, Florac & Carleton [1999], torna-se inconveniente acumular amostras de tamanho $n > 1$, pois intervalos longos entre as observações podem gerar problemas na formação de subgrupo racional¹. Diante dessas considerações, assumimos, para o modelo CEP-S, o tamanho das amostras $n = 1$, o que torna desnecessária a definição de subgrupo racional, e a frequência amostral = *frequência da produção*, ou seja, toda saída produzida (artefato, produto de software, processo executado, etc).

3.6 Testes de hipótese, nível de significância e P-valor

Teste de Hipótese é um dos métodos de inferência estatística que torna possível a estimativa de uma característica de uma população ou a tomada de uma decisão referente à população com base somente em resultados de amostras. Para testar uma hipótese toma-se uma amostra aleatória da população em estudo, calcula-se a estatística de teste apropriada e então, rejeita-se ou não a hipótese nula. Os testes de hipótese são constituídos por duas hipóteses:

H_0 = hipótese nula (ausência do efeito que se quer verificar);

H_1 = hipótese alternativa (hipótese a ser verificada);

O procedimento para testar a hipótese é tomar uma amostra aleatória de n observações e calcular a estatística de teste por:

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (3.4)$$

H_0 é rejeitada se $|Z_0| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$, onde $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ é o ponto da distribuição normal padrão correspondendo à porcentagem superior $\frac{\alpha}{2}$, para alternativa bilateral. Para alternativa unilateral, rejeita-se H_0 se $Z_0 > Z_{\alpha}$ ou $Z_0 < -Z_{\alpha}$.

¹Subgrupo racional consiste na retirada de amostras em intervalos de tempo regulares, com o objetivo de, na presença de causas atribuíveis, maximizar a chance de diferença entre as amostras e minimizar a chance de diferença dentro de cada amostra.

Dois tipos de erros podem acontecer nesses testes: se a hipótese nula é rejeitada mesmo ela sendo verdadeira, diz-se ERRO I. Se a hipótese nula não é rejeitada e ela é falsa, diz-se ERRO II. As probabilidades desses tipos de erros são denotadas como:

$$\alpha = P(\text{erro tipo I}) = P(\text{rejeitar } H_0 | H_0 \text{ é verdadeira})$$

$$\beta = P(\text{erro tipo II}) = P(\text{não rejeitar } H_0 | H_0 \text{ é falsa})$$

No controle de qualidade, α é também conhecido de risco do fabricante, por denotar a probabilidade de um lote bom ser rejeitado e β o risco do consumidor, por denotar a probabilidade de aceitar de um lote de baixa qualidade.

O nível de Significância, ou valor α , é a probabilidade do erro tipo I ocorrer, ou seja, rejeitar indevidamente a hipótese nula. Por exemplo, a hipótese nula é rejeitada se o $\alpha \leq 0,05$, o que significa 95% de confiança da hipótese nula ser verdadeira.

O P-Valor é o menor nível de significância que levaria à rejeição da hipótese nula H_0 . Ele fornece mais informação sobre a evidência contra H_0 que o valor α e pode ser calculado por:

$$P = \begin{cases} 2[1 - \Phi(|Z_0|)] & \text{para o teste bilateral} \\ 1 - \Phi(Z_0) & \text{para o teste superior} \\ \Phi(Z_0) & \text{para o teste inferior} \end{cases} \quad (3.5)$$

Onde $\Phi(Z)$ é a função da distribuição acumulada da normal padrão.

Nem sempre é fácil calcular exatamente o P-Valor, no entanto, esse cálculo pode ser facilmente realizado por ferramentas que apoiam o CEP. Nos estudos de caso do presente trabalho os cálculos foram realizados a partir da ferramenta Minitab.

3.7 Coeficiente de correlação

O uso de alguns gráficos convencionais de controle estatístico torna-se inapropriado caso haja dependência entre as observações das características de interesse. Porém, alguns gráficos podem ser usados ainda que a hipótese de independência seja violada, num grau fraco ou moderado.

O coeficiente de correlação é a medida do grau de dependência linear entre duas variáveis. Há várias fórmulas de cálculo, sendo o Coeficiente de Pearson a mais simples e conhecida. De acordo com Meyer, Meyer [1983], o *Coeficiente de Pearson* é definido por: Seja (X, Y) uma variável aleatória bidimensional. ρ_{xy} é o *coeficiente de correlação* entre X e Y, dado por:

$$\rho_{xy} = \frac{E[X - E(X)][Y - E(Y)]}{\sqrt{V(X)V(Y)}} = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.6)$$

Para verificar a autocorrelação, o cálculo do coeficiente é dado por:

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(X_t, X_{t-k})}{\sigma_{x_t}}, k = 0, 1, \dots \quad (3.7)$$

Onde t é o instante da observação.

O valor de ρ_{xy} está sempre entre -1 e 1. $\rho_{xy} > 0$ significa que o comportamento de X é diretamente proporcional ao comportamento de Y, ou seja, se X cresce Y também cresce, o que é conhecido como correlação positiva. $\rho_{xy} < 0$ significa que o comportamento de X é inverso ao de Y, ou seja, se X cresce Y decresce, o que é conhecido como correlação negativa. Quanto maior o valor absoluto de ρ_{xy} mais forte é a correlação e $\rho_{xy} = 0$ corresponde a inexistência de correlação. Vamos considerar **o valor absoluto** do coeficiente de correlação $0 \leq \rho < 0,4$ fraco, $0,4 \leq \rho < 0,7$ moderado e $0,7 \leq \rho \leq 1$ forte, Shimakura [2006]. Segundo Junior, Junior & ten Caten [2004], quando a autocorrelação fraca é próxima de zero, geralmente ela não é significativa, e as técnicas de CEP tradicional podem ser utilizadas. Vamos considerar próxima de zero a autocorrelação com Pearson $\rho \leq 0,09$.

O diagrama de dispersão é um gráfico útil para a identificação de correlações potenciais entre duas variáveis. É construído plotando X_i versus Y_i para $i = 1, 2, \dots, n$. Os pontos do diagrama de dispersão indicam que quanto menos dispersos e mais aproximados de uma reta mais forte é a correlação. Salientamos que correlação não implica necessariamente em causalidade.

As figuras seguintes ilustram dois diagramas de dispersão. A figura 3.5 apresenta uma correlação forte, cujo coeficiente é 0,83 e a figura 3.6 apresenta uma correlação fraca, cujo coeficiente é 0,16.

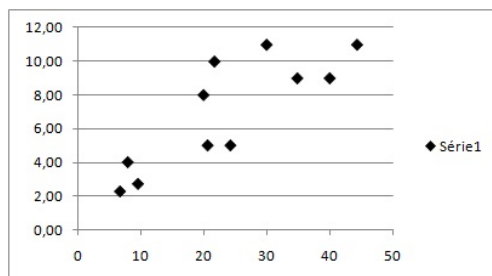


Figura 3.5: Correlação Forte

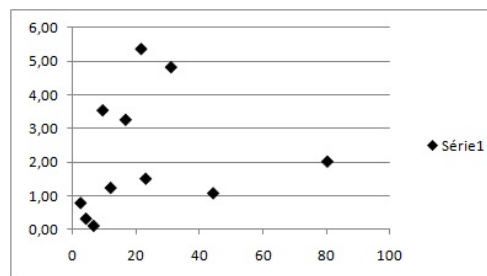


Figura 3.6: Correlação Fraca

3.8 Testes de normalidade

Os dados devem ter uma distribuição normal para que o uso dos gráficos de Shewhart seja viável. Entre as propostas de testes de normalidade estão as de Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Ryan-Joiner (similar a Shapiro-Wilk). Os testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov são baseados em uma função de distribuição empírica e o teste de Ryan-Joiner é baseado na regressão e na correlação. Em geral, entre os testes baseados na função de distribuição empírica, o teste de Anderson-Darling tende a ser o mais utilizado, Minitab [2008]. Ele tem a vantagem de ser um teste mais sensível, por ser específico para cada distribuição, porém, o valor crítico precisa ser calculado para cada distribuição. A hipótese para o teste de Anderson-Darlin é definido como:

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{Os dados seguem uma distribuição especificada;} \\ H_1 &: \text{Os dados não seguem a distribuição especificada.} \end{aligned} \quad (3.8)$$

O teste de Anderson-Darlin é definido como:

$$\begin{aligned} A^2 &= -n - S, \text{ onde} \\ S &= \sum_{i=1}^n \frac{(2i-1)}{n} \ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_n + 1 - i)) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Onde F é a função cumulativa da distribuição e Y são os dados ordenados.

A hipótese que a distribuição é de uma determinada forma é rejeitada se a estatística A for maior que o valor crítico, NIST/SEMATECH [2010]. Como resultado do teste para distribuição normal, esperamos um P-Valor $> 0,005$, onde a hipótese nula é aceita, ou seja, a distribuição é normal. Esse teste é usualmente realizado com o apoio de um aplicativo de software. O presente trabalho utiliza a ferramenta Minitab para apoiar os testes, Minitab [2008].

3.9 Testes para detecção de situações fora-de-controle

Um gráfico de controle pode indicar que um processo encontra-se fora-de-controle quando um ou mais pontos se localizarem fora dos limites de controle ou quando os pontos exibirem algum padrão de comportamento não aleatório.

O comportamento não aleatório pode ser identificado se alguma sequência for

detectada. Uma sequência é uma fila de observações do mesmo tipo, é um comportamento cíclico ou tendencioso das observações. Por exemplo, se uma fila tem oito ou mais pontos consecutivos, de um mesmo lado da média, é muito provável que o comportamento do processo seja não aleatório.

Florac, Florac & Carleton [1999], cita 4 tipos de testes para detecção de situação fora-de-controle, referenciando *The Western Electric Handbook* e Montgomery acrescenta mais 6 tipos a esse conjunto de testes. Os 10 tipos de testes são apresentados a seguir e a figura 3.7 exemplifica os 4 primeiros.

Teste 1 Um ponto localizado fora dos limites de controle 3σ ;

Teste 2 Pelo menos dois pontos de três pontos consecutivos localizados entre 2σ e 3σ ;

Teste 3 Pelo menos quatro pontos de cinco pontos consecutivos localizados entre 1σ e 2σ ;

Teste 4 Pelo menos oito pontos consecutivos localizados de um mesmo lado da linha central (LC);

Teste 5 Seis pontos em uma sequência crescente ou decrescente;

Teste 6 Quinze pontos em sequência entre a linha central LC e 1σ (conhecido como zona C);

Teste 7 Quatorze pontos em sequência alternadamente para cima e para baixo;

Teste 8 Oito pontos em sequência de ambos os lados da linha central com nenhum entre a linha central LC e 1σ ;

Teste 9 Um padrão não-usual ou não aleatório de dados;

Teste 10 Um ou mais pontos perto de um limite de alerta ou de controle.

A escolha dos tipos de testes a serem usados deve ser feita durante o planejamento dos gráficos de controle. Segundo Champ, Champ & Woodall [1987], em gráficos de controle de Shewhart, com variáveis independentes, o uso concomitante dos testes 1, 2, 3 e 4 resultaram em um CMS sob controle de 91,25 contra 370 para o uso apenas do teste 1. Ou seja, uso de mais de um tipo de teste aumenta a sensibilidade dos gráficos para detectar causas atribuíveis, porém, aumenta também as possibilidades de alarmes falsos. Por isso, para o modelo CEP-S assumimos usar o Teste 1.

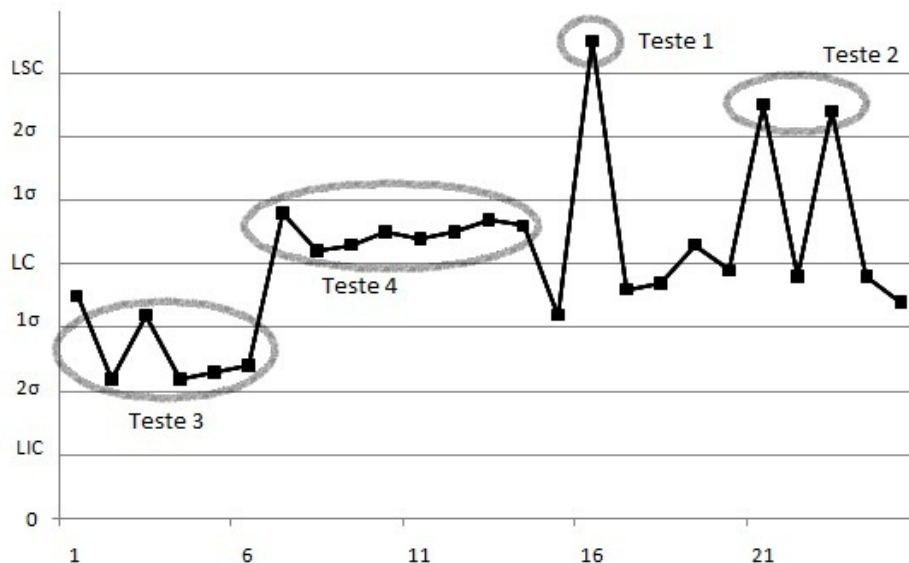


Figura 3.7: Testes de controle

3.10 Gráficos de controle X-Barra, S e R

O valor médio das características de qualidade, geralmente, é monitorado através do gráfico de controle \bar{X} e a variabilidade através do gráfico da amplitude R ou do desvio padrão S . Tais gráficos estão entre as técnicas mais importantes de monitoramento de processos. Para a aplicação desses gráficos é preciso que as amostras tenham uma distribuição normal e que as observações individuais sejam independentes. Vários outros autores assumem que a distribuição da característica de qualidade tem uma boa aproximação da distribuição normal, devido ao Teorema do Limite Central. Esse teorema assume que a distribuição da soma de n variáveis aleatórias independentes é aproximadamente normal, independentemente das distribuições individuais das variáveis. A aproximação melhora à medida que n aumenta. Assim, considera-se que o tamanho n da amostra é suficientemente grande quando n é superior a 30 observações.

O gráfico \bar{X} é construído de acordo com a equação 3.1, apresentada na Seção 3.2 do presente Capítulo. É bastante razoável assumir a hipótese de normalidade para esse gráfico. Ele é eficiente para detectar moderados a grandes deslocamentos da média do processo, na ordem de 2σ a 3σ , quando o tamanho das amostras for pequeno, com $n = 4, 5$ ou 6 observações. Para que ele seja eficiente em detectar pequenos deslocamentos, $< 2\sigma$, são necessárias amostras de tamanhos maiores, com n de 15 a 20 observações.

Para o gráfico R , a hipótese de normalidade não é aplicável. A distribuição amostral de R não é simétrica, mesmo se a população tiver distribuição normal. Logo, o risco α de R não é 0,0027 para $L=3\sigma$. Esse gráfico é insensível para amostras pequenas

e pouco eficiente para amostras grandes, com $n > 10$ observações.

Os gráficos \bar{X} e S são preferidos quando as amostras forem moderadamente grande, com n de 10 a 12 observações, ou quando elas forem de tamanho variável.

Em desenvolvimento de software, as amostras são, na maioria, de tamanho $n = 1$ observação. Logo, os gráficos \bar{X} , R e S , ainda que sejam as técnicas mais utilizadas em CEP, não são os mais adequados para CEP de desenvolvimento de software. Uma alternativa de Shewhart para amostras de tamanho $n = 1$ observação é o gráfico $\bar{X}I$, que será apresentado na Seção seguinte.

3.11 Gráfico de controle X Barra-Individual

O gráfico de controle de Shewhart para amostras de tamanho $n = 1$, o $\bar{X}I$, se constitui como alternativa ao uso dos gráficos convencionais, cujas amostras são de tamanho $n > 1$. Para que o seu uso seja viável é necessário, assim como nos gráficos convencionais, que as amostras sejam independentes e que a distribuição seja normal. A não normalidade da distribuição das amostras afeta drasticamente os parâmetros de controle e os limites de 3σ tornam-se inapropriados. Além disso, o gráfico $\bar{X}I$ é apropriado para quando a magnitude do deslocamento na média do processo for de moderada a grande, $> 2\sigma$. Se desejarmos detectar pequenos deslocamentos na média do processo, os gráficos da soma cumulativa e da média móvel exponencialmente ponderada são mais apropriados. A equação 3.10 apresenta os parâmetros para a construção do gráfico $\bar{X}I$:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{x} + 3\frac{\bar{M}R}{d_2} \\ LC &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - 3\frac{\bar{M}R}{d_2} \end{aligned} \tag{3.10}$$

Onde $\bar{M}R$ é a média da amplitude móvel e MR_i é calculado pela equação 3.11:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \tag{3.11}$$

Para amplitude móvel entre duas amostras, $n = 2$, temos $d_2 = 1,128$.

3.12 Gráficos de controle para não-conformidades (Defeitos)

Os gráficos para controle de número de defeitos são muito utilizados em serviços e em melhorias de processos não industriais, onde as características de interesse são, em geral, mensuráveis em uma escala não numérica. Esses gráficos, são conhecidos como gráficos para controle de atributos e são menos precisos que os gráficos para o controle de variáveis. Montgomery apresenta três gráficos de controle de atributos amplamente usados:

- Gráfico de controle para fração não-conforme p
- Gráfico de controle para não-conformidades c ;
- Gráfico de controle para não-conformidades por unidade u .

O gráfico de não-conformidades por unidade, gráfico u , é adequado para os controles onde os tamanhos das amostras são variáveis. Em atividades de garantia da qualidade em desenvolvimento de software, como inspeções, testes e revisões em pares, as amostras têm tamanhos variados, sendo esse gráfico, portanto, adequado.

A equação 3.12 é usada para a construção do gráfico u :

$$\begin{aligned}
 LSC &= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \\
 LC &= \bar{u} \\
 LIC &= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Onde $\bar{u} = \frac{\sum \text{Defeitos}}{\sum \text{Amostras}}$ e o valor plotado é o $\frac{\text{Defeitos}_i}{\text{Amostra}_i}$

3.13 Gráfico MMEP

Montgomery descreve dois gráficos para controle estatístico de processos, que se constituem como alternativas mais eficazes que os gráficos de controle de Shewhart para deslocamentos de magnitudes inferiores a 2σ , e em particular para tamanho de amostra $n = 1$, que são: Soma Cumulativa (CUSUM) e Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP). Esse último, de acordo com autor, é mais fácil de estabelecer e operar que o primeiro, é insensível à hipótese de normalidade e ideal para observações

individuais, sendo quase um procedimento não paramétrico (livre de distribuição). Ele é construído plotando Z_i versus o número da amostra i , onde Z_i é definido como:

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \quad (3.13)$$

Onde $0 < \lambda \leq 1$ é a constante e o valor inicial Z_0 é o alvo do processo, $Z_0 = \mu_0$. Os parâmetros do gráfico MMEP são definidos como:

$$\begin{aligned} LSC &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \\ LC &= \mu_0 \\ LIC &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \end{aligned} \quad (3.14)$$

3.14 Histograma e Gráfico de Pareto

O histograma é uma representação gráfica da distribuição de frequência, normalmente um gráfico de barras verticais, onde as variáveis de interesse são plotadas no eixo horizontal e no eixo vertical é plotado o percentual de observações ou a frequência de ocorrência de cada variável. Ele permite ver mais facilmente a posição ou tendência central e o espalhamento ou dispersão dos dados. Um exemplo de histograma é apresentado na figura 3.8. No eixo horizontal estão as categorias dos “Tipos de Defeitos” e no eixo vertical o número de defeitos de cada tipo.

O gráfico de Pareto, cuja análise também é conhecida como o princípio 20/80, é um histograma de atributos, onde as categorias são ordenadas decrescentemente. Ele foi proposto por Vilfredo Pareto (um economista) que, ao analisar a sociedade, concluiu que grande parte da riqueza se concentrava na mão de um número reduzido de pessoas. Em seguida, concluiu que esse princípio era válido para vários fenômenos, e estabeleceu a análise de Pareto, a qual afirma que 80% das consequências advêm de 20% das causas. Aplicando esse princípio para os defeitos em desenvolvimento de software, teríamos 20% das causas gerando 80% dos defeitos. Considerar esse princípio é importante para direcionar os esforços em ações de melhorias, enfocando os 20% das causas para resolver 80% dos problemas. A figura 3.9 apresenta um exemplo do gráfico de Pareto. A construção é realizada a partir do histograma, plotando os dados em ordem decrescente, e adicionando uma curva da porcentagem acumulada de participação de cada categoria.

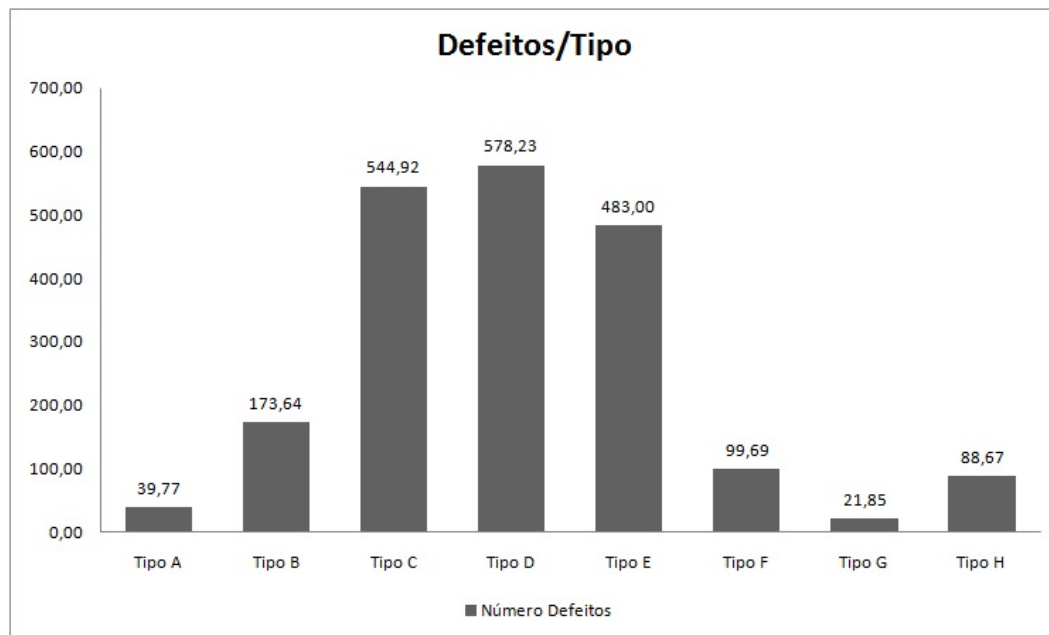


Figura 3.8: Exemplo de Histograma - número de defeitos por tipo

Tanto o Histograma quando o gráfico de Pareto podem apoiar a aplicação do modelo CEP-S. Eles podem ser utilizados em conjunto, por exemplo, com o gráfico u , para analisar quais tipos defeitos ocorrem com maior frequência.

3.15 Capacidade do processo

A capacidade do processo refere-se a habilidade do processo de produzir itens conformes, ou seja, de acordo com as especificações dos clientes, legais, do projeto, etc. Ela pode ser expressa quantitativamente de forma simples por um índice de capacidade do processo, C_p , que indica o quanto o processo atende às especificações, e é dado por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (3.15)$$

Onde LSE e LIE são os limites de especificação superior e inferior, respectivamente.

C_p é um parâmetro adimensional que pode indicar a quantidade de falhas no processo, caso as seguintes considerações sejam atendidas: (i) a característica de qualidade deve ser normalmente distribuída; (ii) o processo deve estar sob controle; (iii) a média do processo deve estar centrada entre os limites de especificação superior e inferior. Caso essas condições não sejam satisfeitas, C_p não pode ser usado para indicar a quantidade de falhas no processo. Essa quantidade é comumente expressa em defeitos

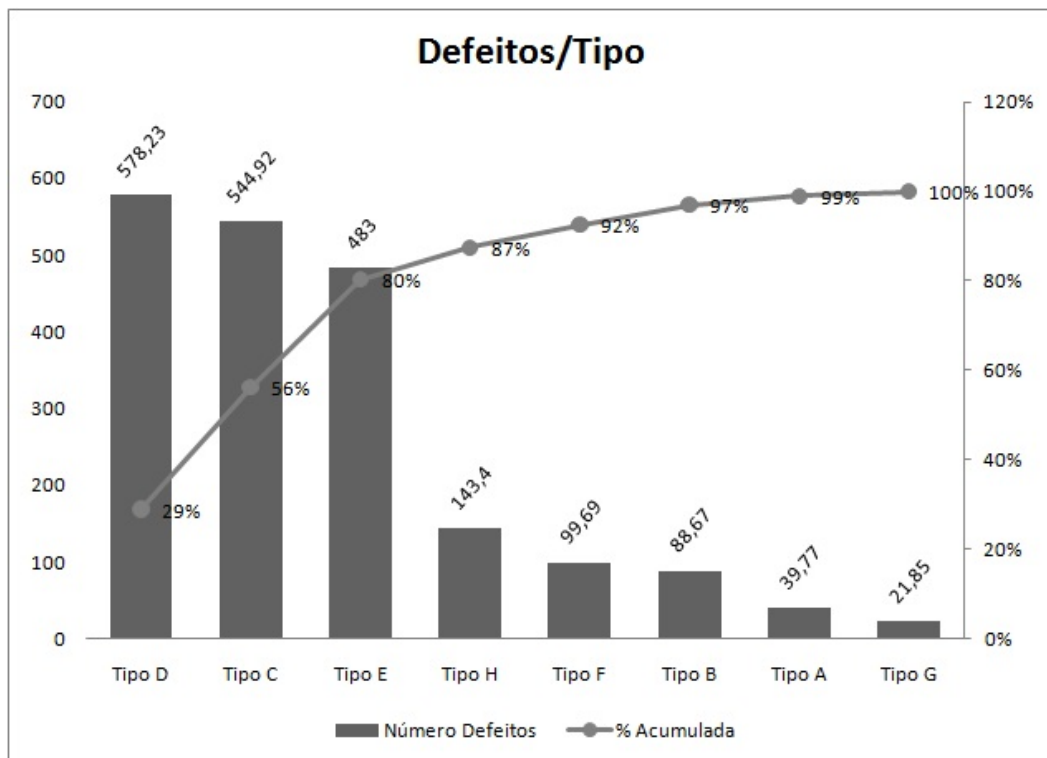


Figura 3.9: Exemplo de Diagrama de Pareto - número de defeito por tipo

por milhões de peças (ppm). A tabela 3.3 apresenta alguns valores C_p e os respectivos ppm.

C_p	ppm
0,25	453.255
0,50	133.614
1,00	2.700
1,50	7
2,00	0,0018

Tabela 3.3: Estimativa de ppm para C_p

3.16 Gráfico de custo benefício

O gráfico de custo benefício consiste no cálculo da taxa de retorno em relação ao valor investido. No modelo CEP-S é proposto para analisar até quando o custo do esforço com as atividades de testes vale o benefício de encontrar mais um defeito (ou não-conformidade). Para tanto, usaremos o número de defeitos encontrados *versus* HH (homem hora). A figura 3.10 apresenta um exemplo de gráfico para análise de custo

benefício. No eixo horizontal plota-se o tempo decorrido em horas e no eixo vertical plotam-se o as quantidades acumuladas de defeitos encontrados e de HH em cada instante.

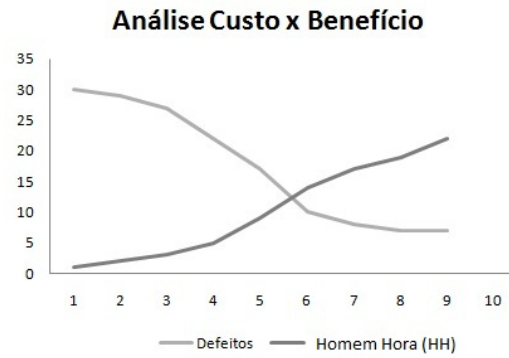


Figura 3.10: Exemplo de gráfico para análise de custo x benefício

Capítulo 4

O Modelo CEP-S

O Modelo CEP-S auxilia a aplicação de CEP nas PME que prestam serviços de desenvolvimento de software vertical sob encomenda. É importante ressaltar que o esforço de preparação para a aplicação de CEP é considerável e que o modelo se restringe a organizações capazes de planejar e executar efetivamente um plano de medição e de realizar ações efetivas de melhorias. Esses pré-requisitos são os meios para garantir a geração de dados confiáveis e a estabilização dos processos. O modelo propõe quatro ideias estruturadoras que formam a base das contribuições:

- Visualização das atividades dos processos alvo de CEP em uma estrutura composta por três categorias: atividade fim, atividade de garantia de qualidade e atividade de retrabalho. Essa visualização favorece a identificação de um conjunto de características de interesse significativas estrategicamente e normalizadas;
- Vamos assumir que o desenvolvimento de software ocorre em projetos, ou seja, em uma aplicação de um esforço temporário, com início e fim, para produção de um produto ou serviço exclusivo, nesse caso, o aplicativo de software. Logo, a segunda consideração é a divisão do projeto de software em partes menores, por algum agrupador: módulos do sistema, casos de uso ou outro agrupador que a organização visualizar. Essa definição favorece a redução da restrição de quantidade de dados para o controle estatístico;
- Identificação de características de qualidade com foco no processo e não no produto, baseadas no esforço e não na taxa de defeitos, sendo assim mais significativas. Também apresenta a identificação de características que permitem o controle estatístico para as fases de produção e manutenção do software;

- Uso combinado de gráficos de controle eficazes para grandes e pequenas magnitudes de desvios da média. Além da proposta de combinação dos gráficos, o presente trabalho apresenta sugestões para a definição dos parâmetros de controle e para os testes de estabilidade.

A proposta do modelo CEP-S é fornecer um arcabouço com escolhas pré-definidas, próprias para os processos de desenvolvimento de software, para tornar a aplicação de CEP em PME facilitada, favorecendo as investidas iniciais nas atividades de controle estatístico. Esse arcabouço complementa os guias de referência de aplicação de CEP, como apresentados em Florac & Carleton [1999]; Costa et al. [2008]; Montgomery [2004], entre outros, com as contribuições citadas acima. A Figura 4.1 apresenta as atividades propostas para a aplicação de CEP, divididas em planejamento e execução. As contribuições apresentadas acima são detalhadas ao longo da descrição dessas atividades, nas próximas seções.

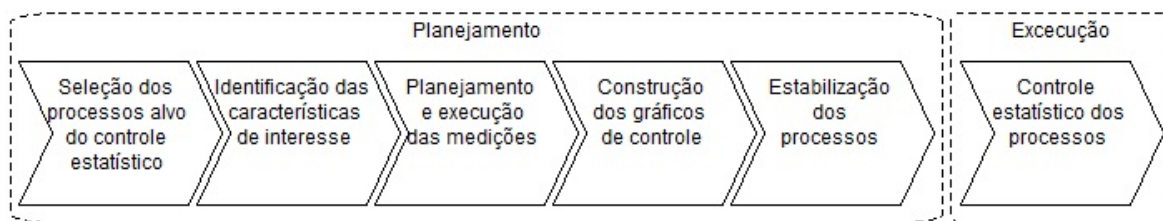


Figura 4.1: Visão das atividades para aplicação de CEP

As atividades de preparação para a execução do CEP estão agrupadas na etapa de planejamento, como apresentada na figura 4.1. A Seção 4.1 detalha a atividade de seleção dos processos e uma visão de como tais processos são organizados para a execução das medições, os conceitos envolvidos e as personalizações necessárias para a adaptação do modelo CEP-S aos processos das organizações. Em seguida, na Seção 4.2, as características de interesse são identificadas, juntamente com as convenções e os procedimentos que descrevem a forma pela qual tais atributos devem ser mensurados e como selecioná-los para cada organização. Seção 4.3 apresenta os passos para o planejamento e execução das medições. A Seção 4.4 apresenta um mecanismo para a organização escolher os gráficos de controle de acordo com os dados coletados e definir os parâmetros de controle e os testes de estabilidade. Na Seção 4.5, as atividades para estabilização dos processos são apresentadas. O processo estável permite o cálculo dos parâmetros de controle que conduzirão o controle estatístico. No momento em que os processos se tornam estáveis é possível iniciar a execução do CEP, que consiste nas atividades: coleta e plotagem dos dados, testes de controle, investigação de causas

atribuíveis, aplicação de melhorias e exclusão de dados afetados por causas atribuíveis. Essa execução é apresentada na Seção 4.6.

4.1 Seleção dos processos alvo do controle estatístico

“85% de todos os problemas organizacionais são devido aos processos, aos mecanismos de controle e às estruturas, os demais 15% são relativos às pessoas. O mapeamento dos processos pode evidenciar tais problemas.”

Madison [2005]

Este trabalho define uma proposta de controle estatístico para os processos de Requisitos e de Implementação. A seleção desses considerou quais dos processos de desenvolvimento de software são importantes e influenciam fortemente o sucesso do negócio e, se limitou apenas a dois, visto que CEP deve se restringir a um número pequeno de processos, apenas os estratégicos para a organização. Porém, apesar de, em números, serem poucos processos, os selecionados, na visão que será apresentada, correspondem à maior parte do esforço total do desenvolvimento de software, portanto, significativos para a organização desenvolvedora de software. A ideia inicial estruturadora do modelo CEP-S é pensar em cada um desses processos como composto pelas seguintes atividades:

- Atividade fim;
- Atividade de garantia da qualidade do produto;
- Atividade de retrabalho (correções em produção e manutenções corretivas).

A visão dos processos de Requisitos e Implementação divididos em três atividades, fim, de garantia da qualidade e de retrabalho, e do projeto de desenvolvimento de software dividido por algum *agrupador* permitirá a definição das medidas básicas para derivação das características de interesse. As medidas definidas, de acordo com a visão estabelecida, são: o tamanho por unidade de produto, medido por agrupador; o esforço realizado (em horas ou minutos) e o número de não-conformidades (ou defeitos) medidos separadamente por processo (Requisitos e Implementação), por agrupador (caso de uso, módulo do sistema ou outro que a organização definir) e por categoria de atividade (fim, de garantia da qualidade e de retrabalho).

As características de interesse, derivadas das medidas básicas citadas, para serem comparadas precisam ser normalizadas, ou seja, ser homogêneas. Ao se comparar o esforço do processo de Requisitos não é desejável que esse esforço seja composto também

pelo esforço, por exemplo, do processo de modelagem de negócio, principalmente porque esse último pode não estar distribuído homogeneamente por agrupador. Por isso, delimitamos o que entendemos por processos de Requisitos e Implementação, a partir da visão do processo de desenvolvimento de software definidos a seguir e do escopo de suas respectivas atividades. Além da visão dos processos, apresentamos também algumas considerações e sugestões para personalizar o modelo CEP-S de acordo com as organizações.

4.1.1 Visão dos processos alvo de CEP

A figura 4.2 apresenta a visão dos processos e das atividades do desenvolvimento de software proposta pelo modelo CEP-S. Esses processos e atividades encontram-se distribuídos em três fases: Pré-produção, Produção e Pós-produção. A fase Pré-produção é composta pelo processo de Venda. A fase Produção é composta pelos processos de Modelagem de negócio, Requisitos, Projeto Arquitetural, Implementação, Implantação e Suporte ao Desenvolvimento. A fase Pós-produção é composta pelos processos de Manutenção e Suporte ao Usuário.

Os processos e as atividades exibidos na fase “Produção” são baseados no RUP, um framework proprietário, que provê muitas das melhores práticas conhecidas para o desenvolvimento de software. O RUP foi utilizado no presente trabalho com a finalidade única de ser uma referência para a definição da visão apresentada, mas isso **não** significa que seu uso é pré-requisito para aplicação do modelo CEP-S.

A visão aqui proposta faz referência a todas essas disciplinas do RUP, porém as reorganiza de forma diferente, para refletir a ideia estruturadora apresentada. As medidas básicas usadas para derivar as características de interesse dependem dos agrupamentos corretos dessas disciplinas na visão estabelecida. Por isso, optamos por mostrar na visão todas as disciplinas, mesmo as que não fazem parte do controle estatístico, na tentativa de evidenciar a reorganização proposta, apresentando o escopo e o contra-escopo dos processos selecionados.

Alteramos a disciplina de Implementação para ser vista como um processo composto pela disciplina de Testes. Evidenciamos a atividade de revisão, relativa à garantia de qualidade do processo Requisitos. Essas alterações definem o processo de modo a atender à necessidade de cada um ser composto pelas três categorias de atividades, a atividade fim, de garantia da qualidade e de retrabalho. Como a disciplina de Implementação foi “promovida” à processo, foi necessário promover também as disciplinas Modelagem de Negócio, Requisitos, e Implantação, pois todas essas devem ter o mesmo nível de abstração no processo visualizado. A disciplina Análise e Projeto foi dividida,

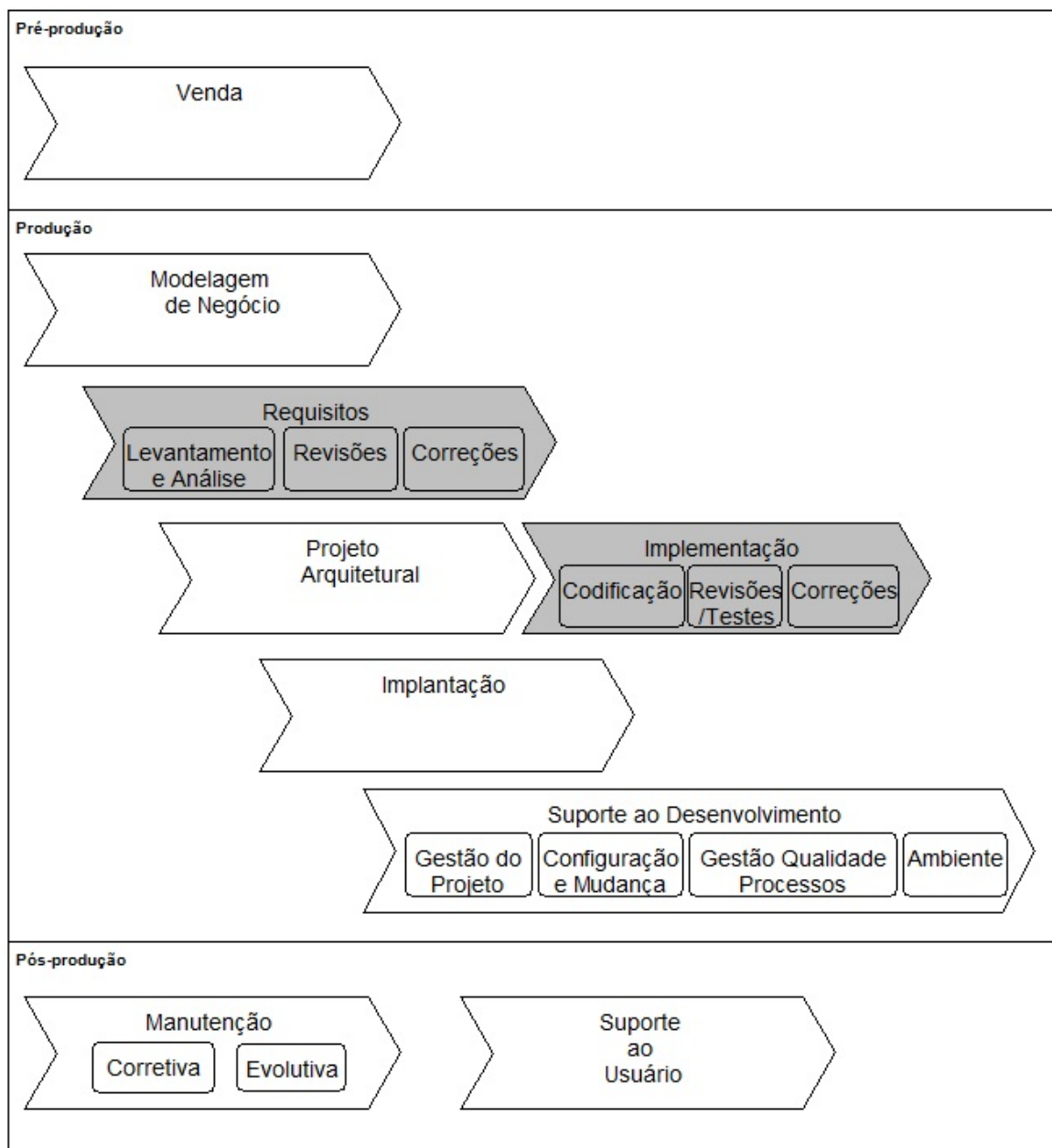


Figura 4.2: Visão dos processos de desenvolvimento de software

parte no processo denominado Projeto Arquitetural e parte na atividade de Levantamento e Análise do processo de Requisitos. Essa reorganização objetivou separar as tarefas que podem ser distribuídas por agrupador (análise) das tarefas que não são por agrupador e sim por projeto (arquitetura).

No RUP, a Gestão da Qualidade é apresentada como responsabilidade da disciplina de Gerenciamento de Projetos, não sendo explicitada como uma disciplina distinta. Na visão proposta, a Gestão da Qualidade foi dividida em atividades de garantia

da qualidade do produto e atividades de garantia da qualidade do processo. As atividades de garantia da qualidade do produto foram evidenciadas nos processos de Requisitos e Implementação, como já citado. A atividade de garantia da qualidade do processo foi evidenciada no processo de Suporte ao Desenvolvimento, como atividade distinta da Gestão do Projeto. Essa reorganização objetivou identificar que tipo de atividade de garantia da qualidade deve ser considerada nos processos de Requisitos e Implementação. Os processos de Venda, Manutenção e Suporte ao Usuário não são tratados pelo RUP, mas foram evidenciados devido à proposta de exibir o contra-escopo do controle estatístico. Os esforços de execução desses processos devem ser considerados distintos dos processos de Requisitos e Implementação.

E, por fim, como última alteração, as atividades de manutenção corretiva e manutenção evolutiva foram apresentadas distintamente, para permitir a derivação das características de interesse que dependem do esforço executado apenas na atividade de manutenção corretiva. O IEEE [1998] define o processo de manutenção como sendo as modificações de um produto de software após a entrega desse, geralmente para corrigir defeitos, melhorar o desempenho ou outros atributos, ou adaptar o produto a um ambiente diferente. Classifica a manutenção em quatro tipos: **manutenção corretiva** para corrigir as falhas/defeitos descobertos após a entrega; **manutenção adaptativa** para acomodar mudanças no ambiente externo ou nas regras de negócio; **manutenção perfectiva/evolutiva** para melhorar o desempenho ou a manutenibilidade ou incorporar novas funcionalidades; **manutenção emergencial** para manter o software operacional - é uma manutenção não planejada. O foco do presente trabalho é separar o esforço de retrabalho cujo custo é da empresa contratada para desenvolver o software do esforço de retrabalho cujo custo pode ser repassado ao cliente. Logo, consideramos aqui apenas a divisão **manutenção corretiva**, relativa aos erros no processo de desenvolvimento de software (manutenção corretiva ou emergencial de acordo com o IEEE) e a **manutenções evolutiva**, relativa às novas solicitações do cliente (manutenção perfectiva ou adaptativa de acordo com o IEEE).

4.1.2 Visão das atividades dos processos alvo de CEP

A tabela 4.1 apresenta a estrutura proposta de divisão dos processos alvo de CEP instanciada para os processos de Requisitos e Implementação. As respectivas atividades são detalhadas a seguir, com o objetivo de delimitar o escopo a ser considerado em cada uma.

Atividades do Processo de Requisitos

Levantamento e Análise: o Levantamento e Análise têm por objetivo obter o enun-

Processos	Atividade Fim	Garantia da Qualidade	Retrabalho
Requisitos	Levantamento e Análise	Revisões	Correções em Produção e Manutenções Corretivas
Implementação	Codificação	Revisões e Testes	Correções em Produção e Manutenções Corretivas

Tabela 4.1: Atividades dos processos alvo de CEP

ciado completo, claro e preciso dos requisitos de um produto de software e modelar de forma precisa os conceitos relevantes do domínio do problema.

Revisões: as Revisões têm por objetivo garantir a qualidade dos artefatos produzidos pelo Levantamento e Análise. De acordo com o IEEE, IEEE [1997], é um processo ou uma reunião durante a qual um produto de software é apresentada ao projeto pessoal, gerentes, usuários, clientes, representantes de usuários, ou outras partes interessadas para comentários ou aprovação. Classifica as revisões em quatro tipos: **auditoria** - um exame independente de um produto de software, processos de software, ou conjunto de processos de software para avaliar a conformidade com as especificações, normas, acordos contratuais ou outros critérios; **inspeção** - inspeção visual de um produto de software para detectar e identificar anomalias no software, incluindo os erros e desvios dos padrões e especificações. As inspeções são exames de pares liderado por facilitadores imparciais que são treinados em técnicas de inspeção. A determinação de recursos para a reparação ou a investigação de uma anomalia é um elemento obrigatório, embora a solução não deve ser determinada na reunião de inspeção; **revisão técnica** - avaliação sistemática de um produto de software por uma equipe de profissionais qualificados que examina a adequação do produto de software para o uso pretendido e identifica discrepâncias das especificações e normas. Essas avaliações devem prover recomendações alternativas; **walk-through** - técnica de análise estática na qual um projetista ou programador leva os membros da equipe de desenvolvimento e outras partes interessadas através de um produto de software, e os participantes fazem perguntas e fazer comentários sobre possíveis erros, violação de padrões de desenvolvimento, e outros problemas.

Correções: as Correções têm por objetivo corrigir os defeitos/falhas apontadas pelas revisões ou pelo usuário final (após o produto ser implantado em produção).

Atividades do Processo de Implementação

Codificação: a Codificação tem por objetivo codificar as funcionalidades, de acordo com os insumos recebidos dos processos de Requisitos e Análise e Projeto Arquitetural, realizar os testes de unidade e integrar os resultados produzidos.

Testes: os Testes tem por objetivo garantir a qualidade dos artefatos produzidos na implementação, avaliando se o que foi definido em Requisitos e Análise e no Projeto Arquitetural foi produzido. Todas as atividades relativas à garantia da codificação devem ser consideradas como Testes, exceto os testes de unidade, que serão considerados como codificação. Essa consideração visa simplificar a alocação de horas em cada categoria visando alocações de horas mais consistentes;

Correções: as Correções têm por objetivo corrigir as falhas apontadas pelos testes ou pelo usuário final após implantação do produto. Não devem ser consideradas as correções de testes de unidade, visto que elas foram consideradas na atividade de codificação.

4.1.3 Considerações

A organização deve escolher os processos alvo de CEP de acordo com os objetivos estratégicos. A necessidade desse alinhamento é justificada pelo fato de que a aplicação de CEP pode apontar necessidade de mudanças nos processos organizacionais decorrentes da identificação de desperdícios, falhas de produção ou otimizações. Mudanças nos processos internos podem impactar a cultura organizacional e para que sejam efetivas é necessário que o diretor executivo (CEO¹) ou a alta gerência comunique e demonstre regularmente seu engajamento, aloque os recursos apropriados, comprometendo pessoal e esforço, e priorize as mudanças. Melhorias de processos, se movidas por iniciativas isoladas, sem o comprometimento da alta gerência tendem ao fracasso. O engajamento do CEO ou da alta gerência se dá pelos objetivos estratégicos. A importância do engajamento da alta gerência para o sucesso de aplicações de CEP e de melhorias de processo é enfatizado em vários modelos de melhorias como CMMI, MPS.BR, SixSigma e PDCA.

A organização que opta por ser aderente ao MPS.BR para a melhoria de seus processos, implantará o processo de Medição (MED) no nível F, o segundo nível de maturidade. Porém, o MPS.BR exige os atributos de processo (AP) de medição e controle somente a partir do nível B, os quais preveem técnicas quantitativas e estatísticas para controlar os processos e a qualidade. Logo, o Modelo CEP-S é útil para as organizações que buscam o nível B do MPS.BR, porém estar a caminho desse nível (B) não

¹Chief executive officer (CEO)

é um pré-requisito para a aplicação do presente modelo, e sim ser capaz de planejar e executar efetivamente um plano de medição e de realizar ações efetivas de melhorias.

O modelo CEP-S foi projetado de modo a permitir sua aplicação em cada um dos processos de Requisitos e Implementação de forma independente, logo, um ponto de simplificação é aplicá-lo em apenas um dos processos. A organização pode optar por iniciar o controle estatístico apenas pelo processo de Requisitos ou apenas pelo processo de Implementação.

Um ponto de extensão do modelo CEP-S é a inclusão de outros processos no controle estatístico, indo além dos processos Requisitos e Implementação. Um exemplo de extensão do modelo é a aplicação de CEP no processo de Projeto Arquitetural, quando esse for significativo (em esforço ou complexidade ou importância) para a organização. Para isso, a organização deve, como primeiro passo, para o processo a ser incluído, ter a capacidade de visualizar distintamente as atividades nas três categorias: atividade fim (produção), atividade de garantia da qualidade do produto e atividade de correções.

A visão dos processos distingue as atividades de garantia da qualidade dos produtos das atividades de garantia da qualidade dos processos. A garantia da qualidade dos produtos corresponde às atividades de revisões e testes de software. Evidenciamos tais atividades apenas para os processos Requisitos e Implementação. Para os demais processos tais atividades não foram evidenciadas, fato esse que não as tornam desnecessárias. A atividade garantia da qualidade dos processos, incluída no processo Suporte ao Desenvolvimento, trata das auditorias que verificam e validam se as atividades e artefatos produzidos estão em conformidade dos processos definidos pela organização.

Os testes de unidade compõem a atividade de codificação. Essa abordagem também é utilizada pelo RUP e favorece muito a coleta do esforço nas três atividades, codificação, testes de unidade e correções, visto que, geralmente elas são executadas por um mesmo executor e indistintamente no tempo. A execução dessas três atividades, caso realizadas por um único profissional de desenvolvimento, tende a se misturar num mesmo período de tempo, tornando ineficiente e propícia a erros a coleta dos esforços de realização de cada uma separadamente.

Os processos Modelagem de Negócio e Projeto Arquitetural podem ser vistos indistintamente dos processos Requisitos e Implementação, respectivamente, em algumas PME, onde o número de funcionários é pequeno para que cada um desempenhe um único papel. O fato de um profissional desempenhar mais de um papel pode trazer essa indistinção, principalmente quando algumas atividades ocorrem simultaneamente ou próximas, são de papéis distintos, mas realizadas por profissionais não distintos. Visualizar tais processos distintamente pode favorecer a corretude das análises dos dados de esforços coletados, visto que favorece a homogeneidade das atividades.

4.1.4 Guia de personalizações

“Um único processo não serve a todo tipo de empresa.”

Araújo & Meira [2004]

Esta Subseção apresenta possíveis configurações para a visão proposta, com o objetivo de orientar a personalização da mesma, conforme necessidade ou preferência da organização, para os processos de Requisitos e Implementação, em função dos demais processos ou atividades que podem influenciá-los.

4.1.4.1 Processo de Requisitos

Modelagem de Negócio: caso a organização execute indistintamente os processos Modelagem de Negócio e Requisitos ainda assim é possível aplicar o controle estatístico no processo de Requisitos. Porém, como já citado, essa indistinção pode distorcer a caracterização das atividades do processo de Requisitos se as horas executadas no processo Modelagem de Negócio forem distribuídas não uniformemente entre os agrupadores. O ideal é a organização planejar a execução das atividades de forma a visualizar distintamente tais processos ou garantir que a distribuição de cada uma por agrupador seja homogênea.

Revisões: a execução da atividade Revisões é pré-requisito para a aplicação do modelo CEP-S ao processo de Requisitos. Porém, não é indicado a inclusão de tal atividade em função apenas da aplicação do modelo. Ela deve ser incluída quando a organização definir atuar na garantia da qualidade dos produtos do processo de Requisitos e mostrar-se capaz dessa atuação, ou seja, a aplicação do modelo CEP-S deve ser considerada para quando as atividades da garantia da qualidade estiverem em uso pela organização.

4.1.4.2 Processo de Implementação

Testes de Integração ou Sistema ou Aceitação: é esperado que a organização realize atividade de testes de software e bastante desejado que tal atividade seja executada por uma equipe distinta da equipe que executa a atividade de implementação.

Caso a atividade de testes seja realizada, porém pela mesma equipe que executa a atividade de codificação, espera-se que as execuções de tais atividades sejam separadas por um marco, definido pela disponibilização em um ambiente de testes do pacote a ser testado. Isso viabiliza a alocação correta das horas nas atividades de codificação, testes e correção.

Caso a atividade de testes não seja realizada ou caso um único profissional seja o responsável por ambas as atividades, testes e codificação, e essas ocorrerem simultaneamente, sem distinção dos momentos, o modelo CEP-S não é aplicável. A indistinção do momento de execução das atividades testes e codificação pode acarretar indistinção nos registros das horas, impossibilitando a obtenção dos dados para aplicação do modelo CEP-S.

Antes das primeiras investidas em um modelo de controle estatístico de processo é recomendado que a organização execute a atividade de testes durante os projetos de desenvolvimento de software. A atividade de testes é pré-requisito para a aplicação do modelo CEP-S no processo de Implementação. Segundo AppLabs [2008], que discursa sobre o futuro dos testes de software, testes e garantia da qualidade irão se tornar mais importantes e adicionarão maior valor à medida que adotarmos arquiteturas e tecnologias que dão suporte ao negócio em seu objetivo de trazer produtos e serviços para o mercado tão rápido quanto possível, com o mínimo de riscos.

Testes de Unidade: a atividade de testes de unidade, como já citado, se for executada pelo mesmo profissional que executa a codificação, deve ser considerada como atividade de codificação e as respectivas horas de execução alocadas na categoria de codificação. Isso é uma visão simplificada para aplicação do modelo e completamente aderente ao RUP.

Caso a atividade de testes de unidade seja realizada por uma equipe distinta da equipe de codificação ou pela mesma equipe, porém, em momentos separados por um marco, o registro das horas de execução dessa atividade pode ser realizado na categoria de testes, distinto da codificação, como ocorre para os testes de integração, sistema ou aceitação.

Caso a atividade de testes de unidade não seja executada durante os projetos de desenvolvimento de software não há necessidade de incluí-la, ela não é um pré-requisito para a aplicação do modelo CEP-S.

Projeto Arquitetural: caso a organização execute indistintamente os processos Implementação e Projeto Arquitetural ainda assim é possível aplicar o controle estatístico no processo de Implementação. Porém, como já citado, essa indistinção pode distorcer a caracterização das atividades do processo de Implementação se as horas executadas no processo Projeto Arquitetural forem distribuídas não uniformemente entre os agrupadores. O ideal é a organização planejar a execução

das atividades de forma a visualizar distintamente tais processos ou garantir que a distribuição de cada uma por agrupador seja homogênea.

4.2 Identificação das características de interesse

Características de interesse são medidas referentes ao desempenho dos processos, que proveem informações para a gestão estratégica e podem ser atributos dos produtos ou dos processos, Florac & Carleton [2000]. A escolha adequada dessas características é um dos fatores de sucesso para o alcance dos objetivos estratégicos da organização. Este trabalho identifica um conjunto de características de interesse e apresenta um mecanismo para guiar a organização na seleção de um subconjunto de características, dentre as propostas, aquelas que estiverem alinhadas aos objetivos estratégicos. O mecanismo é baseado na proposta de Goethert, Goethert & Fisher [2003], a partir do guia *Goal-Driven Software Measurement*, conhecido como GQ(I)M, e do BSC. A Seção 4.2.1 apresenta as características de interesses e a Seção 4.2.2 apresenta o mecanismo para a seleção de um subconjunto dessas características.

4.2.1 As Características de interesse

A definição das características de interesse foi feita com base na necessidade de se ter medidas que refletissem o desempenho do processo, que tivessem alinhamento com os objetivos estratégicos, que fossem factíveis de serem coletadas e comparáveis entre si (normalizadas). Ressaltamos o comentário de Montgomery, Montgomery [2004], sobre a identificação das características de interesse, ao citar que, “... a aplicação de CEP em software demanda criatividade na escolha das variáveis a serem controladas... as medidas precisam ter mais foco em processos que em produto”. Essa afirmação considera a intangibilidade do produto final de software e a forte dependência da produção no fator humano. Porém, como vimos no Capítulo Revisão bibliográfica, a maioria dos trabalhos encontrados, relacionados à aplicação de CEP no desenvolvimento de software, define as características de interesse se restringindo à taxa de defeitos ou à taxa de não-conformidades das revisões, ou seja, com foco em produto e não nos processos. As características propostas constituem a terceira ideia estruturadora do modelo CEP-S, visto que grande parte delas se baseiam no esforço (em horas ou minutos) realizado nas atividades e não no número de não-conformidades (defeitos), o que provê informações mais significativas e homogêneas, além de serem relativas ao processo e não ao produto produzido. A figura 4.3 apresenta tais características, juntamente com as medidas básicas para suas derivações.

ID	Características	Medidas básicas
ReP	Correções Produção por Esforço Produção	$\frac{H \text{ Correções Produção}}{H \text{ Produção}}$
ReM	Manutenção Corretiva por Esforço Total	$\frac{H \text{ Manutenção Corretiva}}{H \text{ Produção} + H \text{ Manutenção Corretiva}}$
ReT	Retrabalho por Esforço Total	$\frac{H \text{ Retrabalho}}{H \text{ Produção} + H \text{ Manutenção Corretiva}}$
RMP	Manutenção Corretiva por Retrabalho	$\frac{H \text{ Manutenção Corretiva}}{H \text{ Correção Produção} + H \text{ Manutenção Corretiva}}$
PrP	Produtividade Produção	$\frac{\text{Tamanho Produto}}{H \text{ Produção}}$
PrT	Produtividade Total	$\frac{\text{Tamanho Produto}}{H \text{ Produção} + H \text{ Manutenção Corretiva}}$
PPP	Participação Processo em Produção	$\frac{H \text{ Produção}}{H \text{ Todos Processos}}$
PPT	Participação Processo Total	$\frac{H \text{ Produção} + H \text{ Manutenção corretiva}}{H \text{ Todos Processos} + H \text{ Todas Manutenções}}$
ICP	Índice de Capacidade do Processo	$\frac{LSE - LIE}{6\sigma}$
IEE	Índice Erro Estimativa	$\frac{H \text{ Produção} - H \text{ Produção Planejado}}{H \text{ Produção}}$
DeP	Defeitos Produção	$\frac{\text{Número de Não Conformidades}}{\text{Tamanho Produto}}$
DeM	Defeitos Manutenção	$\frac{\text{Número de Não Conformidades}}{\text{Tamanho Produto}}$

H = horas,
TamanhoProduto = Pontos de função, Ponto de Caso de Uso, Opinião de Especialistas,
LSE = Limite Superior de Especificação
LIS = Limite Inferior de Especificação
H Produção = H Atividade Fim + H Grantia Qualidade + H Retrabalho
H Retrabalho = H Correção Produção + H Manutenção Corretiva

Figura 4.3: Características de interesse

Das características propostas, *Defeitos Produção (DeP)* e *Defeitos Manutenção (DeM)* devem ser tratadas, para construção dos gráficos de controle, como atributos e as demais, como variáveis. O motivo da distinção entre variável e atributo e seus respectivos conceitos são apresentados no Capítulo 3.

A taxa de defeitos, apesar de ser a característica de interesse mais utilizada em

CEP de desenvolvimento de software, é uma medida pouco significativa para a base de estimativas da organização, pois não é homogênea de forma a permitir comparações entre unidades de produção distintas. Não é possível dizer que 500 defeitos em um projeto de 100 pontos de função ocasionaram um efeito pior, em termos de custo ou prazo, que 50 defeitos em um projeto também de 100 pontos de função. Isso porque cada defeito demanda um esforço diferente para ser corrigido. Para permitir que o impacto do retrabalho (defeitos ou não-confirmidade) fosse significativamente refletido, as características de interesse *Retrabalho Produção (ReP)*, *Retrabalho Manutenção Corretiva (ReM)*, *Retrabalho Total (ReT)* e *Retrabalho Manutenção por Retrabalho Produção (RMT)* foram propostas. Elas são significativas por serem derivadas do esforço de execução (horas ou minutos) e não do número de defeitos. Elas estão alinhadas a objetivos estratégicos que visam reduzir o custo da qualidade, reduzir desperdícios e avaliar a percepção do cliente/usuário em relação à qualidade do produto. Outro aspecto importante dessas características é que elas fornecem a visão de retrabalho tanto para a fase de produção quanto para a fase de manutenção. Não é significativo avaliar a qualidade do produto de software apenas para a fase de produção, imediatamente após disponibilização do mesmo para o uso, no término do projeto. É necessário que a fase de manutenção seja também avaliada pois, após um período em uso, o qual pode variar para mais ou menos tempo dependendo da intensidade desse uso, o software apresenta defeitos que precisam ser considerados no custo do projeto e que afetam a percepção da qualidade do produto pelo cliente. Logo, a característica ReT pode ser utilizada para o controle do esforço “perdido” com retrabalho na fase de produção. A característica ReM permite analisar a percepção de qualidade do produto pelo cliente, quando esse utiliza o software por um período e identifica defeitos ou não adequação ao uso. A característica RMT permite avaliar se as ações de garantia da qualidade estão sendo efetivas em detectar os defeitos e não conformidades durante a fase de produção comparados com a fase de manutenção. E por fim, a característica ReT avalia o esforço com retrabalho que a organização “despendeu” com todo o projeto (produção e manutenção).

A taxa de defeitos, mesmo sendo uma característica de interesse pouco adequada para CEP de desenvolvimento de software, devido à insignificância do resultado de comparar seus valores entre as unidades de produto de software ou entre projetos na organização, ela pode auxiliar o gerente de projetos a acompanhar a situação dos defeitos e não conformidade durante a execução dos projetos e a monitorar a percepção do cliente quanto à qualidade do produto. Por essas razões, as características *Defeito Produção (DeP)* e *Defeito Manutenção (DeM)* compõem o modelo CEP-S. A característica DeP é usada para analisar até quando o custo do esforço com as atividades

de testes vale o benefício de encontrar mais um defeito. A característica DeM é usada para analisar a percepção da qualidade do produto pelo cliente/usuário. Ambas as características DeP e DeM podem ser usadas para analisar os tipos de defeitos, de acordo com a frequência de suas ocorrências. O modelo CEP-S propõe análises mais adequadas para a taxa de defeitos, indo além do CEP, e sugestões significativas para a classificação dos defeitos, o que permite ações de melhorias mais efetivas a partir de informações mais rigorosas de suas causas. Essas análises e as classificações propostas são apresentadas na Seção 4.4 do presente Capítulo.

Algumas características foram propostas com o objetivo de apoiar a organização a conhecer e melhorar suas estimativas, ou seja, ter maior previsibilidade no planejamento de suas atividades: *Participação Processo Produção (PPP)*, *Participação Processo Total (PPT)*, *Índice de Capacidade do Processo (ICP)* e *Índice Erro Estimativa (IEE)*. As características PPP e PPT objetivam fornecer uma análise de como o processo participa, em porcentagem de esforço, da produção do software, seja apenas para a fase de produção (PPP) ou considerando todo o esforço de produção e manutenção do software (PPT). Essa análise apoia a construção de bases de estimativas para o planejamento dos projetos e também para a projeção e balanceamento de recursos humanos em cada um dos perfis necessários para o desenvolvimento de software. A característica ICP indica como o processo está se comportando em relação à especificação. Para que essa característica seja utilizada é necessário os limites de controle de especificação, sejam eles definidos pelo cliente ou por alguma norma ou mesmo da alta gerência da organização. A característica IEE indica quão boas estão sendo as estimativas de esforços por processo, o qual compara o realizado versus o planejado.

Por fim, as características *Produtividade Produção (PrP)* e *Produtividade Total (PrT)* visam apoiar a organização no controle da produtividade. PrP é a produtividade durante a produção e a característica PrT é a produtividade total, que considera o esforço de execução das atividades nas fases produção e manutenção.

4.2.2 Seleção das características de interesse

A presente Seção apresenta um mecanismo para guiar a seleção de um subconjunto de características, dentre as propostas na Seção anterior, aquelas que estiverem alinhadas aos objetivos estratégicos da organização. O mecanismo é baseado na proposta de Goethert, Goethert & Fisher [2003], que utiliza o guia GQ(I)M e o BSC. Apresentamos o conceito do Guia GQ(I)M, de objetivos estratégicos, do BSC e um exemplo da aplicação desses às Características de Interesse definidas. Por fim, apresentamos uma visão de como o CEP-S se integra à proposta de Goethert.

4.2.2.1 O guia *Goal-Driven Software Measurement*

O guia GQ(I)M foi proposto por Park, Park et al. [1996]. Ele define que a escolha das características de interesse seja feita a partir dos objetivos estratégicos que a organização pretende atingir e não a partir das medidas em si. É uma extensão do paradigma Goal-Question-Metric (GQM), Basili [1993], e uma das propostas mais simples e extensivamente referenciada na literatura, para o processo de seleção de medidas.

O guia é baseado em três preceitos e consiste de dez passos. Os três preceitos consistem nos objetivos de medição serem derivados de objetivos de negócio; no uso de modelos mentais para prover contexto e foco; e no uso do GQ(I)M para traduzir os objetivos informais em uma estrutura executável de medição. Os dez passos são:

1. Identificar seus objetivos estratégicos;
2. Identificar o que você deseja aprender ou conhecer;
3. Identificar os sub-objetivos, derivados de seus objetivos de negócio;
4. Identificar as entidades e atributos relacionados aos sub-objetivos;
5. Formalizar os objetivos de medição;
6. Identificar as questões mensuráveis e os respectivos indicadores;
7. Identificar os elementos de dados a serem coletados para a elaboração de indicadores;
8. Definir as medidas a serem usadas;
9. Identificar ações para a implementação dos processos de medição;
10. Elaborar um plano de medição.

Os passos iniciais, de 1 a 4, correspondem às atividades que geram os insumos para a definição dos objetivos de medição e são dependentes dos objetivos estratégicos da organização. Os objetivos de negócio devem representar os objetivos estratégicos da organização. Os passos seguintes, de 5 a 8, correspondem ao GQ(I)M. Os passos finais visam criar a estrutura para a operacionalização das medições. A figura 4.4 apresenta o modelo mental para os passos de 1 a 8.

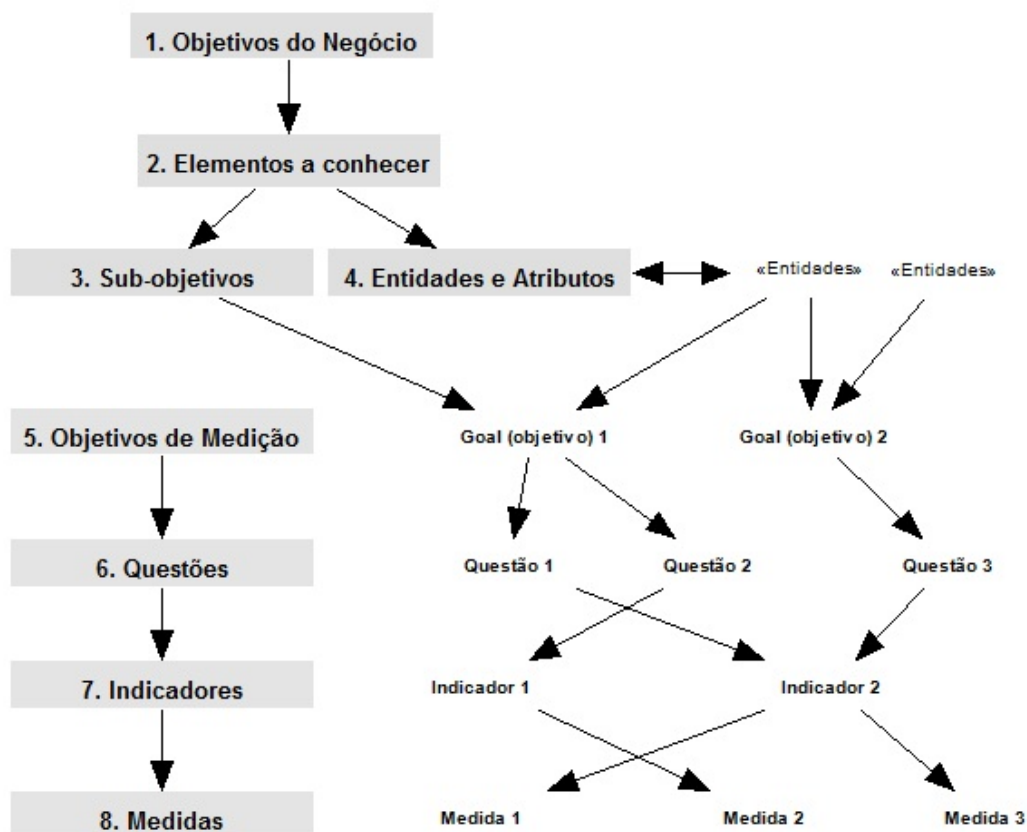


Figura 4.4: *Goal-Driven Software Measurement*

4.2.2.2 Objetivos Estratégicos e o *Balanced Scorecard*

“Por trás de uma empresa de sucesso existe uma estratégia eficaz. Os gerentes podem ter desenvolvido tal estratégia por meio de análises formais, de tentativa e erro, intuição ou até mera sorte. Independentemente de como tenha surgido, a estratégia sustenta o sucesso de qualquer empresa. Obviamente, as empresas precisam desenvolver ou adquirir o conhecimento e as habilidades necessárias para que suas estratégias deem certo.”

Cusumano & Markides [2002]

A seleção das características de interesse deve considerar os objetivos estratégicos da organização. Cusumano, Cusumano & Markides [2002], relata haver uma falta de consenso, tanto no meio acadêmico quanto no empresarial, para definir o que é estratégia e qual o processo ideal de desenvolvimento de uma boa estratégia. Afirma ainda que a elaboração de uma estratégia bem-sucedida não é uma ciência e sim uma arte. É a arte de fazer perguntas inteligentes, explorar as possíveis respostas, experimentar as possíveis soluções e reiniciar o processo de desenvolvimento, questionando constantemente as respostas obtidas. Consideramos a definição de Wright, Wright et al. [2000], que se refere à estratégia como os planos da alta administração para alcançar resultados

consistentes com a missão e os objetivos gerais da organização. Pode ser visto como o planejamento, a implementação e o controle estratégico. A figura 4.5 apresenta esses processos e suas principais entradas e saídas. É uma visão simplificada, evidenciando apenas elementos importantes para o entendimento geral da estratégia. A tabela 4.2 apresenta o detalhamento desses elementos.

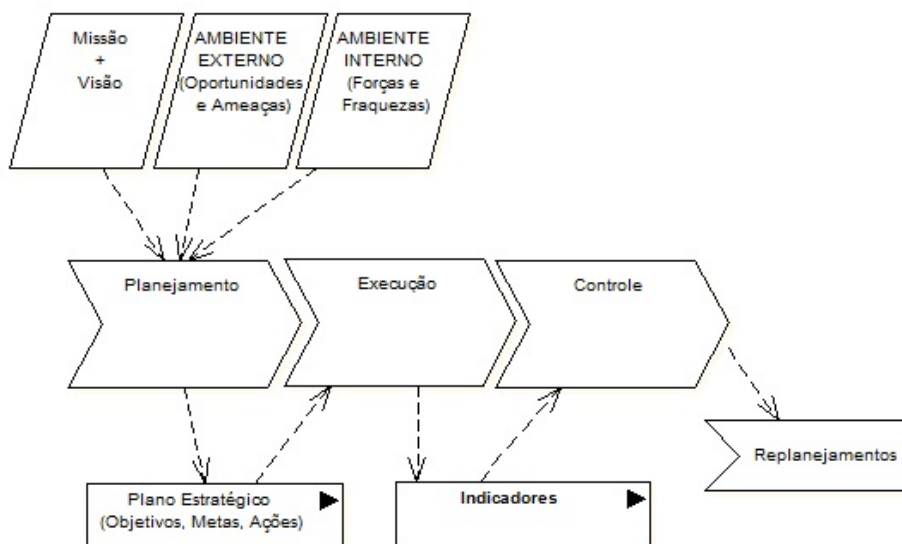


Figura 4.5: Estratégia

A estratégia pode ser traduzida em um conjunto coerente de medidas de desempenho a partir do uso do BSC. O BSC, segundo Kaplan, em Kaplan & Norton [1997], é um “cartão de resultados equilibrado”, é uma ferramenta gerencial que permite equilibrar, monitorar e controlar o desempenho empresarial a partir da definição de medidas de desempenho em quatro perspectivas: a financeira, a do cliente, a dos processos internos e a do aprendizado e crescimento.

As empresas podem adotar o BSC como um sistema de gestão estratégica para administrar a estratégia a longo prazo e viabilizar processos gerenciais críticos, como esclarecer e traduzir a visão e a estratégia, comunicar e associar objetivos e medidas estratégicas, planejar, estabelecer metas e alinhar as iniciativas estratégicas e melhorar o *feedback* (a realimentação) e o aprendizado estratégico. A organização pode ter estratégias diferentes para cada unidade de negócio e diferir de acordo com a fase do ciclo de vida de crescimento, sustentação ou colheita. Abaixo, apresentamos exemplos de indicadores para cada perspectiva e ciclo de vida, de acordo com o autor citado:

Financeira: empresas em *crescimento* encontram-se nos estágios iniciais de seus ciclos de vida. Os objetivos financeiros são: aumentar receita líquida e aumentar

Processo: Planejamento		
Entradas	Atividades	Saídas
Missão e visão organizacional; fatores do ambiente interno e externo.	Analisar o ambiente interno (fraquezas e forças) e externo (ameaças e oportunidades); definir as direções; estabelecer objetivos, metas e ações; definir indicadores de desempenho	Plano Estratégico
Processo: Execução		
Entradas	Atividades	Saídas
Plano Estratégico	Executar as ações definidas; manter toda a organização engajada; coletar indicadores.	Indicadores de Desempenho
Processo: Controle		
Entradas	Atividades	Saídas
Indicadores de Desempenho	Controlar a execução; reavaliar, sempre, os resultados obtidos e as alterações nos fatores internos e externos; replanejar caso necessário	Replanejamentos

Tabela 4.2: Processos da estratégia

vendas. Empresas em *sustentação* ainda conseguem atrair investimentos mas precisam obter excelentes retornos sobre o capital investido, manter ou aumentar a participação no mercado. Os objetivos financeiros são: maximizar lucro, maximizar fluxos de receita e aumentar retorno de investimento. Empresas em *colheita* são aquelas onde investimentos significativos não se justificam. Os objetivos financeiros são: maximizar o fluxo de caixa e diminuir da necessidade de capital de giro.

Cliente: atualmente as empresas precisam identificar os segmentos de clientes e mercado nos quais desejam competir para oferecer produtos e serviços melhores alinhados às preferências desses segmentos. Os indicadores propostos são: participação de mercado, captação de clientes, retenção de clientes, satisfação dos clientes, lucratividade dos clientes. Para esses indicadores Kaplan & Norton [1997] define três classes de atributos: atributos de produtos e serviços (funcionalidade, qualidade e preço), atributos de relacionamento com o cliente (qualidade da experiência de compra e das relações pessoais) e atributos de imagem e reputação.

Processos Internos: os processos internos podem ser inovações, operações e serviços de pós venda. Os indicadores devem ser definidos de modo a identificar problemas de qualidade que afetam o custo do produto ou serviço, a capacidade de resposta

ou o nível de satisfação do cliente. Alguns exemplos: taxa de defeitos em peças por milhão (por processo), índice de acerto (quociente de itens corretos produzidos em relação a itens corretos processados), desperdício, perdas, retrabalho, devoluções, percentual de processos sob controle estatístico.

Aprendizado e Crescimento: essa perspectiva orienta o aprendizado e o crescimento organizacional e foi apresentada pelo autor em três categorias: capacidade dos funcionários (satisfação, retenção e produtividade), capacidade dos sistemas de informação (percentual de processos que oferecem *feedback* em tempo real sobre qualidade, tempo e custos, percentual de funcionários que lidam diretamente com o cliente e têm acesso *on-line* às informações referentes a eles) e motivação, autoridade (*empowerment*) e alinhamento (sugestões apresentadas e implementadas, melhorias, alinhamento individual e organizacional, desempenho da equipe).

4.2.2.3 Associação das características de interesse aos objetivos estratégicos

A Figura 4.6 apresenta um exemplo do uso do mapa estratégico BSC para associar as características de interesse aos objetivos estratégicos propostos por Kaplan, em Kaplan & Norton [1997]. Segundo Kaplan, tais objetivos aparecem na maioria dos *scorecards*¹ das empresas, podendo, portanto, representar a estratégia de uma organização alvo da aplicação do modelo CEP-S. Os indicadores evidenciados em cinza são os propostos pelo modelo CEP-S e os demais, em branco, são apenas complementação do BSC e não fazem parte do modelo de controle estatístico.

Como esse é um exemplo, baseado em objetivos estratégicos genéricos, espera-se que a organização incorpore objetivos próprios e elimine os objetivos que não representam a estratégia organização, para então selecionarem as características de interesse a partir dos objetivos resultantes. A partir do mapa estratégico é possível avaliar se há alinhamento entre a aplicação do modelo CEP-S e a estratégia da organização alvo de CEP.

A coluna da esquerda, *Objetivos Estratégicos*, lista objetivos estratégicos para as quatro perspectivas do BSC, sugeridos por Kaplan em Kaplan & Norton [1997]. A coluna *Indicadores* lista indicadores propostos neste trabalho para cada objetivo estratégico. Um objetivo estratégico pode ser monitorado por um ou mais indicadores. Um exemplo é o objetivo *Reduzir o Custo da Qualidade*, cuja proposta de monitoração pode ser pelos indicadores ReT (retrabalho total), ReM (retrabalho em manutenção), ReP (retrabalho em produção), RMP (retrabalho em manutenção por retrabalho total), ou DeM (defeitos em manutenção). Um indicador pode monitorar um ou mais objetivos

¹Cartões de Resultados

Objetivos Estratégicos		Indicadores			
Perspectiva Financeira					
Maximizar Lucro	Lucro				
Aumentar e Mixar Receitas	Receita				
Reduzir Custos	Custos				
Perspectiva do Cliente					
Aumentar Retenção Cliente	Retenção Cliente				
Aumentar Participação no Mercado Alvo	Market Shared (participação)				
Aumentar Nível de Satisfação Cliente	Nível satisfação Cliente				
Perspectiva Processos Internos					
Melhorar Produtividade	Produtividade de Produção (PrP)	Produtividade Total (PrT)			
Reduzir Desperdícios	Retrabalho Total (ReT)				
Reduzir Custo Qualidade	Defeitos Manutenção (DeM)	Retrabalho Produção (ReP)	Retrabalho Manutenção por Produção (RMP)	Retrabalho Manutenção (ReM)	
Aumentar Qualidade Percebida pelo Cliente					
Maximizar Previsibilidade	Capacidade do Processo (ICP)	Índice Erro Estimativa (IEE)	Participação Processo Produção (PPP)	Participação Processo Total (PPT)	Defeitos Produção (DeP)
Desenvolver Inovação para Mercado Alvo	Eficiência Investimento em Inovação				
Perspectiva do Aprendizado e Crescimento					
Melhorar Competências Funcionais	Produtividade da Equipe	Produtividade do Funcionário	Retenção do Funcionário		
Melhorar Acesso à Informações Estratégicas	Processos com Feed Back em Tempo Real	Satisfação Funcionário			

Figura 4.6: Mapa estratégico BSC

estratégicos, como é o exemplo dos indicadores ReT e ReM. Um indicador pode ser sintetizado a partir de outros indicadores do próprio BSC, sendo a síntese realizada na perspectiva vertical, dos indicadores inferiores (de aprendizado e crescimento) para gerarem indicadores superiores (na direção da visão financeira).

4.2.2.4 Visão integrada das ferramentas

Segundo Goethert, Goethert & Fisher [2003], as metodologias GQ(I)M e BSC são bem definidas, mas o mais comum é encontrar aplicação das mesmas em separado. Ele sugere combiná-las, absorvendo o melhor de cada uma. A abordagem GQ(I)M é uma forma disciplinada de derivar os requisitos de mensuração e os indicadores a partir dos objetivos estratégicos. Combinada à abordagem BSC, a organização irá definir os objetivos para as quatro perspectivas: financeira, do cliente, dos processos internos e do aprendizado e crescimento. Estendemos o arcabouço de Goethert, incluindo o modelo CEP-S, que sugere indicadores próprios para processos de desenvolvimento de software e modelos para analisá-los estatisticamente. A Figura 4.7 exhibe a abordagem extraída de Goethert, Goethert & Fisher [2003], que é a integração do GQ(I)M ao BSC, estendida com o modelo CEP-S.

4.3 Planejamento e execução das medições

Esta seção apresenta o modelo Practical Software and Systems Measurement: A Foundation for Objective Project Management (PSM) como sugestão de referência para as organizações que desejarem formalizar o processo de medição. Esse modelo tem como objetivo estabelecer um conjunto de práticas e ferramentas para auxiliar o gerenciamento dos projetos através de indicadores de prazo, custo e qualidade. O planejamento de políticas de medição, segundo o guia PSM, PSM [2003], envolve os passos descritos a seguir. Os passos 1 e 2 correspondem ao que foi apresentado nas seções 4.1 e 4.2, respectivamente. O modelo CEP-S não propõe nenhum diferencial para os demais passos, visto que seu foco não é em um modelo de medição. Deixamos a cargo da organização a escolha do melhor mecanismo de planejamento e execução das medições. Porém, o PSM é evidenciado como um modelo para apoiar esses processos, por serem cruciais para o sucesso da aplicação de CEP. A organização precisa ter a capacidade de planejar e executar eficientemente um plano de medição, para que os dados disponibilizados para análise sejam confiáveis.

O guia PSM endereça quatro grandes atividades:

Tailoring (personalização): as medidas de software são personalizadas para as questões específicas do projeto. As atividades do *Tailoring* correspondem aos passos 1, 2 e 3 apresentados abaixo;

Aplicação : as medidas são convertidas em informações úteis. As atividades da aplicação correspondem aos passos 4, 5 e 6 apresentados abaixo e são atividades

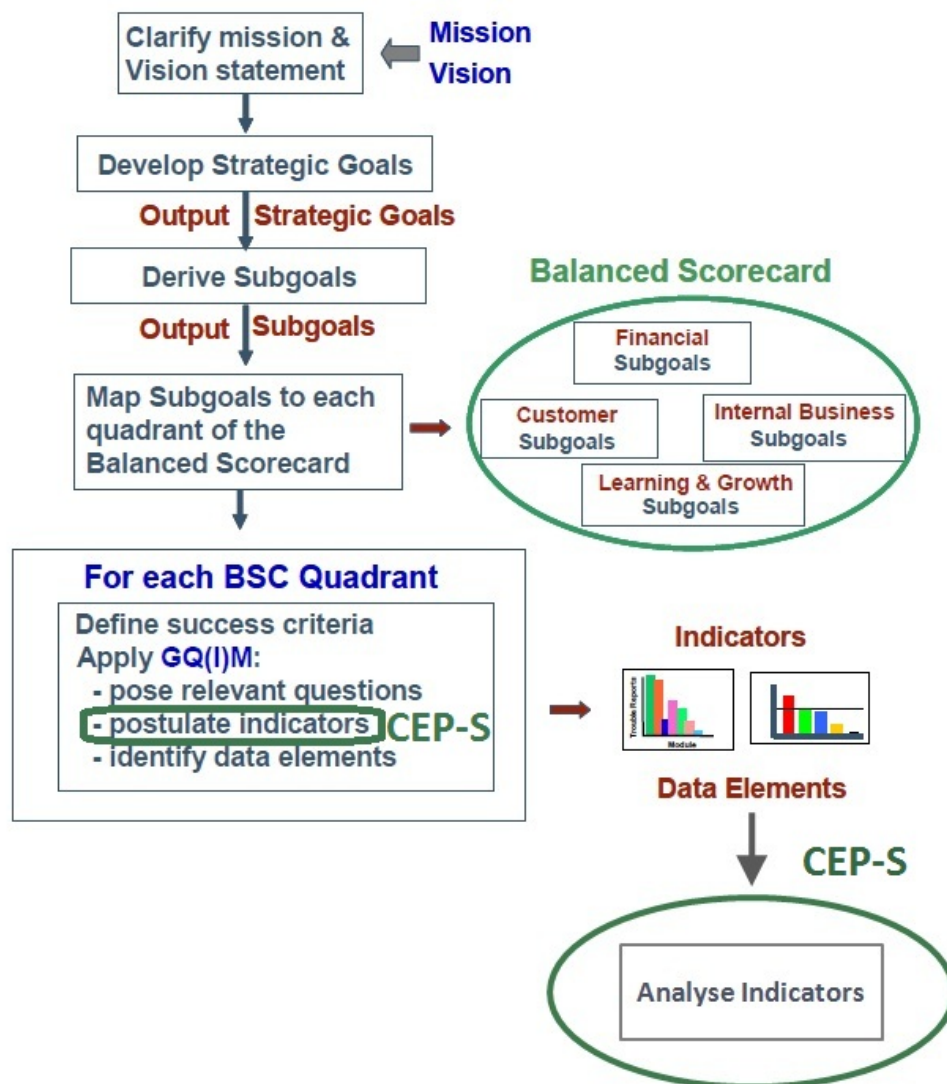


Figura 4.7: Visão integrada das 3 ferramentas

repetidas periodicamente ao longo do ciclo de vida de um projeto;

Implementação : os processos de medição são implementados. As atividades correspondem aos passos 7, 8 e 9 apresentados abaixo;

Avaliação : o programa de medição é avaliado. As atividades correspondem ao passo 10 apresentado abaixo.

Tais atividades são tratadas detalhadamente nos 10 passos seguintes:

- 1. Identificar e priorizar as necessidades de informação** : Inicialmente as questões do projeto são identificadas e priorizadas. Elas são derivadas de informações do projeto, da experiência da gerência, das avaliações dos riscos, entre

outros fatores. Nessa etapa a elaboração do plano de medições deve ser iniciada. Ele deve conter informações como: os dados a serem acessados, quando eles estarão disponíveis, o formato de entrada, a ferramenta (ou software) a ser usado para armazenamento e os responsáveis pela coleta e análise.

2. Selecionar e especificar as medidas adequadas : O segundo passo é selecionar e detalhar as medidas que endereçam as questões identificadas. O detalhamento das medidas deve abordar informações como:

- *Itens de Dado:* como exemplo de itens de dados temos: (i) para marcos, as datas de início e fim das atividades; (ii) para esforço, as horas trabalhadas; (iii) para linha de código, o item de dado finalizado por um ponto e vírgula;
- *Atributo:* são as características associadas às medidas. Como exemplo temos: nome da organização, versão do sistema, prioridade de um defeito, causa de um defeito, nome de um caso de teste;
- *Estrutura de agregação:* as medidas são usualmente geradas em uma estrutura de baixo nível e agrupadas em níveis mais elevados por componentes. Essa estrutura de componentes ou agrupamento deve ser definida;
- *Nível de Coleta:* para dar suporte às análises, os dados devem ser coletados em um nível que permita que os problemas sejam isolados e entendidos. Esse item deve descrever o menor nível necessário em que um dado deva ser coletado;
- *Critério de Contagem:* cada medida deve especificar quando um item é contado. Um exemplo: para a contagem de número de defeitos reportados e fechado, deve-se especificar o que se entende por fechado, ou seja, que tenha sido excluído do software e passou pelo critério de qualidade.

3. Integrar medições nos processos técnicos e gerenciais : Os passos 1 e 2 dizem o que o projeto precisa conhecer. O passo 3 diz como os processos de medição devem funcionar no contexto do atual projeto. Para isso é feita a caracterização do ambiente do projeto (os processos do projeto e o ciclo de vida do ambiente); em seguida é realizada a identificação das oportunidades de medição; por fim, os requisitos para implementação das medições são especificados. Dentre os requisitos de especificação de medidas citamos: definição das medidas, escopo das medições, coleta de dados, análise de dados, reporte dos resultados, avaliação das medições.

- 4. Coletar e processar os dados** : O primeiro passo da atividade *Aplicação de Medidas* é a coleta e o entendimento dos dados. Dados válidos são a base para os processos de medições. Os resultados das medidas dependem de entradas confiáveis dos dados. Após a coleta dos dados uma verificação deve ser realizada para garantir a acurácia e a fidelidade com a qual eles foram transmitidos. Todos os dados devem ser identificados com a respectiva coleta e a origem. A comunicação clara sobre os itens de dados, a conformidade com os termos óbvios e as suposições devem ser verificadas e divulgadas pois ajudam a manter a consistência dos mesmos. Ainda antes de analisar as questões é necessário normalizar os dados, que corresponde a convertê-los em uma unidade comum de medida ou nível de agrupamento que possa ser comparado ou combinado com outros dados. As regras e os procedimentos de normalização devem ser documentados.
- 5. Analisar as questões** : Analisar os dados é a tarefa de convertê-los em informações úteis, usadas nas tomadas de decisão. Nas fases iniciais dos projetos o foco da análise é nas estimativas de tamanho, esforço e cronograma. As Estimativas são produzidas inicialmente a partir de dados históricos e suposições dos especialistas. Em seguida, a análise de viabilidade trata dos riscos e do quão realísticos estão os objetivos e metas estabelecidos para o projeto. Uma vez que o projeto esteja planejado e aprovado pelos responsáveis a partir da análise de viabilidade, é necessário realizar a análise de desempenho do projeto, ao longo de sua execução. Essa análise determina se a execução está alcançando os resultados planejados.
- 6. Fazer recomendações** : O propósito maior das análises é prover informações para a tomada de decisão, identificando e avaliando alternativas que devem ser recomendadas aos responsáveis por ações corretivas, preventivas ou de melhorias. O objetivo da atividade de fazer recomendações é maximizar a probabilidade de sucesso do projeto. As análises dos resultados devem ser comunicadas regularmente, juntamente com recomendações de ações para todos os integrantes da equipe do projeto.
- 7. Obter suporte da organização** : Implantar políticas de medições quase sempre requer mudanças de cultura organizacional. Tais mudanças podem causar incertezas e ansiedades nos profissionais da organização. Uma forma de contornar essa questão é comunicar claramente os objetivos e processos de medições, para que os resultados sejam usados em todos os níveis organizacionais. A atividade de suportar a organização envolve definir as políticas de medição, prover os recur-

tos necessários, estabelecer os objetivos de comunicação e os fatores críticos de sucesso, revisar e analisar os dados medidos e tomar ações recomendadas.

8. Definir responsabilidades : A equipe responsável pelas tarefas de medições deve ser definidos. O tamanho dessa equipe depende do porte organizacional e as tarefas podem ser segmentadas entre os membros. Como sugestão dada pelo PSM, cada segmento pode ter um responsável da equipe. Um modelo de segmentação é apresentado abaixo:

- Políticas, planos e definições das medições;
- Geração dos dados;
- Repositório de medidas;
- Análise e reporte dos resultados.

9. Prover recursos : Os recursos para o processo de medição incluem recursos humanos e ferramentas para gerar, processar, analisar e reportar os dados. Quando o nível de maturidade dos processos organizacionais é maior, é esperado que a organização tenha uma estrutura comum para os processos de medição, compartilhado entre projetos. Caso a organização não tenha tal estrutura, não há compartilhamento de estrutura e cada projeto arca com os custos e os esforços de criar e manter a estrutura de medição para o projeto.

10. Avaliar as medições : é necessário não só avaliar as medidas e indicadores como, regularmente, os processos de medição. Essa atividade inclui quatro tarefas, que são:

- Avaliar as medidas e indicadores para saber se eles satisfazem as necessidades de informação;
- Avaliar os processos de medição examinando a eficácia do desempenho, a conformidade com o plano de medição e a capacidade (maturidade) em relação aos padrões;
- Atualizar a base de conhecimento com as lições aprendidas das avaliações das medições dos processos e dos produtos;
- Identificar e implementar melhorias.

Dois grandes desafios precisam ser assumidos pelas organizações candidatas a colocarem em prática o controle estatístico: a elaboração e execução efetiva de um

plano de medições que resulte em dados confiáveis para as análises e a execução de melhorias de processos, para a estabilização dos mesmos, a partir das indicações de existência de causas atribuíveis, pelos gráficos de controle. A aplicação do modelo CEP-S não produzirá efeito real enquanto esses dois desafios não forem superados.

Ao planejar o controle estatístico, a organização deve planejar controles distintos para projetos não semelhantes, pois dados de projetos não semelhantes não são normalizáveis (comparáveis entre si). Por exemplo, não é significativo realizar o controle estatístico com dados de projetos cujas linguagens ou *framework* de desenvolvimento sejam diferentes. Também não é significativo se, mesmo com linguagem e *framework* iguais, as funcionalidades são de complexidade muito distintas, com exemplo um sistema cujas funcionalidades construídas contém muitos cálculos, gráficos e relatórios complexos *versus* um sistema simples de cadastros básicos.

4.4 Construção dos gráficos de controle

Esta Seção apresenta um mecanismo para a escolha dos gráficos de controle de acordo com os dados que foram coletados, a definição dos parâmetros de controle e dos testes de estabilidade. Gráficos de controle são ferramentas usadas para monitorar visualmente a estabilidade dos processos. Eles devem ser planejados de forma a serem eficientes em detectar rápida e confiavelmente condições de fora-de-controle. Esse planejamento envolve a definição dos limites de controle, do tamanho da amostra, da frequência da amostragem e dos testes de estabilidade. O modelo CEP-S propõe utilizar os gráficos \bar{X} -I e MMEP combinados, para quando a característica de interesse for tipo variável, sendo essa a quarta ideia estruturadora desse modelo. Se a característica de controle for tipo atributo o gráfico adequado é o *u*.

O gráfico \bar{X} -I é mais eficiente para monitorar desvios maiores que $1,5 \sigma$. Ele não pode ser utilizado quando houver autocorrelação, mesmo que fraca, e quando a distribuição dos dados amostrais for diferente de normal. Então, para seu uso, é necessário ter o coeficiente de Pearson $\rho \approx 0$ para o teste de autocorrelação e o P-valor > 0.005 para o teste de normalidade.

O gráfico MMEP é mais eficiente para desvios menores que $1,5 \sigma$. Ele é menos sensível à normalidade, logo, não depende dos dados amostrais terem uma distribuição normal. Ele pode ser utilizado ainda que exista autocorrelação moderada ou fraca, mas não é indicado para autocorrelação forte pois pode apresentar muitos alarmes falsos. Então, para seu uso é necessário ter o coeficiente de Pearson $\rho < 0.70$ para os testes de autocorrelação. A Figura 4.8 apresenta o diagrama de decisão para as situações

descritas.

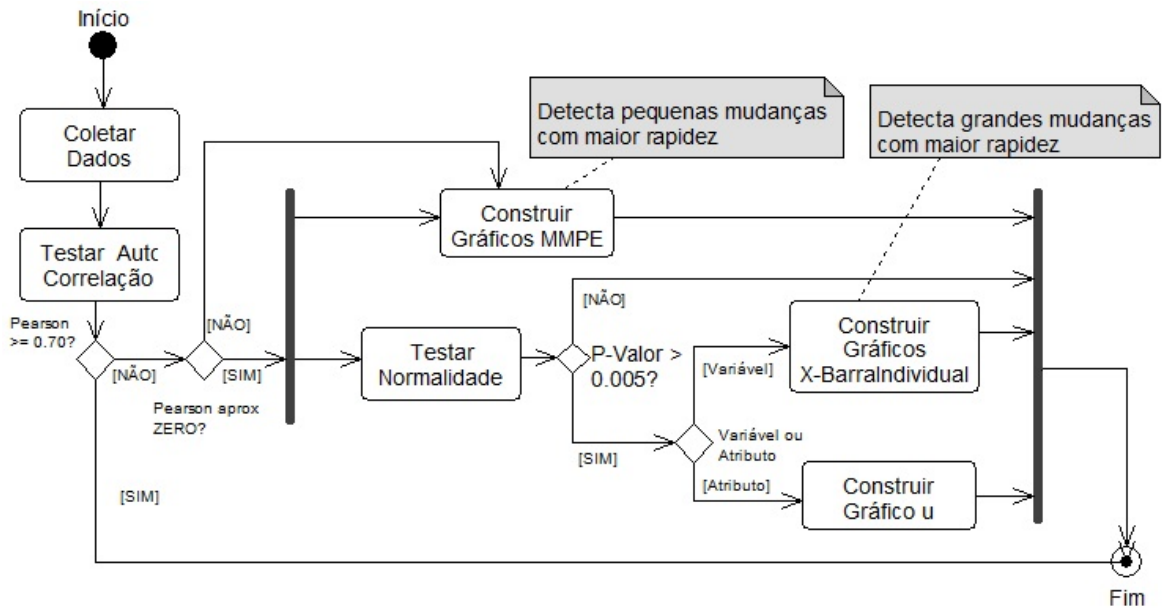


Figura 4.8: Digrama de decisão para gráfico de controle

As fórmulas subjacentes aos gráficos \bar{X} -I, MMEP e u foram apresentadas no Capítulo 3, O controle estatístico de processo (CEP), assim como a justificativa dos valores indicados na Figura 4.9 para os parâmetros de controle.

Gráficos		X-Barra I u	MMEP
Limites de Controle	L	3σ	$3,054\sigma$
	λ	-	0,4
Teste		1 Ponto fora dos limites	
Tamanho Amostra		1	
Freqüência da Amostragem		Independente	

Figura 4.9: Parâmetros de controle

As características de interesse DeP (defeitos em produção) e DeM (defeitos em manutenção) devem ser tratadas como atributos e usar o respectivo gráfico para atributos. A característica de interesse ICP é um parâmetro adimensional que indiretamente mede o quanto o processo consegue atender às especificações, Costa et al. [2008], não é monitorada por gráficos de controle. As características de interesse ReP (retrabalho em produção), ReM (retrabalho em manutenção), ReT (retrabalho total), RMP (retrabalho em manutenção por retrabalho total), PrP (produtividade em produção),

PrT (produtividade total), PPP (participação do processo em produção), PPT (participação do processo total) devem ser tratadas como variáveis e usar os respectivos gráficos para variáveis.

O modelo CEP-S formula as principais características de interesses a partir do esforço (em horas ou minutos) de execução nas atividades dos processos alvos. É um diferencial, visto que as características formuladas são mais significativas que número de defeitos (ou não-conformidades), comumente usado em CEP de desenvolvimento de software. Porém, ainda assim, o modelo considera o número de defeitos para derivar as características DeP e DeM . Isso se deve ao fato de elas apoiarem o gerente de projetos durante a execução das atividades de testes e o cliente na percepção da qualidade do produto final. Para essas características propomos dois gráficos, complementares aos gráficos de controles: gráfico de custo x benefício e um histograma de tipos de defeitos.

O gráfico Custo Benefício é usado durante a execução das atividades de testes, para analisar até quando o custo do esforço com as atividades de testes vale o benefício de encontrar mais um defeito (ou não-conformidade). O gráfico é construído a partir da soma cumulativa do número de defeitos encontrados por hora de esforço despendido para encontrá-los *versus* a soma cumulativa das horas. O gerente do projeto pode decidir, a partir do resultado do gráfico, suspender as atividades de testes quando o esforço despendido para encontrar mais um defeito não for mais benéfico. Tendo em vista que o resultado desse gráfico busca uma correlação entre o esforço de revisão e o esforço de correção, uma análise complementar pode ser realizada para verificar se o esforço realizado com revisão está sendo eficiente, ou seja, tem correlação com o esforço realizado para correções.

O histograma é usado para analisar quais defeitos, por processo, são mais recorrentes. Ele pode ser construído para duas perspectivas: do projeto ou da organização. Para construir o histograma a organização deve classificar o defeito, após a sua correção, de acordo com o que foi a causa origem. É comum organizações classificarem os defeitos de forma muito simples, como baixo, médio, alto e crítico, para as características de severidade e prioridade, Kelly & Shepard [2001]. Essa classificação simples não auxilia a definição de ações para evitar ou reduzir recorrências futuras, é preciso saber mais sobre os defeitos. Uma forma de obter mais informações é usar uma classificação significativa. A Figura 4.10 apresenta a classificação proposta pelo modelo CEP-S.

O nível de detalhes da classificação deve ser tal que permita a organização entender o problema e tomar ações de melhorias e não pode ser detalhado a ponto de dificultar o uso. A classificação proposta neste trabalho deve ser revisada pela organização, para que atenda às suas necessidades específicas. Indicamos trabalhos que podem auxiliar a organização no propósito de definir as categorias para classificação de

Categoria	Exemplos
Requisitos	problema devido a falta de clareza ou completude dos requisitos;
Característica do campo	obstruibilidade, tamanho, valores válidos, tipo;
Transação	entrada externa, saída externa e consulta externa (de acordo com análise de ponto de função) ou inclusão, exclusão, consulta, alteração;
Lógica Processamento	fórmula errada, fluxo de controle errado;
Desempenho	tempo de resposta inferior ao requisitado;
Estética da interface	falta de padrão para nome dos comandos, para disposição dos comandos;
Banco de dados	falta de consistência, forma normal violada;

Figura 4.10: Classificação de defeitos

defeitos, que são: Kelly & Shepard [2001], Chillarege et al. [1992], Emam & Wieczorek [1998] e IEEE [1995].

4.5 Estabilização dos processos

A Figura 4.11 apresenta as atividades para a estabilização de um processo. O objetivo maior delas é a eliminação das causas atribuíveis, pré-requisito para a aplicação do CEP. Somente após o processo estar estável é possível definir adequadamente os parâmetros de controle. Porém, a organização nem sempre conseguirá eliminar as causas atribuíveis e levar o processo a uma situação de estabilidade, inviabilizando assim a aplicação do modelo CEP-S.

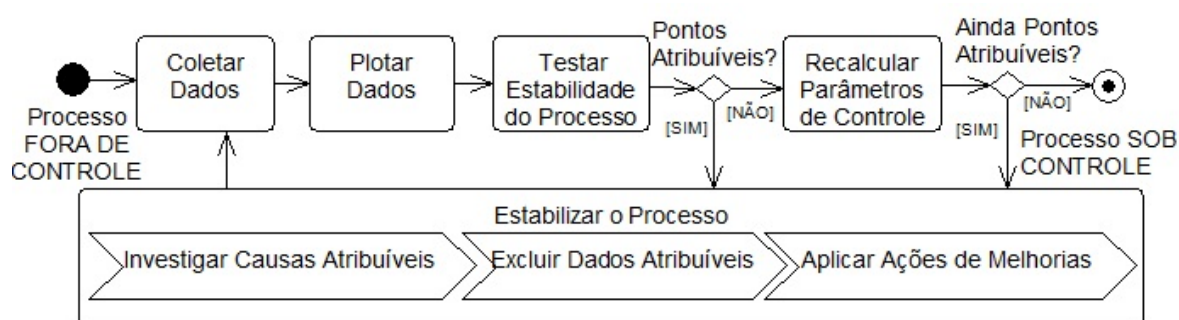


Figura 4.11: Atividades para estabilizar o processo

A organização seleciona o processo alvo de controle, identifica as características de interesse, planeja e executa as medições e constrói os gráficos de controle apropriados. Nesse momento, os limites de controle calculados podem ser inadequados para a

rotina de CEP, devido a possível presença de causas atribuíveis, porém, a organização poderá usá-los para testar a existência dessas causas. Caso pontos fora-de-controle sejam identificados a organização deve investigar a causa raiz de tais pontos, planejar e executar ações para eliminar seu efeito e evitar futuras ocorrências, excluir os pontos da amostra e recalculando os limites de controle para o restante da amostra. É necessário executar esse *loop* até que não haja mais causas atribuíveis, aonde os limites de controle são recalculados e assumidos para o CEP.

Em casos de amostragem para avaliar a estabilidade do processo temos duas hipóteses possíveis:

H_0 : Processo em controle ($\mu = \mu_0$)

H_1 : Processo fora-de-controle ($\mu \neq \mu_0$)

Onde μ_0 é o valor-alvo ou valor médio em controle da variável aleatória X.

Quando há de antemão um valor-alvo definido, é mais apropriado falar em *valor-alvo*. Quando o valor de μ_0 não é definido a priori é mais apropriado utilizar a expressão *valor médio*(ou *valor médio em controle*).Costa et al. [2008]

A eliminação das causas atribuíveis é realizada a partir de ações de melhorias. Essa é uma atividade complexa e bastante susceptível ao fracasso se as ações de melhorias não forem efetivas. Após a exclusão dos pontos fora-de-controle, se o restante da amostra formar um conjunto pequeno, de poucos pontos, será necessário aguardar a coleta de mais pontos antes de dar continuidade às atividades de estabilização.

4.6 Controle estatístico dos processos

Executadas as atividades previstas nas Seções de 4.1 a 4.5 espera-se que os processos estejam estáveis, os gráficos construídos e a organização apta a iniciar as atividades que visam o controle estatístico. Essas atividades são apresentadas na Figura 4.12:

O controle estatístico é constituído de um *loop* das atividades: coletar dados, plotar dados, testar o controle, investigar causas atribuíveis, excluir pontos fora-de-controle da amostra e aplicar ações de melhorias. Esse *loop* deve ser executado até que alguma ação de melhoria, cujo foco seja ir além da eliminação das causas atribuíveis, seja aplicada ao processo e cause a alteração dos parâmetros de controle. Como exemplo dessas ações podemos citar a inserção de automações, a melhoria na qualidade dos insumos e a capacitação técnica dos profissionais. Essas ações não enfocam na eliminação de causas atribuíveis, mas sim na elevação do nível de maturidade dos processos. No momento após as melhorias os parâmetros de controle (média e desvio

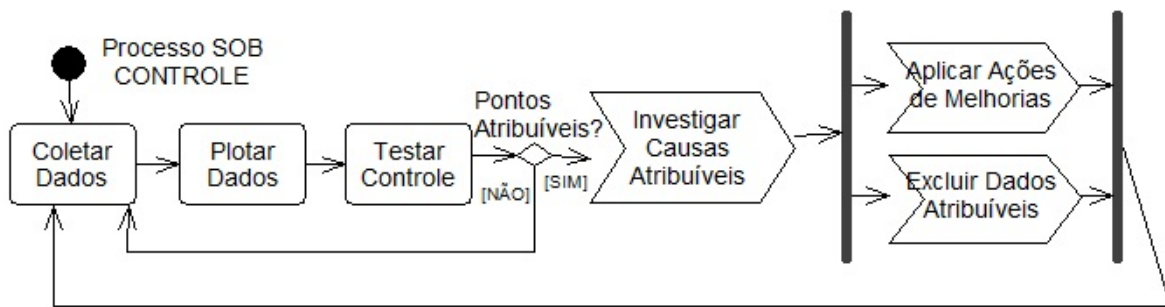


Figura 4.12: Controle Estatístico de Processo

padrão) devem ser recalculados o que permite quantificar facilmente tais melhorias a partir da comparação dos parâmetros antes e depois sua realização.

Os parâmetros do controle estatístico de um processo são válidos para dados coletados a partir da execução do processo em uma determinada versão. Caso o processo alvo de controle seja alterado (evoluído), uma nova versão do controle deve ser definida, com os parâmetros de controle recalculados.

Capítulo 5

Estudo de caso

“Os estudos empíricos verificam a previsão teórica de encontro à realidade, não buscam provas absolutas.”

Travassos et al. [2002]

O estudo de caso é uma estratégia de pesquisa empírica, onde ocorre uma observação da realidade, de projetos e atividades, sem intervenção sistemática do pesquisador, Wazlawick [2008], onde os dados são coletados com um propósito específico e os resultados documentados. Os resultados de um estudo de caso podem ser analisados a partir de um paradigma qualitativo ou quantitativo ou a partir de ambos.

O propósito do presente estudo é verificar a viabilidade de aplicação do Modelo CEP-S a processos de desenvolvimento de software do Laboratório Synergia, comparando os estados dos processos antes e depois da aplicação do modelo. A realização deste estudo foi possível devido ao patrocínio do Laboratório Synergia, que colocou à disposição os dados para análise. O Synergia é o laboratório de Engenharia de Software e Sistemas do Departamento de Ciência da Computação da UFMG que oferece serviços de desenvolvimento de sistemas, implantação de processos, consultoria em TI e treinamentos diversos.

Este Capítulo apresenta-se dividido em três seções. A Seção 5.1 apresenta os resultados da aplicação do Modelo CEP-S aos processos do Laboratório Synergia. A Seção 5.2 apresenta uma análise dos resultados registrados na Seção anterior. E, finalmente, a Seção 5.3 apresenta conclusões sobre a aplicabilidade do Modelo CEP-S.

5.1 Aplicando o Modelo CEP-S

A seleção dos processos e a identificação das características de interesse foram realizadas de acordo com o Modelo CEP-S e os dados já coletados do Laboratório Synergia. A

aplicação não se restringiu apenas às características alinhadas os objetivos estratégicos da organização, visto que o objetivo do presente estudo de caso é validar a proposta. O modelo CEP-S propõe CEP para os processos de Requisitos e Implementação, porém o Laboratório Synergia coleta o esforço, em horas, distintos para os processos de Detalhamento de Requisitos, Identificação de Requisitos, Desenho Externo e Implementação. Logo, foi possível estender o modelo CEP-S e aplicá-lo para cada um dos quatro processos. Dentre as características de interesse propostas, foram utilizadas, para cada um dos 4 processos, o *Retrabalho em Produção (ReP)*, a *Produtividade em Produção (PrP)*, a *Participação do Processo em Produção (PPP)* e os *Defeitos em Produção (DeP)*. Para cada uma dessas características, são realizados/construídos: o teste de autocorrelação, o teste de correlação entre o esforço realizado em revisão e o esforço realizado em correção, o teste de normalidade e os gráficos de controle pertinentes à situação de cada característica.

Os gráficos de controle de variáveis foram construídos a partir do Diagrama de Decisão da figura 4.8 e dos parâmetros de controle da figura 4.9. A estabilização dos processos se baseou nas atividades da figura 4.11. A etapa de estabilização foi executada após algumas adaptações para este estudo de caso. Os dados originaram-se de um base histórica recente e não de uma coleta em tempo de execução do controle. Não houve investigação de causas atribuíveis nem aplicação de ações de melhorias nos processos. Essas adaptações são plausíveis de serem aplicadas ao estudo de caso, mas devem ser feitas apenas nesse contexto, visto que com elas os processos permanecem instáveis.

Como a investigação de causas atribuíveis e as ações de melhorias não foram executadas, a exclusão dos pontos fora-de-controle é fictícia. Ela foi utilizada para prever o resultado do que seriam os valores da situação sob controle dos processos estáveis. Tais parâmetros só podem ser assumidos em uma situação real se as causas atribuíveis que geraram os pontos fora-de-controle forem eliminadas do processo. Para obter os valores finais dos parâmetros partimos da construção de um primeiro gráfico de controle, e em seguida, iniciamos um ciclo de exclusão dos pontos plotados fora dos limites de controle e geração de um novo gráfico. Esse ciclo foi executado até não haver mais plotagem de pontos fora dos limites de controle, chegando assim a uma situação fictícia de processo estável.

Os dados utilizados nesse estudo de caso foram descaracterizados, através da multiplicação deles por valores racionais, de modo a manter as curvas dos gráficos com dados descaracterizados fiéis às curvas dos gráficos originais e, ao mesmo tempo, manter a confidencialidade das informações estratégicas do Laboratório Synergia.

O resultado da aplicação do Modelo CEP-S aos processos do Laboratório Sy-

nergia é apresentado a seguir. Para cada característica de interesse, são apresentados o teste de autocorrelação, o teste de correlação do esforço realizado em revisão e o esforço realizado em correção, o teste de normalidade, se pertinente, os pontos fora-de-controle excluídos e apenas o primeiro e o último dos gráficos de controles construídos. Os gráficos intermediários do ciclo de exclusão dos pontos fora-de-controle não são exibidos. Para identificação dos gráficos, usaremos a nomenclatura “[*ID do processo-ID da característica*] *ID do gráfico*”, onde:

“*ID do processo*” pode assumir:

- IR** Identificação de Requisitos;
- DR** Detalhamento de Requisitos;
- DE** Desenho Externo;
- IM** Implementação;

“*ID da característica*” pode assumir:

- ReP** Retrabalho em Produção;
- PrP** Produtividade em Produção;
- PPP** Participação do Processo em Produção;
- DeP** Defeitos em Produção;

“*ID do gráfico*” pode assumir:

- Teste de normalidade;
- MMEP;
- X-Bar I;
- U.

O **valor absoluto** do coeficiente de correlação de Pearson para $0 \leq \rho < 0,4$ representa uma correlação fraca, para $0,4 \leq \rho < 0,7$ moderada e para $0,7 \leq \rho \leq 1$ forte, Shimakura [2006]. Para $\rho \leq 0,09$ a correlação pode ser considerada não significativa, permitindo assim o uso do gráfico $\bar{X} - I$ de Shewhart, Junior & ten Caten [2004]. Como resultado do teste para distribuição normal, esperamos um P-Valor $> 0,005$. Apresentamos novamente as referências usadas para os testes de correlação e normalidade como forma de facilitar a avaliação do estudo de caso, porém, essas referências, assim como as referências para a escolha dos parâmetros e dos gráficos de controle e as respectivas justificativas são apresentadas em detalhe no Capítulo 3.

5.1.1 Processo: Identificação de Requisitos (IR)

5.1.1.1 Característica de interesse: Retrabalho em Produção (ReP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = -0,049 [*fraca e não significativa* ($|\rho| \leq 0,09$)]

Teste de Correlação entre esforço de revisão e esforço de correção

Correlação de Pearson = 0,282 [*fraca*]

Teste de Normalidade

P-valor < 0,005 [*Valor esperado: P-valor > 0,005*]

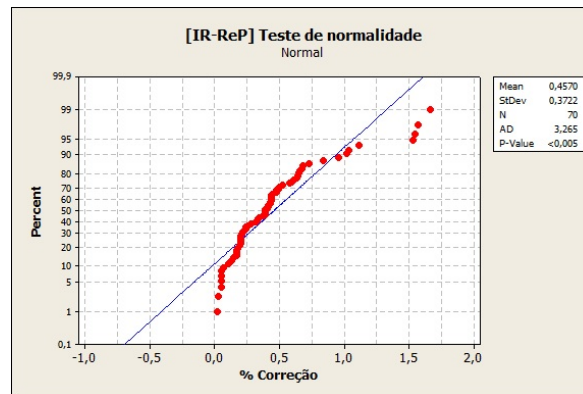


Figura 5.1: [IR-ReP] Teste de normalidade

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à não normalidade, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[IR-ReP] MMEP (1), Figura 5.2 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 66.

[IR-ReP] MMEP (2), Teste detectou falha no(s) ponto(s): 36.

[IR-ReP] MMEP (3), Figura 5.3 exibe situação do processo sob controle.

Análise

Apenas dois pontos fora-de-controle foram detectados, apesar disso não indicar que esse processo será fácil ou rapidamente conduzido à uma situação de controle. Percebe-se que se as causas atribuíveis que os originaram forem eliminadas desse processo, a média de retrabalho reduz de 45,7% (figura 5.2) para 42,5% (figura 5.3), uma melhoria de 7% na média de retrabalho. Ressaltamos que os valores absolutos da média de retrabalho foram descaracterizados, porém a proporção de

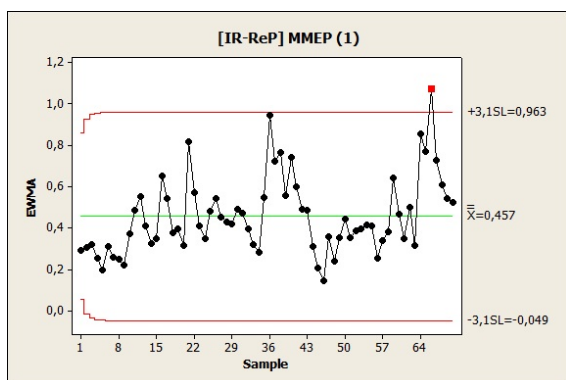


Figura 5.2: [IR-ReP] MMEP (1)

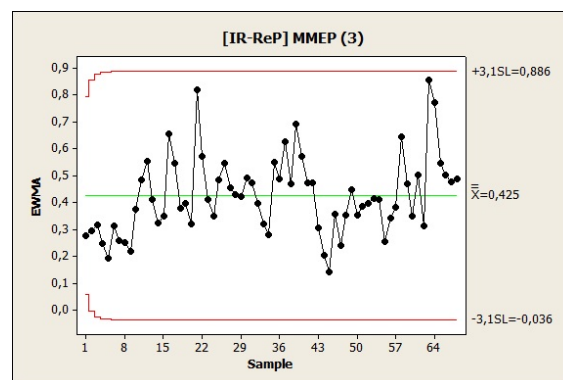


Figura 5.3: [IR-ReP] MMEP (3)

redução não é influenciada por essa descaracterização. O custo benefício dessa redução pode compensar o esforço a ser despendido na investigação das causas atribuíveis e na realização de ações de melhoria para eliminar tais causas do processo. Além da investigação e eliminação dessas causas atribuíveis, o esforço de revisão é outro ponto passível de atenção. Para ser efetivo ele deveria ser proporcional ao esforço de correções, ou seja, refletir uma correlação mais significativa que a apresentada, de apenas 0,282 de Pearson. As ações de melhoria para esse ponto estão relacionadas ao planejamento e execução do esforço realizado com revisões ser proporcional ao esforço realizado com correção. O gráfico de custo benefício pode auxiliar essas ações.

5.1.1.2 Característica de interesse: Produtividade em Produção (PrP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,004 [*fraca e não significativa* ($|\rho| \leq 0,09$)]

Teste de Normalidade

P-valor < 0,005 [*Valor esperado: P-valor > 0,005*]

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à não normalidade, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[IR-PrP] MMEP (1), Figura 5.5 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 1; 23; 65; 68.

[IR-PrP] MMEP (2) e (3), Teste detectou falha no(s) ponto(s): 43; 56; 22.

[IR-PrP] MMEP (4), Figura 5.6 exibe situação do processo sob controle.

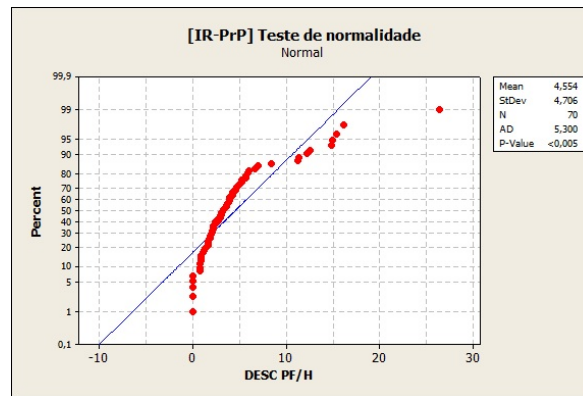


Figura 5.4: [IR-PrP] Teste de normalidade

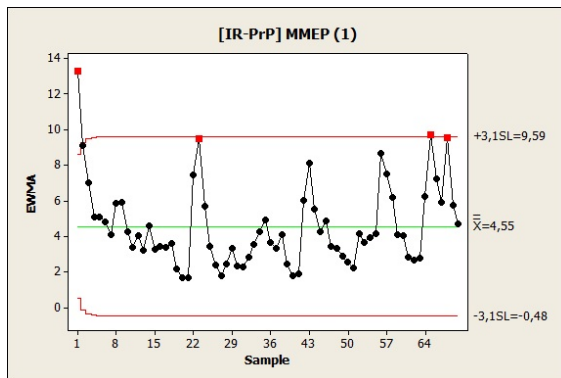


Figura 5.5: [IR-PrP] MMEP (1)

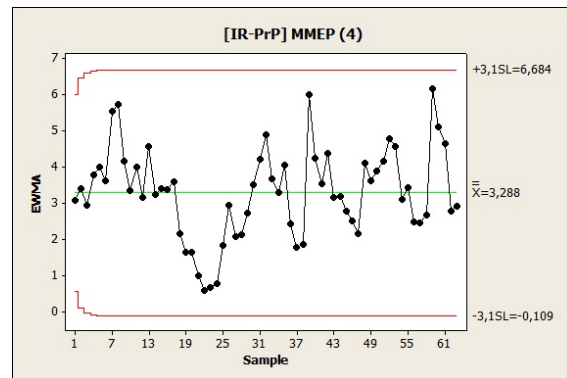


Figura 5.6: [IR-PrP] MMEP (4)

Análise

A exclusão fictícia dos pontos fora-de-controle conduziu o processo a uma situação de produtividade pior, onde o processo sob controle executaria, em média 3,28 PF/hora (figura 5.6) contra 4,55 PF/hora (figura 5.5) no processo fora de controle. Nesse caso podemos perceber que o ponto 1 da figura 5.6 desvia a média do processo, fornecendo ilusoriamente uma média de produtividade alta. A organização deve avaliar se o novo valor de produtividade é aceitável e caso não seja, além das ações de melhoria para eliminar tais causas atribuíveis, são necessárias também ações de melhorias que conduzam o processo a uma produtividade melhor. Porém, se a nova produtividade é aceitável, é pertinente entender que a análise trouxe benefícios, pois, mesmo indicando uma produtividade pior, fornece a previsibilidade real sobre o comportamento do processo.

5.1.1.3 Característica de interesse: Participação do Processo em Produção (PPP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = $-0,078$ [fraca e não significativa ($|\rho| \leq 0,09$)]

Teste de Normalidade

P-valor $< 0,005$ [Valor esperado: P-valor $> 0,005$]

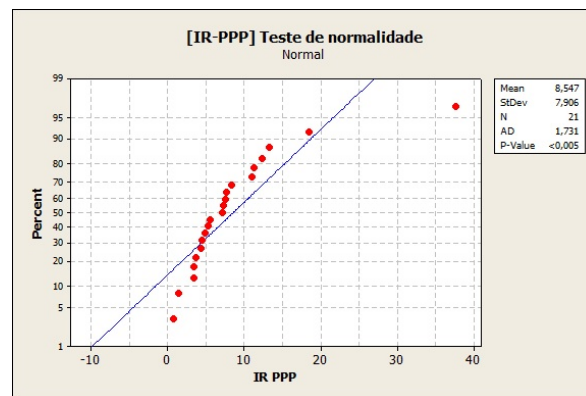


Figura 5.7: [IR-PPP] Teste de normalidade

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à não normalidade, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[IR-PPP] MMEP (1), Figura 5.8 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 15.

[IR-PPP] MMEP (2), Figura 5.9 exibe situação do processo sob controle.

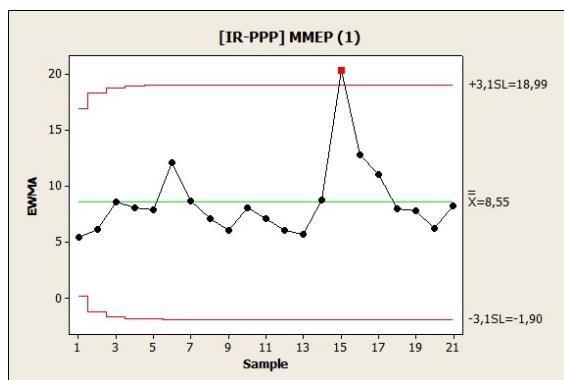


Figura 5.8: [IR-PPP] MMEP (1)

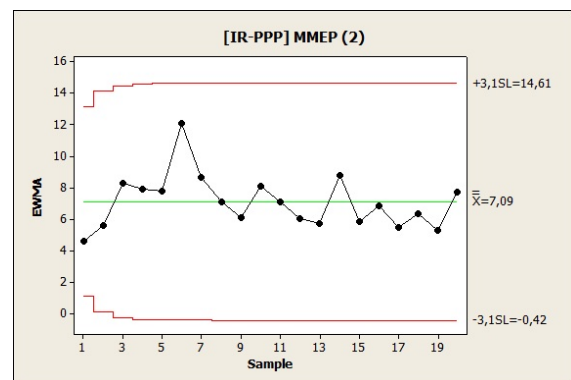


Figura 5.9: [IR-PPP] MMEP (2)

Análise

Essa característica não foi descaracterizada, visto que o somatório de suas médias nos quatro processos (Identificação de requisitos - IR, Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM) deve resultar em aproximadamente 100% de participação na fase de produção. O presente processo foi o único a apresentar-se instável, apesar de evidenciar apenas um ponto fora-de-controle. Todos os demais processos (Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM), para a presente característica, apresentaram-se sob controle. A diferença entre as médias do processo Identificação de Requisito - IR instável (8,55% na figura 5.8) e após a simulação de estabilidade (7,09% na figura 5.9) consistiu na redução de 17% de participação. Porém, esse número não é significativo o bastante para justificar a investigação e a realização de ação de melhorias para a eliminação das causas atribuíveis, pois ele representa apenas 1,46% de erro de estimativa, se considerarmos a participação dessa característica nos 100% do esforço da fase de produção. As informações da participação de cada processo no total do desenvolvimento são úteis para o planejamento da equipe, pois permite que a organização estime o percentual de recursos humanos necessário em cada perfil técnico e o custo de produção (em hora ou ponto de função), a partir do custo médio de cada um desses perfis. Logo, a estabilidade dos processos Detalhamento dos Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM permite previsibilidade nas estimativas de demanda de recursos humanos, conhecimento essencial para a organização. Para ilustrar a participação desses quatro processos no esforço de produção do Laboratório Synergia apresentamos a figura 5.10.

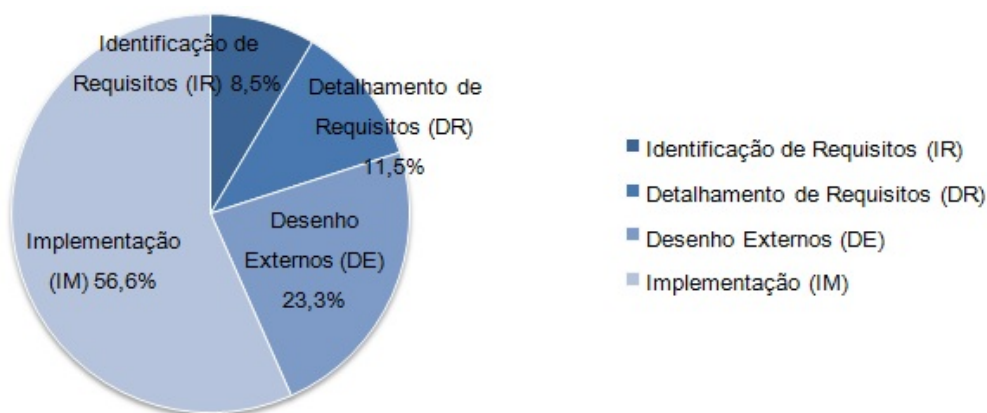


Figura 5.10: Participação dos Processos em Produção

5.1.1.4 Característica de interesse: Defeitos em Produção (DeP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = -0,034 [*fraca e não significativa ($|\rho| \leq 0,09$)*]

Teste de Normalidade

P-valor < 0,005 [*Valor esperado: P-valor > 0,005*]

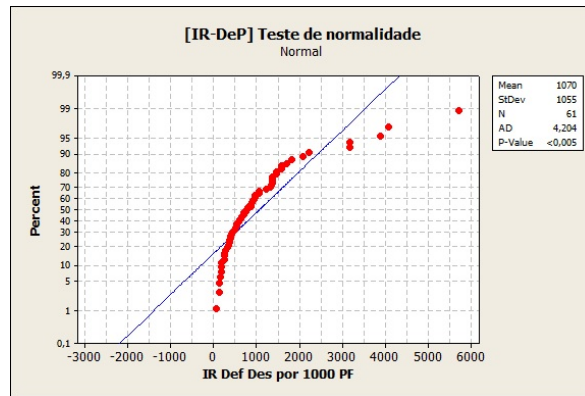


Figura 5.11: [IR-DeP] Teste de normalidade

Gráfico *u*

Devido à não normalidade, o gráfico *u* não será utilizado.

Gráfico MMEP

[IR-DeP] MMEP (1), Figura 5.12 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 21.

[IR-DeP] MMEP (2), Figura 5.13 exhibe situação do processo sob controle.

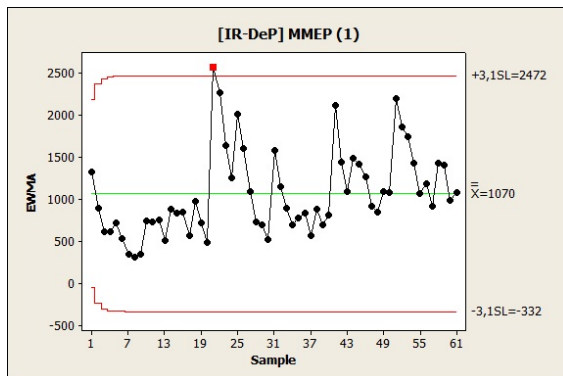


Figura 5.12: [IR-DeP] MMEP (1)

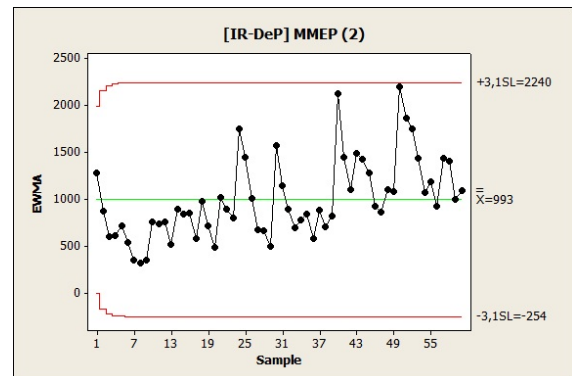


Figura 5.13: [IR-DeP] MMEP (2)

Análise

A característica Defeitos em Produção (DeP) é atributo e deve ser controlada através do gráfico u e do gráfico MMEP. Apenas um ponto foi plotado fora-de-controle, no total de 60 amostras. Apesar disso, se as causas forem investigadas e eliminadas do processo, haverá uma redução de quase 8% no número de defeitos por 1000PF. Foi utilizada a proporção de número de defeitos por 1000 pontos de função (PF) para que, no caso de se plotar o gráfico u , a unidade pudesse ser convertida para número inteiro. O benefício da investigação das causas atribuíveis e das ações de melhorias podem ser justificados pelo custo de corrigir um defeito multiplicado pela redução do número de defeitos por 1000 PF. No presente caso, 77 multiplicado pelo custo médio de corrigir um defeito.

5.1.2 Processo: Detalhamento de Requisitos (DR)

5.1.2.1 Característica de interesse: Retrabalho em Produção (ReP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,227 *[fraca]*

Teste de Correlação entre esforço de revisão e esforço de correção

Correlação de Pearson = 0,032 *[fraca]*

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DR-ReP] MMEP (1), Figura 5.14 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 37; 84; 85; 86; 89.

[DR-ReP] MMEP (2), Teste detectou falha no(s) ponto(s): 8; 17; 32.

[DR-ReP] MMEP (3), Figura 5.15 exhibe situação do processo sob controle.

Análise

Vários pontos fora-de-controle foram detectados, os quais representam aproximadamente 10% das amostras. Percebe-se que se as causas atribuíveis que os

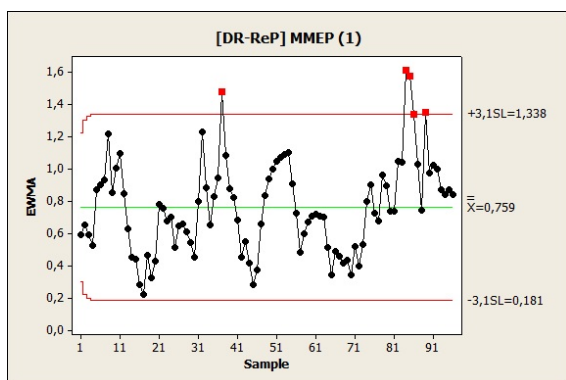


Figura 5.14: [DR-ReP] MMEP (1)

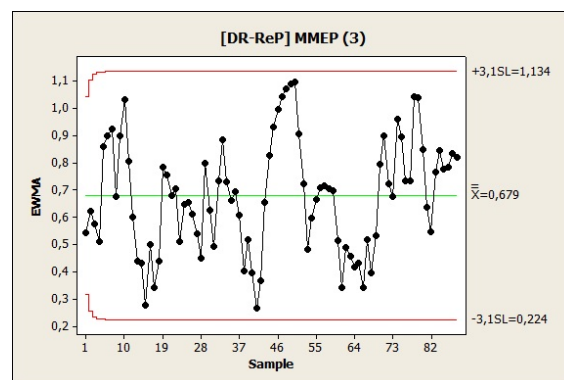


Figura 5.15: [DR-ReP] MMEP (3)

originaram forem eliminadas do processo, a média de retrabalho reduz de 75,9% (figura 5.14) para 67,9% (figura 5.15), uma melhoria quase 10% na média de retrabalho. A correlação entre o esforço de revisão e o esforço de correção ($\rho = 0,032$) é ainda menor que no processo Identificação de Requisitos (IR). As recomendações são semelhantes às do processo IR, porém, ressaltamos que, apesar das melhorias nesse processo serem maiores caso as causas atribuíveis sejam investigadas e eliminadas, o número de pontos fora-de-controle é também significativamente maior.

5.1.2.2 Característica de interesse: Produtividade em Produção (PrP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,226 [fraca]

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DR-PrP] MMEP (1), Figura 5.16 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 36; 84; 85; 86.

[DR-PrP] MMEP (2),(3),(4),(5),(6),(7) e (8), Teste detectou falha no(s) ponto(s): 1; 3; 4; 5; 7; 9; 24; 35; 57; 72; 92; 95.

[DR-PrP] MMEP (9), Figura 5.17 exibe situação do processo sob controle.

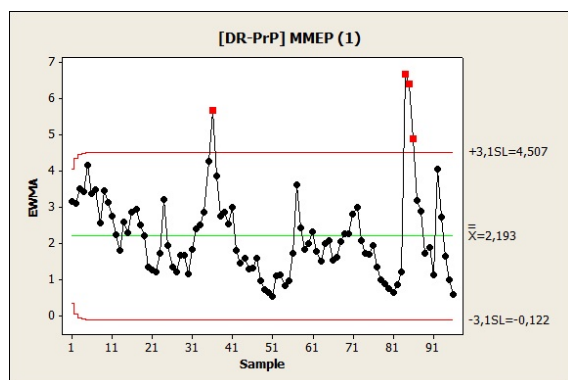


Figura 5.16: [DR-PrP] MMEP (1)

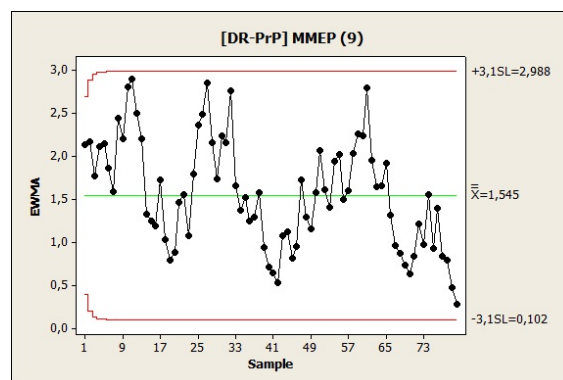


Figura 5.17: [DR-PrP] MMEP (9)

Análise

Podemos perceber que o que ocorreu com o processo Identificação de Requisitos (IR) para a presente característica ocorre para o presente processo. Esse processo sob controle executaria, em média, 2,19 PF/hora (figura 5.16), contra 1,54 PF/hora (figura 5.17) no processo fora-de-controle, ou seja, a produtividade piora. Porém, diferente do processo IR, o número de pontos fora-de-controle no presente processo é significativamente maior. Ressaltamos novamente que se a nova produtividade é aceitável, é pertinente entender que a análise trouxe benefícios ao fornecer a previsibilidade real sobre o comportamento do processo.

5.1.2.3 Característica de interesse: Participação do Processo em Produção (PPP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,069 [fraca e não significativa ($|\rho| \leq 0,09$)]

Teste de Normalidade

P-valor < 0,005 [Valor esperado: P-valor > 0,005]

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à não normalidade, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DR-PPP] MMEP (1), Figura 5.19 exhibe situação do processo sob controle - processo estável.

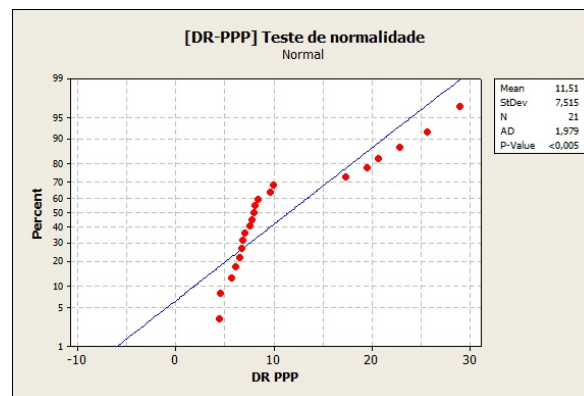


Figura 5.18: [DR-PPP] Teste de normalidade

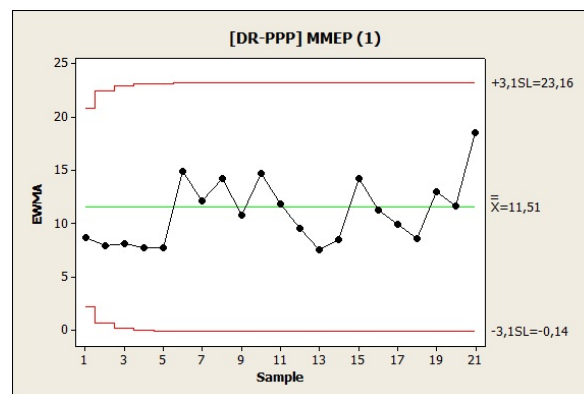


Figura 5.19: [DR-PPP] MMEP (1)

Análise

Essa característica apresentou-se estável, ela participa, em média, com 11,51% do esforço total de desenvolvimento e não foi descaracterizada, visto que o somatório de suas médias nos quatro processos (Identificação de Requisitos - IR, Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM) deve resultar em aproximadamente 100% de participação na fase de produção, como já citado na Seção 5.1.1.3.

5.1.2.4 Característica de interesse: Defeitos em Produção (DeP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,457 [*moderada*]

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação moderada, o gráfico u não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico u

Devido à autocorrelação moderada, o gráfico u não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DR-DeP] MMEP (1), Figura 5.20 - Teste detectou falha no(s) ponto(s): 70; 71; 72; 73; 74; 75.

[DR-DeP] MMEP (2) e (3), Teste detectou falha no(s) ponto(s): 67; 69; 77; 83.

[DR-DeP] MMEP (4), Figura 5.21 exibe situação do processo sob controle.

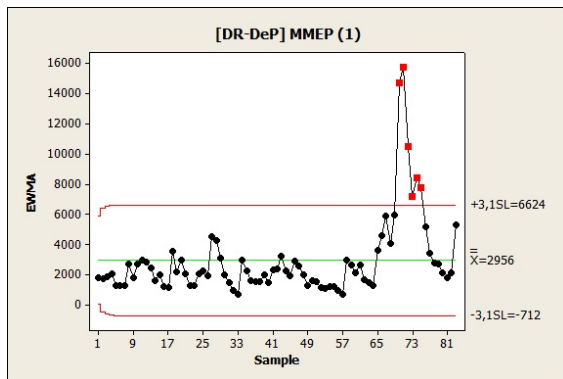


Figura 5.20: [DR-DeP] MMEP (1)

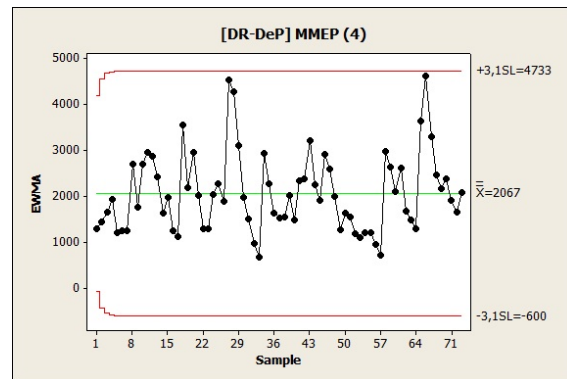


Figura 5.21: [DR-DeP] MMEP (4)

Análise

A característica Defeitos em Produção (DeP) é atributo e deve ser controlada através do gráfico u e do gráfico MMEP. Foram 10 pontos plotados fora-de-controle no total de 83 amostras, ou seja, quase 12% do total de pontos foram plotados fora dos limites de controle. Isso demonstra que esse processo não é estável e estabilizá-lo pode demandar muito esforço. Caso seja despendido esforço para investigar as causas atribuíveis e aplicar melhorias para estabilizá-lo, ou seja, torná-lo previsível, a média de defeitos por 1000 pontos de função reduzirá de 2956 (figura 5.20) para 2067 (figura 5.21) defeitos por 1000 PF, aproximadamente 30% de redução. Esse número é significativo e não deve ser fácil para a organização empreender tamanha melhoria em ações pontuais. Isso deve levar tempo e impactar significativamente outros processos. O benefício da investigação de tais causas atribuíveis e das ações de melhorias podem ser justificados pelo custo de corrigir um defeito multiplicado pela redução do número de defeitos por ponto de função. No presente caso, 889 defeitos multiplicados pelo custo médio de corrigir um defeito.

5.1.3 Processo: Desenho Externo (DE)

5.1.3.1 Característica de interesse: Retrabalho em Produção (ReP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,288 [*fraca*]

Teste de Correlação entre esforço de revisão e esforço de correção

Correlação de Pearson = 0,549 [*moderada*]

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DE-ReP] MMEP (1), Figura 5.22 exhibe situação do processo sob controle - processo estável.

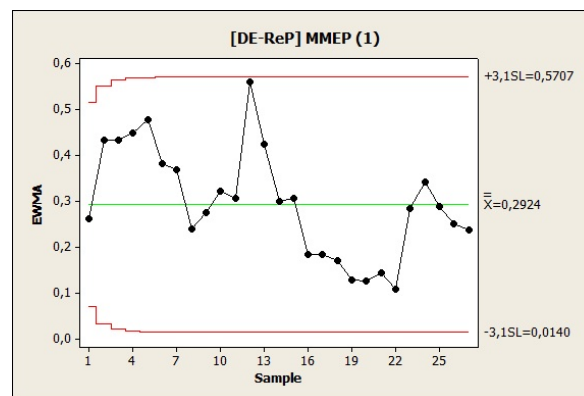


Figura 5.22: [DE-ReP] MMEP (1)

Análise

O teste não detectou falhas, logo, o processo é considerado estável. Comparando o valor da média com os demais processos para essa mesma característica, o presente processo apresenta o melhor valor entre elas. Lembrando que os valores foram descaracterizados, o que não impede essa comparação relativa. Apesar de haver previsibilidade a organização deve avaliar se o valor é aceitável, ou seja, competitivo.

5.1.3.2 Característica de interesse: Produtividade em Produção (PrP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,136 *[fraca]*

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DE-PrP] MMEP (1), Figura 5.23 exhibe situação do processo sob controle - processo estável.

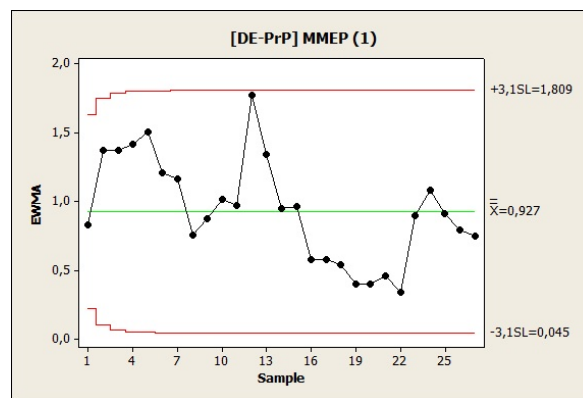


Figura 5.23: [DE-PrP] MMEP (1)

Análise

O teste não detectou falhas, logo, o processo é considerado estável. Comparando o valor dessa média com os demais processos para essa mesma característica, o presente processo apresenta o segundo pior valor entre elas, porém, é também o segundo em participação no processo. Lembrando que os valores foram descaracterizados, o que não impede essa comparação relativa. Apesar de haver previsibilidade a organização deve avaliar se o valor é aceitável, ou seja, se é competitivo. Como a participação desse processo no total do projeto é a segunda maior, aproximadamente 23,3% e, considerando o Princípio de Pareto, a aplicação de melhorias para conduzi-lo a uma produtividade melhor pode trazer significativos impactos positivos tanto no prazo quanto no custo da produção.

5.1.3.3 Característica de interesse: Participação do Processo em Produção (PPP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,110 [*fraca*]

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[DE-PPP] MMEP (1), Figura 5.24 exibe situação do processo sob controle - processo estável.

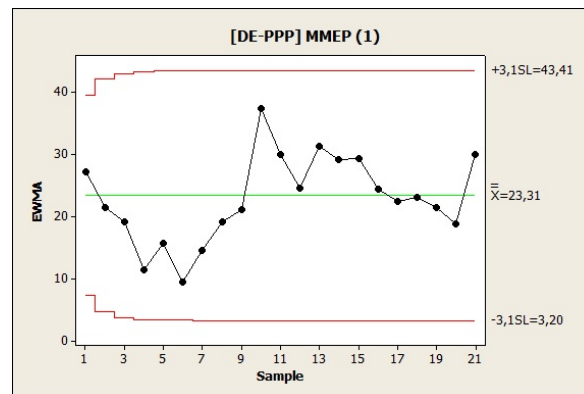


Figura 5.24: [DE-PPP] MMEP (1)

Análise

Essa característica apresentou-se estável, ela participa, em média, com 23,31% do esforço total de desenvolvimento e não foi descaracterizada, visto que o somatório de suas médias nos quatro processos (Identificação de Requisitos - IR, Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM) deve resultar em aproximadamente 100% de participação na fase de produção.

5.1.4 Processo: Implementação (IM)

5.1.4.1 Característica de interesse: Retrabalho em Produção (ReP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,287 *[fraca]*

Teste de Correlação entre esforço de revisão e esforço de correção

Correlação de Pearson = 0,345 *[fraca]*

Teste de Normalidade

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado, consequentemente, não será necessário o teste de normalidade.

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à autocorrelação fraca, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[IM-ReP] MMEP (1), Figura 5.25 exibe situação do processo sob controle - processo estável.

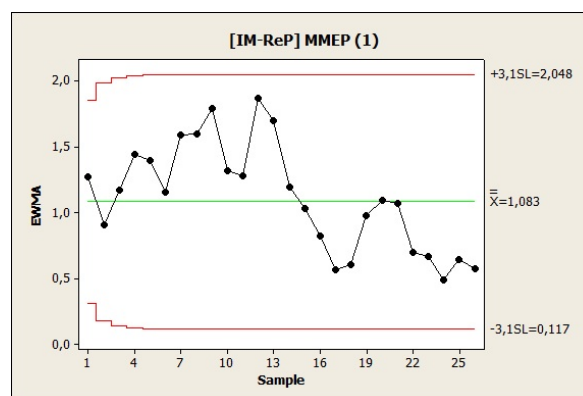


Figura 5.25: [IM-ReP] MMEP (1)

Análise

O teste não detectou falhas, logo, o processo é considerado estável. Comparando o valor da média com os demais processos para essa mesma característica, o presente processo apresenta o pior valor entre elas. Lembrando que os valores foram descaracterizados, o que não impede essa comparação relativa. Apesar de haver previsibilidade a organização deve avaliar se o valor é aceitável, ou seja, competitivo. Esse processo também é o de maior impacto na participação da produção, logo, melhorias para conduzi-lo a um menor índice de retrabalho trarão significativos impactos positivos no custo e prazo do projeto.

5.1.4.2 Característica de interesse: Produtividade em Produção (PrP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = -0,008 [*fraca e não significativa ($|\rho| \leq 0,09$)*]

Teste de Normalidade

P-valor = 0,884 [*Valor esperado: P-valor > 0,005*]

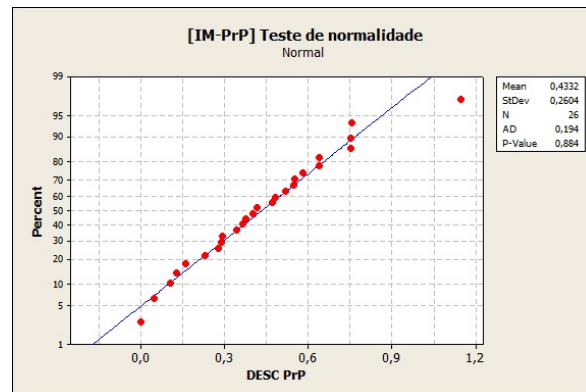


Figura 5.26: [IM-PrP] Teste de normalidade

Gráfico $\bar{X} - I$

[IM-PrP] X-Bar I (1), Figura 5.27 exhibe situação do processo sob controle - processo estável.

Gráfico MMEP

[IM-PrP] MMEP (1), Figura 5.28 exhibe situação do processo sob controle - processo estável.

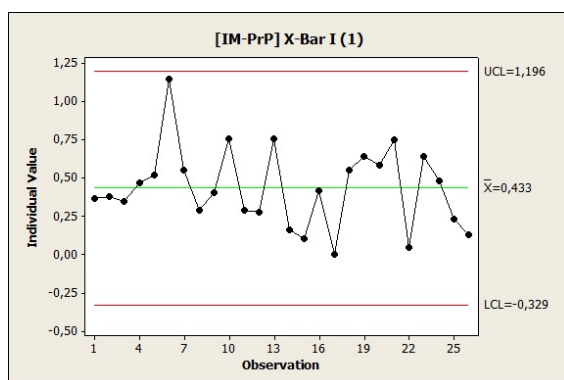


Figura 5.27: [IM-PrP] $\bar{X} - I$ (1)

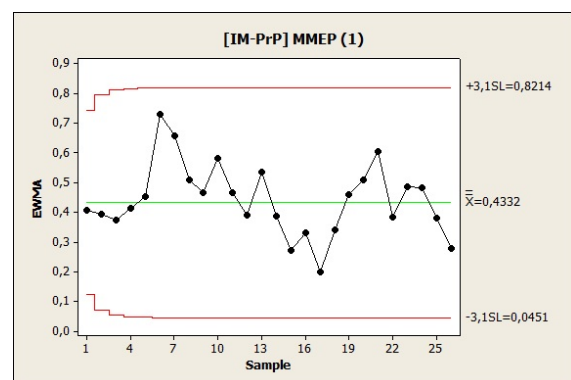


Figura 5.28: [IM-PrP] MMEP (1)

Análise

Essa característica foi o único exemplo onde foi possível utilizar o gráfico $\bar{X} - I$. Para todos os demais ou as características eram autocorrelacionadas ou não eram normalmente distribuídas. O teste não detectou falhas, logo, o processo é considerado estável. Comparando o valor dessa média com os demais processos para essa mesma característica, o presente processo apresenta o pior valor entre elas, e é o primeiro em participação no processo. Lembrando que os valores foram descaracterizados, o que não impede essa comparação relativa. Apesar de haver previsibilidade a organização deve avaliar se o valor é aceitável, ou seja, se é competitivo. Como a participação desse processo no total do projeto é a primeira maior, aproximadamente 56,6% e, considerando o Princípio de Pareto, a aplicação de melhorias para conduzi-lo a uma produtividade melhor pode trazer significativos impactos positivos tanto no prazo quanto no custo da produção.

5.1.4.3 Característica de interesse: Participação do Processo em Produção (PPP)

Teste de Autocorrelação

Correlação de Pearson = 0,040 [*fraca e não significativa* ($|\rho| \leq 0,09$)]

Teste de Normalidade

P-valor < 0,005 [*Valor esperado: P-valor > 0,005*]

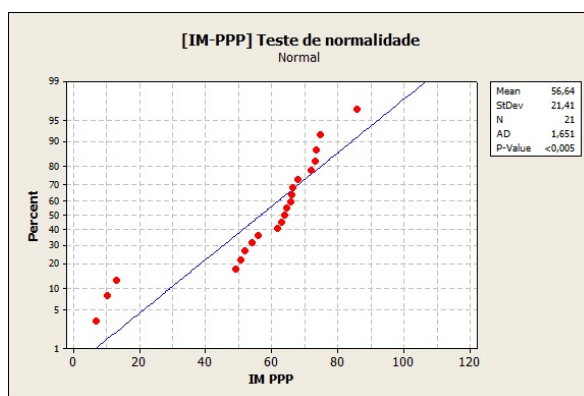


Figura 5.29: [IM-PPP] Teste de normalidade

Gráfico $\bar{X} - I$

Devido à não normalidade, o gráfico $\bar{X} - I$ não será utilizado.

Gráfico MMEP

[IM-PPP] MMEP (1), Figura 5.30 exibe situação do processo sob controle - processo estável.

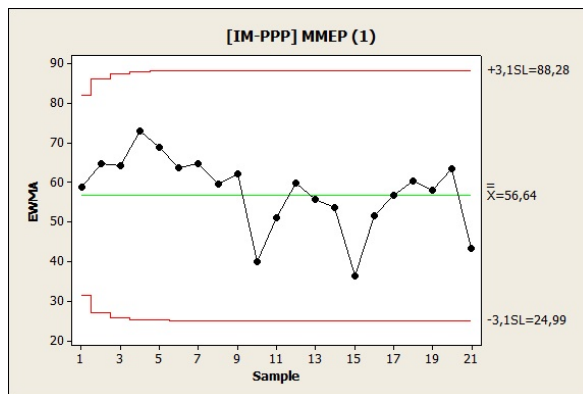


Figura 5.30: [IM-PPP] MMEP (1)

Análise

Essa característica apresentou-se estável, ela participa, em média, com 56,6% do esforço total de desenvolvimento e não foi descaracterizada, visto que o somatório de suas médias nos quatro processos (Identificação de Requisitos - IR, Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM) deve resultar em aproximadamente 100% de participação na fase de produção.

5.2 Visão geral das análises dos resultados

A análise dos resultados foi realizada qualitativamente, a partir dos resultados apresentados na Seção anterior.

- A correlação entre o esforço realizado em revisão e o esforço realizado em correção foi moderada apenas para o processo Desenho Externo - DE, sendo que para os demais processos, Identificação Requisitos - IR, Detalhamento de Requisitos - DR e Implementação - IM, a correlação foi fraca e não significativa. Esse fato pode significar que o esforço em revisão, nos processos Identificação de Requisitos - IR, Detalhamento de Requisitos - DR e Implementação - IM, não está sendo planejado e executado de modo eficiente, visto que não há correlação entre ele e o esforço de correção. Como ação de melhoria, o uso do gráfico de Custo x Benefício é sugerido para apoiar a decisão do planejamento e execução da revisão.

- A taxa de retrabalho precisa ser comparada com valores de benchmark para se concluir se ela está entre os valores executados pelo mercado, ou seja, competitiva. Porém, dentre todas as características avaliadas, é a que apresentou maior valor absoluto, o que torna maior as chances das melhorias serem mais significativas. Logo, ações de melhorias com foco em redução de retrabalho são sugeridas. O processo Implementação - IM, com maior Participação em Produção (PPP) é também o que apresenta maior Retrabalho em Produção (ReP). Esse fato sugere que as ações de melhoria se iniciem e sejam mais focadas nesse processo.
- Os processos Desenho Externo - DE e Implementação - IM se mostraram estáveis para as três características de interesse Retrabalho em Produção (ReP), Produtividade em Produção (PrP) e Participação do Processo em Produção (PPP). Disso conclui-se que a organização tem previsibilidade para planejar com precisão tais processos, porém, isso não significa que a média ou o desvio padrão atuais estejam dentro do limite de especificação desejado, ou seja, se são competitivos. Os limites de especificação não foram informados.
- A característica de interesse Produtividade em Produção (PPP) encontra-se estável para os quatro processos Identificação de Requisitos - ID, Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM. Disso conclui-se que a organização já tem previsibilidade para planejar com precisão a distribuição do esforço entre esses processos.
- O desvio padrão encontrado para a maioria dos processos levados a uma situação fictícia de estabilidade é alto. Isso pode ser entendido como característica própria dos processos de software, onde a produção depende fortemente da interferência e criatividade humana, não tendo alta precisão como processos automatizados de produção.

5.3 Análise de viabilidade Modelo CEP-S

Esta Seção apresenta uma análise do Modelo CEP-S do ponto de vista de sua aplicabilidade e avalia se os objetivos a que ele se propõe estão sendo atendidos. Essa análise foi feita a partir da realização do estudo de caso, onde o Modelo foi aplicado ao Laboratório Synergia, organização de médio porte.

Quatro características de interesse foram planejadas e monitoradas no estudo de caso. A escolha dessas quatro características, dentre as doze propostas pelo Modelo, considerou quais poderiam ser derivadas de dados que já eram coletados e analisados

pelo Laboratório Synergia, ou seja, que já faziam parte de seu plano de medições. Concluimos que foi possível aplicar o Modelo a uma organização de médio porte e ainda utilizar o plano atual de medições dessa organização sem que alterações fossem demandadas.

Essa escolha não se restringiu ao uso apenas das características que estivessem alinhadas aos objetivos estratégicos do Laboratório Synergia, visto que o objetivo do estudo de caso era validar a proposta do Modelo. Porém tais objetivos foram avaliados e foi possível identificar que as características de interesse que tratam de retrabalho estão alinhadas e podem colaborar com a estratégia dessa organização.

Não foi possível planejar, monitorar e validar, através do estudo do caso, todas as características de interesse propostas pelo Modelo, visto que não havia dados disponíveis para derivá-las. Para viabilizar essa derivação, seria necessária a realização de um experimento e não do estudo de caso. O experimento demandaria alterações no plano de medição da organização, as quais não poderiam ser justificadas apenas pelos objetivos do presente trabalho acadêmico, o que torna a execução de tal experimento inviável. Porém, foi possível, somente com o estudo de caso, monitorar essas quatro características para quatro processos: identificação de requisitos, detalhamento de requisitos, desenho externo e implementação. Conclusões significativas desse monitoramento foram alcançadas, mesmo com algumas condições fictícias de estabilização dos processos, as quais são: identificação dos processos estáveis, evidenciação da média e desvio padrão das características por processo, informações sobre as causas atribuíveis, quantificação dos ganhos e, finalmente, a viabilidade de extensão do Modelo para ser aplicado a quatro processos.

Tomamos como exemplo a característica Retrabalho em Produção (ReP) do processo de Detalhamento de Requisitos (DR). Antes da aplicação do Modelo CEP-S ela mostrava 75,9% de retrabalho em produção e após a aplicação do Modelo, simulando a eliminação das causas atribuíveis do processo, ela passou a mostrar 67,9% de retrabalho. Temos que considerar o risco da organização não conseguir identificar todas as causas atribuíveis ou realizar ações que sejam efetivas para levar o processo à situação de estabilidade, mas analisando qualitativamente a situação, é possível concluir que poderia haver uma redução de mais de 10,5% do retrabalho, sendo possível quantificar o ganho entre a situação anterior e posterior à aplicação do controle e das ações de melhorias. Nesse mesmo exemplo podemos mostrar que o modelo auxiliou na identificação dos momentos que os pontos foram plotados fora-de-controle, facilitando as investigações da causa atribuível.

Foi possível gerar um gráfico de controle para todas as quatro características de interesse, para cada um dos quatro processos, ou seja, não houve restrição quanto à

quantidade dos dados, devido aos controles terem sido estabelecidos por agrupamento de casos de uso. Isso evidencia que, para o estudo de caso realizado, foi possível, novamente sem alteração no plano de medições da organização, utilizar um agrupador para as medidas.

Comparando os testes de autocorrelação para três características (Retrabalho em Produção - ReP, Produtividade em Produção PrP e Participação do Processo em Produção - PPP) em cada um dos quatro processos (Identificação de Requisitos - ID, Detalhamento de Requisitos - DR, Desenho Externo - DE e Implementação - IM), temos que 50% delas resultaram em autocorrelação fraca e 50% em autocorrelação inexistente. Isso restringiu o uso do gráfico $\bar{X} - I$ a 50% dos casos. Além disso, o teste de normalidade limitou a apenas um caso, dos seis restantes, o uso do gráfico $\bar{X} - I$, visto que apenas um apresentou distribuição normal. Logo, para o estudo de caso realizado, o gráfico $\bar{X} - I$ colaborou em apenas em 8,3% dos casos, o que mostra que a utilização do gráfico MMEP teve um papel importante no modelo proposto.

O tempo para executar uma aplicação do modelo depende do estado atual de maturidade da organização em relação aos requisitos do modelo. Para a aplicação no Laboratório Synergia, considerando a estabilização fictícia dos processos, 40 horas foram suficientes, para quatro características de interesse de quatro processos cada. Essa aplicação foi realizada em pouco tempo devido à organização já ter disponíveis os dados necessários, ou seja, já executar eficientemente seu plano de medições. Caso a organização ainda não execute a coleta e análise das medidas necessárias, o período de aplicação do modelo dependerá de quão rápido ela conseguir implantar tal execução. Tomando como referência uma pesquisa recente realizada sobre a adoção do modelo MPS.BR, Travassos & Kalinowski [2008], as organizações levam, em média, doze meses para avançar um nível. Se avaliarmos o primeiro nível que indica a implantação de medições e outras práticas e considerarmos a pesquisa, podemos dizer que um ano é um prazo factível para a organização implantar a coleta e análise de medições. A execução real da estabilização dos processos, que pode ser significativa, é outro ponto que deve ser considerado para o tempo da aplicação do modelo. Porém, como no estudo de caso tais atividades foram simuladas, não dispomos de referências que nos permitam prever quão demoradas podem ser essas atividades.

Não foi possível avaliar o modelo quanto ao impacto do reuso, da linguagem de programação, do *framework*, da complexidade dos requisitos ou de outros fatores que distinguem os controles, visto que não havia dados disponíveis.

Considerando a análise dos resultados e a análise sobre a aplicabilidade do Modelo CEP-S, foi possível evidenciar que ele auxilia a gestão da qualidade e a promoção da maturidade dos processos; fornece informações sobre a existência de causas especiais

de variação e a previsibilidade dos processos; apoia a quantificação dos ganhos providos pelas ações de melhoria; apoia a apresentação e descrição de informações para a tomada de decisão; apoia a formulação de estimativas confiáveis a partir das informações da capacidade dos processos; e finalmente, mostrou-se aplicável a organização de médio porte, sem demandar mudanças no plano de medições existente.

Capítulo 6

Conclusão

A taxa de defeitos, apesar de ser a característica de interesse mais utilizada em CEP de desenvolvimento de software, é uma medida pouco significativa para a base de estimativa da organização, pois não é homogênea de forma a permitir comparações entre unidades de produção distintas. Não é possível dizer que 500 defeitos em um projeto de 100 pontos de função ocasionam um efeito pior, em termos de custo ou prazo, que 50 defeitos em um projeto também de 100 pontos de função. Isso porque cada defeito demanda um esforço diferente para ser corrigido e nem sempre a contagem de um defeito é precisa, de forma a refletir exatamente suas causas. Outro ponto a se destacar é o fato dos defeitos serem classificados de forma simplista pela maioria das organizações, o que impede uma análise expressiva de suas causas.

As características de interesse propostas no modelo CEP-S, baseadas em esforço, são mais significativas que a taxa de defeitos, transmitem mais informações, são comparáveis entre as unidades de produto de software e alinhadas com as questões estratégicas. A maioria das características propostas são formadas pela medida do esforço para execução das atividades fim, de qualidade e de retrabalho. Explorar tais características possibilitou a criação de um arcabouço com escolhas pré-definidas, porém flexível, para aplicação de CEP em processos de desenvolvimento de software. Consideramos esse arcabouço bem definido por ele fornecer uma visão geral das atividades para o planejamento e a execução de CEP e por tratar especificamente: (i) da seleção dos processos alvo de CEP; (ii) da definição de uma visão de como tais processos são organizados para o planejamento das medições; (iii) da apresentação dos conceitos envolvidos e das personalizações necessárias para adaptar o modelo à organização; (iv) da identificação das características de interesse e de um mecanismo de seleção dessas a partir da visão dos objetivos estratégicos; (v) da sugestão de uma segmentação da produção, o que reduz a restrição da quantidade de dados inerentes a projetos de software; (vi) da de-

finição dos gráficos adequados para os processos; (vii) e por fim, das sugestões para os parâmetros de controle e os testes de estabilidade.

A taxa de defeitos, mesmo sendo uma característica de interesse pouco adequada para CEP, devido à baixa significância do resultado da comparação de seus valores dentre as unidades de produto de software, pode auxiliar o gerente de projetos a acompanhar a situação dos defeitos durante a execução dos projetos e a monitorar a percepção do cliente quanto à qualidade do produto. Por essas razões, a taxa de defeitos é uma característica de interesse que compõe o modelo CEP-S. Ela é usada também para analisar até quando o custo do esforço com as atividades de testes vale o benefício de encontrar mais um defeito e para analisar os tipos de defeitos, de acordo com a frequência de suas ocorrências. O modelo CEP-S propõe análises mais adequadas para a taxa de defeitos, indo além do CEP, e sugestões significativas para a classificação dos defeitos, o que permite ações de melhorias mais efetivas a partir de informações mais rigorosas de suas causas.

Finalmente, o modelo propõe o uso combinado dos gráficos $\bar{X} - I$ e MMEP, criando um arcabouço eficiente tanto para grandes quanto para pequenas magnitudes de desvios da média. Além disso, é uma alternativa e evitar o uso indevido do gráfico de Shewhart para quando os dados não respeitarem as restrições de normalidade e autocorrelação.

Por ser uma ferramenta poderosa para apoiar o gerenciamento quantitativo e a melhoria contínua dos processos e por ser bem definido, espera-se que o modelo aqui proposto possa ser utilizado por organizações, ainda que de pequeno e médio porte, nas primeiras investidas em controle estatístico de processos. É importante ressaltar que o esforço de preparação para a aplicação de CEP é considerável e que o modelo se restringe a organizações capazes de planejar e executar efetivamente um plano de medição e de realizar ações efetivas de melhorias. Esses pré-requisitos são os meios para garantir a geração de dados confiáveis e a estabilização dos processos.

6.1 Trabalhos futuros

O modelo CEP-S propõe uma combinação de gráficos de controle para características de interesse que tenham autocorrelação inexistente, fraca ou moderada. O gráfico $\bar{X} - I$ é aplicável quando a autocorrelação das características for inexistente e o gráfico MMEP para quando as características tiverem autocorrelação inexistente, fraca ou moderada. Apesar dos estudos de caso revelarem a inexistência de autocorrelação forte, para as características de interesse propostas, a incorporação de mecanismos que

tratem também essa situação é viável e pode deixar o modelo mais robusto.

Dentre as características de interesse propostas, nenhuma atua diretamente para o controle dos custos do projeto, o que seria uma extensão interessante para este trabalho. Estudos preliminares foram realizados, os quais apontaram redes bayesianas como um bom mecanismo para tratar previsões de custos. Redes bayesianas são modelos gráficos que representam relações probabilísticas entre as variáveis de um sistema, lida com raciocínio probabilístico e usa dados subjetivos de especialistas, quando as informações históricas forem insuficientes para construção das previsões.

A característica *DeM* (defeitos em manutenção) pode monitorar o objetivo estratégico “*qualidade percebida pelo cliente*”. Porém, a realização de um estudo com foco no mapeamento da “voz do cliente” de serviços de desenvolvimento de software sob encomenda pode desdobrar outras necessidades de monitoramento e consequentemente outras características de interesse. Dentre as ferramentas existentes para apoiar a execução desse mapeamento citamos a metodologia QFD (*Quality Function Deployment*) e o Modelo Kano. O QFD “desdobra” os requisitos expostos pelos clientes, através do uso de matrizes, transformando-os em especificação técnica do projeto. É uma técnica bastante difundida no mercado, porém, complexa de ser utilizada. Foi desenvolvida por Dr. Yoji Akao, apud Cheng & Melo [2007]. Kano é um modelo para categorização da satisfação dos consumidores que propõe a classificação dos atributos do produto baseado em como eles são percebidos, consciente ou inconscientemente, pelos consumidores. Essa classificação é usada para guiar decisões de projetos e melhorias nos produtos indicando quando o “bom” é suficiente ou quando mais é melhor. Esse modelo foi desenvolvido pelo professor Noriaki Kano, Tontini [2003]; Dodson [2008]; Apostila [2002] apud Kano [1984], é também bastante difundido e não tão complexo quanto QFD.

O modelo se propõe a apoiar as organizações nas primeiras investidas em CEP, mas não fornece uma análise se alguma de suas propostas pode beneficiar organizações que já utilizam CEP. Acreditamos que, ainda que as organizações já tenham seus modelos de CEP elaborados, pelo menos as características de interesse propostas possam ser úteis. Para validar essa suposição é necessária a realização de um estudo através de pesquisa de campo nas empresas que já utilizam CEP.

E, finalmente, como última sugestão de trabalhos futuros, entendemos que a utilização do modelo CEP-S em outros projetos de desenvolvimento de software, indo além do estudo de caso realizado, poderia consolidar e promover as práticas propostas assim como desenvolvê-las.

Apêndice A

Conceitos e fórmulas estatísticas

A.1 Definições iniciais

As definições descritas neste Apêndice foram extraídas de Costa et al. [2008]; Levine et al. [2000]; Meyer [1983].

Estudo Analítico Realização de algumas ações num processo para melhorar o desempenho futuro.

Estudo Enumerativo Tomada de decisão voltada para uma população e/ou suas características.

Parâmetro Uma medida numérica que descreve alguma característica de uma população.

População ou Universo A totalidade dos itens ou objetos considerados.

Teorema do Limite Central A distribuição normal é considerada, com frequência, como o modelo probabilístico apropriado para uma variável aleatória. A distribuição da soma de n variáveis aleatórias independentes é aproximadamente normal, independentemente das distribuições individuais das variáveis. A aproximação melhora a medida que n aumenta. Montgomery [2004]. É usual considerar que o tamanho n da amostra é suficientemente grande quando n é superior a 30, Costa et al. [2008]

Experimento ε Determinístico Modelo cujas condições sob as quais um experimento seja executado determinem o resultado do mesmo. Se o experimento for executado repetidamente toda vez utilizando as mesmas condições o valor resultante é o mesmo.

Experimento ε Não-determinístico Também conhecido como Modelo Aleatório ou Probabilístico ou Estocástico. Não é sabido de antemão qual particular resultado irá ocorrer apesar do conjunto dos possíveis resultados serem conhecidos; cada experimento pode ser repetido indefinidamente sob condições essencialmente inalteradas. As condições da experimentação determinam somente o comportamento probabilístico do resultado observável.

Espaço Amostral S Conjunto de todos os resultados possíveis para cada experimento realizado. Utilizaremos S para representar o espaço amostral.

Exemplo A.1 *O espaço amostral $S = \{HH, HT, TH, TT\}$ representa os resultados do experimento de jogar duas moedas, onde H representa o evento “cara”, T representa o evento “coroa”*

Evento A Conjunto de resultados possíveis associados a um experimento ε num espaço amostral S .

Probabilidade P Seja ε um experimento. Seja S um espaço amostral associado a ε . A cada evento A associado a um número real representado por $P(A)$ e denominado *probabilidade de A* , que satisfaça as propriedades:

- (1) $0 \leq P(A) \leq 1$
 - (2) $P(S) = 1$
 - (3) Se A e B forem eventos mutuamente excludentes, então,

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$
 - (4) Se $A_1, A_2, \dots, A_n, \dots$ forem, dois a dois, eventos mutuamente excludentes, então,

$$P(\cup_{i=1}^{\infty} A_i) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) + \dots$$
- (A.1)

Variável Aleatória X Uma função X , que associe cada elemento $s \in S$, um número real $X(s)$. Uma **variável aleatória discreta** produz resposta numérica finito ou infinito numerável, que surge a partir de um processo de contagem enquanto uma **variável aleatória contínua** produz resposta com infinitos valores, que surge a partir de um processo de medição.

Exemplo A.2 *A variável aleatória X para o Exemplo A.1 é “o número de caras obtidas”.*

Variável Aleatória Discreta

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad (\text{A.2})$$

A cada possível resultado x_i associaremos um número $p(x_i) = P(X=x_i)$ denominado *função de probabilidade de X* que deve satisfazer as condições:

$$\begin{aligned} (a) \quad & p(x_i) \geq 0 \text{ para todo } i \\ (b) \quad & \sum_{i=1}^{\infty} p(x_i) = 1 \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Variável Aleatória Contínua

$$0 \leq x \leq 1. \quad (\text{A.4})$$

Para *todos* os valores de x associaremos a função f denominada *função densidade de probabilidade de X* que deve satisfazer as condições:

$$\begin{aligned} (a) \quad & f(x) \geq 0 \text{ para todo } x, \\ (b) \quad & \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \\ (c) \quad & \text{para quaisquer } a, b, \text{ com } -\infty < a < b < +\infty, \text{ teremos} \\ & P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx. \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

Contra Domínio $R(x)$ Conjunto de todos os valores possíveis de X .

Exemplo A.3 $R(x) = \{0, 1, 2\}$ representa o contra domínio da variável aleatória X do Exemplo A.2.

Distribuição Binomial $P(X=k)$ Distribuição de probabilidade discreta do número de sucesso para n repetições de um experimento, onde as repetições são independentes e a probabilidade de cada repetição p permanece constante. A variável X binomial tem apenas duas possibilidades: sucesso ou fracasso; defeituoso ou não defeituoso; 0 ou 1.

Teorema A.1 *Seja X uma variável binomial, baseada em n repetições. Então*

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, k = 0, 1, \dots, n. \quad (\text{A.6})$$

Distribuição Normal $f(x)$ Distribuição de probabilidade contínua do

Teorema A.2 *Seja X uma variável aleatória normal, então:*

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2}, -\infty < x < \infty. \quad (\text{A.7})$$

Esperança $E(X)$ Seja x uma variável aleatória discreta, com valores possíveis x_1, \dots, x_n, \dots . Seja $p(x_i) = P(X=x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n, \dots$. Então, a *esperança* (ou valor esperado ou valor médio ou expectância) de X , denotado por $E(X)$ é definido como:

$$E(X) = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p(x_i) \quad (\text{A.8})$$

Seja X uma variável aleatória contínua com *fdp* f . O *valor esperado* de X é definido como:

$$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad (\text{A.9})$$

e $E(X)$ existirá se, e somente se, $E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} |x| f(x) dx$ for finita.

Variância σ_x^2 Seja X uma variável aleatória. Definimos a *variância* de X , denotada por σ_x^2 ou $\text{Var}(X)$ ou ainda σ^2 , como:

$$\sigma_x^2 = E[X - E(X)]^2. \quad (\text{A.10})$$

O **Desvio Padrão** σ_x é a raiz quadrada positiva de σ_x^2 .

A variância e o desvio padrão avaliam o modo como os dados flutuam em torno da média, medindo a dispersão “média” em torno da média aritmética. A variância σ_x^2 é expressa em unidades quadradas de X . Esse é um motivo para considerar o desvio-padrão σ_x que é expresso na mesma medida de X .

Covariância *Cov* A covariância é a medida da dispersão entre duas variáveis.

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n} \quad \text{ou} \quad \text{cov}(X, Y) = \bar{X}\bar{Y} - \bar{X}\bar{Y} \quad (\text{A.11})$$

Desigualdade de Tchebycheff Seja X uma variável aleatória, com $E(X) = \mu$, e seja c um número real qualquer. Então, se $E(X-c)^2$ for finita e ϵ for qualquer número positivo, teremos:

$$P[|X - c| \geq \epsilon] \leq \frac{1}{\epsilon^2} E(X - c)^2 \quad (\text{A.12})$$

Coefficiente de Correlação ρ Seja (X, Y) uma variável aleatória bidimensional. ρ_{xy} é o *coeficiente de correlação* entre X e Y , dado por:

$$\rho_{xy} = \frac{E[X - E(X)][Y - E(Y)]}{\sqrt{V(X)V(Y)}} \quad (\text{A.13})$$

A.2 Erros de pesquisa

Existem quatro tipos de erros de pesquisa cujos experimentos devem tentar reduzir pois geralmente incorrem em custo considerável, Levine et al. [2000]. O **Erro de Cobertura** é a seleção não apropriada da população, onde certos grupos são excluídos; a **Falta de Resposta** é a falha na coleta de dados de todos os elementos da amostra por falta de resposta; o **Erro de Amostragem** que reflete a heterogeneidade de amostra para amostra, com base na probabilidade dos elementos serem selecionados nas amostras em particular; o **Erro de Medição** que se refere a falta de exatidão das respostas registradas, o que pode ocorrer por deficiência na formulação da pergunta, por efeito causado pelo entrevistador ou por causa do esforço realizado pelo informante.

Apêndice B

Caracterização do software

A tabela B.1 apresenta as classificações do software, dada por Gutierrez & Alexandre [2004], quanto ao modelo de negócio, à forma de comercialização e quanto ao mercado alvo.

<i>Quanto ao Modelo de Negócio</i>	
Produto	Infra-estrutura: sistema operacional, servidores, middleware, gerenciador de rede, gerenciador de arquivos, gerenciador de sistemas, segurança;
	Ferramentas: linguagem de programação, editor, planilha, compilador, gerenciador de desenvolvimento, modelagem de dados, business intelligence (BI), data warehouse (DW), ferramentas da internet;
	Aplicativos: enterprise resource planning (ERP), customer relationship management (CRM), recursos humanos, supply chain management (SCM);
Serviços	Discretos: serviços em geral contratados por períodos curtos;
	Outsourcing: é a terceirização do desenvolvimento de software ou outros serviços, onde ocorre a transferência de uma parte significativa da responsabilidade pelo gerenciamento do serviço para o provedor do serviço. Esse pode ser convencional, que é a terceirização de uma atividade na área de TI, ou BPO (business process outsourcing), onde o fornecedor é responsável pelo processo ou função de negócio do cliente;
Embarcado	Software construído para um determinado produto eletrônico, uma máquina;
<i>Quanto à Forma de Comercialização</i>	

Pacote	Produto totalmente desenvolvido antes de ser lançado no mercado, busca atender às necessidades gerais dos usuários. A relação da empresa desenvolvedora e do usuário é fraca;
Customizado	Grande parte do produto é desenvolvido antes de ser lançado no mercado, mas com algumas adaptações para cada usuário ou instalação; busca atender às necessidades específicas dos usuários. A relação da empresa desenvolvedora e do usuário é forte;
Sob Encomenda	Produto desenvolvido para atendimento a necessidades exclusivas de um usuário. A relação da empresa desenvolvedora e do usuário é intensa.
<i>Quanto ao Mercado Alvo</i>	
Horizontal	Software de uso geral, exemplos: planilhas, editores;
Vertical	Software de uso específico, para um determinado processo de negócio, exemplos: gestão hospitalar, projeto de circuitos integrados;

Tabela B.1: Classificação do Software

Outras características do software são descritas abaixo:

- É uma mercadoria de natureza não-material que não emprega matérias-primas consumíveis ao longo de seu ciclo produtivo, Roselino [2006a].
- Pelo lado da demanda, diferentemente de informação que se valoriza pela sua capacidade de influenciar ou informar, o software é similar a muitos bens materiais e serviços que têm os seus valores determinados pelas ações que desempenham, Messerschmitt & Szyperski [2000].
- É ainda majoritariamente produzido manualmente, Pressman [1997];
- Os custos do software estão concentrados na produção da primeira unidade, custos de criação, Pressman [1997]. Esses custos caracterizam o cenário de empresas desenvolvedoras de software como serviço. Os custos de reprodução e distribuição, custos marginais, são mínimos (praticamente desprezíveis), o que caracteriza os custos das empresas desenvolvedoras de software como produto.
- O uso do software não resulta em desgastes. A troca de uma versão é decorrente da evolução tecnológica e não dos desgastes, Pressman [1997].
- A interatividade entre usuário e desenvolvedores de software como serviço é intrínseca ao processo de produção, diferentemente do que acontece no software

pacote. Como fator competitivo preponderante estão não só o conhecimento das atividades como também das necessidades dos clientes. Os riscos de mercado são menores, pois as vendas são efetuadas antes, porém os custos de desenvolvimento são mais significativos, Freire [2002].

- Software é intangível. A definição tradicional de “intangibilidade” focaliza, principalmente, a impossibilidade de um produto ser tocado e a dificuldade de ser visualizado ou claramente definido na mente do consumidor. Como conseqüência, diversos desafios manifestam-se no gerenciamento de serviços, incluindo a própria impossibilidade de estocagem, maiores dificuldades na definição de preço, limitações na obtenção de patentes, restrições na comunicação com o mercado e maior complexidade nas avaliações por parte do consumidor em todas as etapas da compra e consumo, Berry & Pasuraman [2004].

Apêndice C

Análise do cenário atual do mercado de software nacional

O Brasil movimentou em 2008 aproximadamente 10 bilhões de dólares em serviços de software, com uma expectativa de crescimento superior a 10% ao ano até 2010. Em relação às exportações, o valor é 2.2 bilhões de dólares com estimativa de 3 bilhões para 2009. *Fontes:* Lobo [2009]; ABES [2009a]. A Índia, que ocupa o primeiro no ranking mundial em valores de exportação de serviços de software, exportou 40 bilhões de dólares e estima ultrapassar 50 bilhões em 2009. Comparando esses dois países na ótica de exportação, o Brasil está bastante acanhado.

Ressaltamos que em 2007 o Brasil produzia, para o mercado interno e exportação, próximo a 94% da produção total da Índia, que era praticamente de exportação. Atualmente, a produção brasileira representa apenas 30% da produção total da Índia e mesmo com programas governamentais de incentivos à exportação, vide tabela C.1 Histórico dos marcos das ações políticas do Brasil, não conseguiu acompanhar o crescimento do mercado mundial, muito menos aumentar a fatia de participação nas exportações, como várias vezes foi objetivado pelos programas. Esses programas continuam na tentativa de fazer com que o Brasil entre significativamente nesse mercado, cujas projeções são promissoras.

Aproximadamente 94% das empresas brasileiras de software, que atuam com desenvolvimento e produção, são classificadas como micro e pequenas empresas, ABES [2009a]. Considerando todos os segmentos de software, 57% são pequenas e 5% médias, vide distribuição por porte na figura C.1, extraído de ABES [2009b]:

Há vários fatores que colocam o Brasil numa posição significativa no mercado interno e sem grande relevância no mercado de exportações. A análise realizada aqui considera que ambos os mercados, interno e de exportação, podem ser de interesse de

<i>Ano</i>	<i>Ação Política</i>
70s/80s	Lei 7.232 (outubro/84) controle das importações.
90s	Liberação das importações.
1991	Lei 8.248/91 (Lei de Informática - outubro/91) isenções fiscais (IPI, IR e CAP), processos produtivos básicos e P&D.
1992	Fim da política de reserva de mercado e criação do Programa SOFTEX 2000 (Programa Nacional de Software para Exportação).
1996	Criação da Sociedade SOFTEX, organização não-governamental para gerenciar o programa SOFTEX.
2000	Lei 10.176/01 (substitui a anterior - janeiro/01) plano de P&D, modifica os percentuais de incentivos (IPI), credenciamentos.
2003	Portaria MCT-051/2003 regula a participação das empresas beneficiárias dos incentivos fiscais previstos no art. 4º da Lei 8248, de 23/10/1991.
2004	Lei 11.077 (substitui a anterior - dezembro/04) incluindo tecnologia nacional.

Tabela C.1: Histórico dos marcos das ações políticas do Brasil

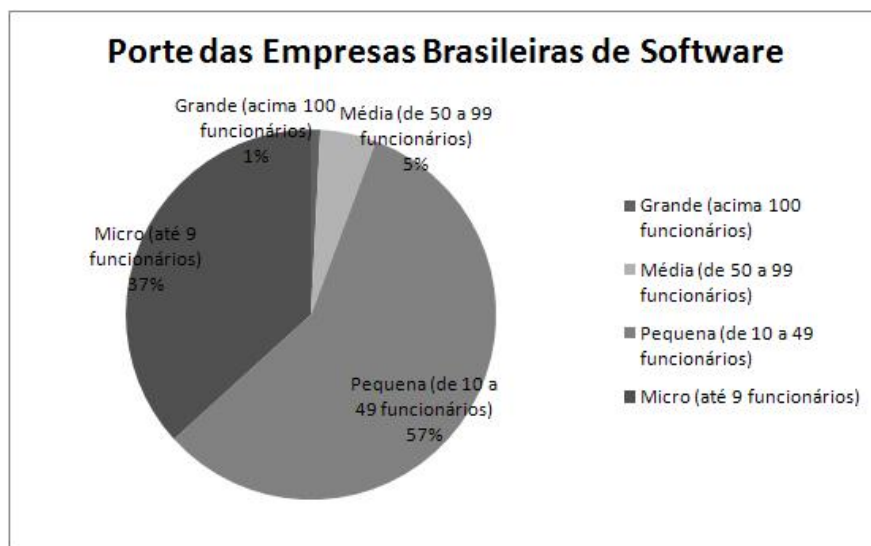


Figura C.1: Porte das empresas brasileiras de software

PME que visam crescimento.

- O mercado interno atrativo favorece PME na atuação em nichos que grandes empresas não conseguem atuar, Freire [2002];
- As redes de relacionamento foram importantes para o sucesso da Índia no mercado de Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC). O elevado número de indianos atuantes em empresas norte-americanas facilitou o contato com empresas do país asiático. Kubota [2006]. A venda de serviços de software depende

da reputação da empresa fornecedora, da existência de um relacionamento de confiança mútua entre as partes vendedor e comprador, visto a característica intangível do software. Por um lado, esse fator favorece PME em atuações locais porém, é considerado um das barreiras mais significativas à exportação devido à inexistência de uma estrutura de vendas e suporte no exterior, próximo ao cliente, Pondé [1993];

- Existe no mercado brasileiro carência de pessoal com habilidades no inglês e em tecnologias mais avançadas, Kubota [2006].
- O Brasil vem desenvolvendo vários programas de incentivos à exportação, como incentivos fiscais, financiamento direto via BNDES, programas de melhoria da qualidade e produtividade. É fato que os programas de incentivos à exportação tem estado longe de alcançar as metas colocadas. As ações não têm sido efetivas, Kubota [2006]. Outros órgãos buscam, ainda com incentivos governamentais, planos de ação para promover a importância do Brasil no mercado mundial de sourcing. Exemplos: A Brascom, Associação Brasileira de Companhias Exportadoras de Software e Serviços, a Sociedade Softex, Sociedade Brasileira para Promoção da Exportação de Software.
- Com foco na exportação para o mercado norte americano, o Brasil tem barreiras com a língua inglesa e tem facilitadores como proximidade das características culturais, similaridades de negócios, como o sistema financeiro, além da proximidade do fuso horário, Araújo & Meira [2004].
- De acordo com empresas pesquisadas em Softex & Unicamp [2005], os Estados Unidos, com cerca de 30% e em seguida, a União Europeia com 20%, representam os principais mercados-alvo das exportações de software e serviços correlatos.
- O mercado de software não impõe barreiras para a entrada de novas empresas, além do custo inicial para criação da empresa ser relativamente baixo, comparado a outros produtos que demanda processos industriais. Porém, software como serviço tem custo fixo muito alto, fator que impõe barreiras ao crescimento dessas empresas. Grandes empresas dominam os principais mercados e têm poder financeiro que permite a essas diversificar suas atividades, Freire [2002].
- O modelo de comercialização de software sobre encomenda tem virado commodity, vende quem tem o menor preço. Esse modelo caracteriza o mercado interno e boa parte da expansão das exportações brasileiras Softex & Unicamp [2005].

- A economia de rede garante o poder de mercado para empresas que estabeleceram primordialmente padrões tecnológicos dominantes, resultando no efeito de "trancamento"(lock-in), Roselino [2006b].
- A obtenção de crédito, no mercado financeiro, para empresas desenvolvedoras de software não é amplamente exercido, visto a natureza intangível do software que dificulta a apresentação de garantias reais. Esse fato motivou o BNDES, através do programa Prosoft, a disponibilizar, sem garantias reais, financiamentos a partir de um piso muito baixo (R\$ 400 mil), que favorece empresas de pequeno porte, Gutierrez [2007]. Por outro lado os riscos de mercado são menores, pois as vendas são efetuadas antes da produção, Pondé [1993].
- Em empresas de serviços profissionais, de acordo com Cardozo [2009], os ativos mais importantes - metodologias, carteira de clientes, cultura, reputação - são intangíveis e "o acervo de conhecimento é seu estoque de produtos". Esse é o caso das empresas de software como serviços.
- A interatividade entre cliente e o desenvolvedor, para software como serviço, é intrínseca ao processo de produção. Como fator competitivo preponderante estão o conhecimento nas atividades técnicas e o conhecimento negocial das necessidades dos clientes, Pondé [1993].
- Empresas desenvolvedoras de software têm uma demanda de variados perfis profissionais qualificados, desde analistas de requisitos, desenvolvedores, testadores, gestores da qualidade, entre outros. Em PME o número total de profissional é limitado, tornando restrita a disponibilidade de um profissional qualificado para realizar controle estatístico de processos, além da carência desse tipo de profissional. De acordo com Costa et al. [2008], CEP é assunto obrigatório em todos os cursos de Engenharia. Contraditoriamente, o CEP não é disciplina obrigatória nos currículos dos engenheiros de software.

As 20 maiores indústrias de software do mundo se concentram nos EUA, Japão e Alemanha. Essa indústria representa, para a maioria dos países listados, entre 1% a 2% da economia dos respectivos países. Irlanda, Israel e Índia, conhecidas como 3I's, se destacam nas exportações. O Brasil não tem relevância no mercado de exportação mas se destaca no mercado nacional, em tamanho e nível de desenvolvimento econômico.

A tabela C.2 apresenta os Fatores de competitividade da indústria de software, para software em pacotes e sob encomenda, de acordo com Pondé [1993]:

FATORES DETERMINANTES DA COMPETITIVIDADE

FATORES	PACOTES "BEST-SELLERS"	PACOTES DIFERENCIADOS	POR ENCOMENDA
FATORES EMPRESARIAIS			
Marca difundida	++	+	-
Imagem de confiabilidade	+	+	++
Estrutura de distribuição/suporte	++	+	-
Potencial financeiro	++	+	++
Capacidade de monitoramento	+	++	-
Capacitação dos recursos humanos	++	++	++
Disponibilidade de equipamentos	+	+	+
Grau de diversificação	++	-	-
FATORES ESTRUTURAIS			
Interação com usuários	-	+	++
Interação com fabricantes de hardware	+	-	+
Tamanho dos mercados locais	++	+	-
Sofisticação dos mercados locais	+	+	++
Economias de escala	++	+	+
Progresso técnico na eng. de software	+	+	+
Parque instalado de hardware dos clientes	+	+	+
FATORES SISTÊMICOS			
Telecomunicações	+	+	+
Sistema Educacional	+	+	+

Legenda: "++" o fator é crucial no segmento em consideração, "+" o fator é importante e "-" o fator é secundário.

Figura C.2: Fatores da competitividade

As grandes empresas no mercado de software de pacote horizontal atuam explorando as vantagens da economia de escala: rede de vendas, suporte e marca reconhecida, onde o papel do marketing é um fator decisivo, Pondé [1993]. As grandes empresas dos mercados de software por encomenda competem com base nas habilidades de fornecer soluções "customizadas" para os problemas específicos dos clientes e serviços como consultorias, treinamentos, etc.

Para as empresas de menor porte, a sobrevivência no mercado, em parte, é pela "estratégia de nicho", na qual a empresa se especializa no atendimento das necessidades específicas de um grupo de clientes. Para isso é necessário que essas empresas construam uma imagem de confiabilidade consolidada, baseadas em vínculos de confiança mútua. Outra estratégia de sobrevivência é a "estratégia de interstício", onde o software é explorado na diferenciação para ocupar espaços deixados por empresas líderes, Pondé [1993].

Referências Bibliográficas

- ABES (2009a). Mercado brasileiro de software 2009. <http://www.abes.org.br/templ3.aspx?id=306&sub=487>. ABES Associação Brasileira das Empresas de Software - Consultado em outubro/09.
- ABES (2009b). Mercado brasileiro de software panorama e tendências - 2009. <http://www.abes.org.br>. ABES Associação Brasileira das Empresas de Software.
- Apostila (2002). Kano model analysis. <http://www.ucalgary.ca/design/engg251/FirstYearFiles/kano.pdf>. Design and Communication Course. Consultado em 26/06/09.
- AppLabs (2008). Future of software testing. http://www.applabs.com/internal/app_whitepaper_future_software_testing_1v001.pdf. Consultado em 12/10/09.
- Araújo, E. E. R. & Meira, S. R. L. (2004). Inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de software. <http://www.scribd.com/doc/4672450/Industria-de-software-no-Brasil>. Capítulo 6 - O futuro da indústria de software. Consultado em 24/09/09.
- Baldassare, M. T.; Boffoli, N.; Caivano, D. & Visaggio, G. (2005). Improving dynamic calibration through statistical process controle. In *Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR)*.
- Baldassarre, M. T.; Caivano, D.; Kitchenham, B. & Visaggio, G. (2007). Systematic review of statistical process control: An experience report. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.101.6305rep=rep1type=pdf>.
- Basili, V. R. (1993). Applying the goal/question/metric paradigm in the experience factory. In *Tenth Annual Workshop Centre for Software Reliability (CSR)*, <http://www.cs.umd.edu/basili/publications/proceedings/P62.pdf>.
- Berry, L. L. & Pasuraman, A. (2004). *Marketing Services: Competing Through Quality*. Simon & Schuster.

- Brocka, B. & Brocka, M. S. (1995). *Gerenciamento da qualidade Implementando TQM, passo a passo, através dos processos e ferramentas recomendadas por Juran, Deming, Crosby e outros mestres*. Markon Books.
- Caivano, D. (2005). Continuous Software Process Improvement through statistical process control. In *Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR)*.
- Cardozo, J. S. (2009). O fim do taxímetro. HSM Management.
- Champ, W. C. & Woodall, H. W. (1987). *Exact Results for Shewhart Control Charts With Supplementary Runs Rules*. Technometrics.
- Cheng, L. C. & Melo, L. D. R. (2007). *QFD - Desdobramento Da Função Qualidade Na Gestão De Desenvolvimento De Produtos*. Edgard Blucher.
- Chillarege, R.; Bhandari, I. S.; Chaar, J. K.; Halliday, M. J.; Moebus, D. S.; Ray, B. K. & Wong, M.-Y. (1992). Orthogonal defect classification - A concept for in-process measurements. In *IEET*, volume 18, pp. 943 – 956.
- Chrissis, M. B.; Konrad, M. & Shrum, S. (2005). *CMMI Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison Wesley, 1.1 edição.
- Cobb, R. H. & Mills, H. D. (1990). Engineering software under statistical quality control. *IEEE Software*, 7:44–54.
- Cooper, D. & Schindler, P. (2001). *Métodos de Pesquisa em Administração*. The McGraw-Hill Companies, Inc. E-book consultado em 11/09/09 <http://books.google.com.br/books?id=lpfVATveeckC&printsec=frontcover>.
- Costa, A. F. B.; Epprecht, E. K. & Carpinetti, L. C. R. (2008). *Controle Estatístico de Qualidade*. Editora Atlas S.A.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality Is Free*. Mentor.
- Cusumano, M. A. & Markides, C. C. (2002). *Pensamento Estratégico*. Editora Campus.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. The MIT Press.
- Dodson, J. (2008). Customer defined attributes: The Kano model. http://faculty.washington.edu/jdods/pdf/MktgTool_Kano_Generic.pdf. Consultado em 26/06/09.
- Emam, K. E. & Wiecek, I. (1998). The repeatability of code defect classifications. In *International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE)*, p. 322.

- Faria, C. (2009). Desdobramento da função qualidade (QFD). http://www.infoescola.com/administracao_/desdobramentodafuncaoqualidade-qfd.
- Fitzsimmons, J. A. & Fitzsimmons, M. J. (2004). *Administração de Serviços: Operações, Estratégias e Tecnologia da Informação*. Artmed Editora S.A. E-book consultado em 25/09/09 http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=zJ_-zE4I38CMC&oi=fnd.
- Florac, W. A. & Carleton, A. D. (1999). *Measuring the Software Process - Statistical Process Control for Software Process Improvement*. Addison-Wesley. Foreword by Watts S. Humphrey.
- Florac, W. A. & Carleton, A. D. (2000). Statistical process control: Analysing a space shuttle onboard software process. *IEEE Software*. Consultado em 10/07/09.
- Freire, E. (2002). Inovação e competitividade: O desafio a ser enfrentado pela indústria de software. Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas, <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000242713>. Consultado em 14/10/09.
- Fuoco, T. (2009). Mercado de software chega a US\$15 bi no brasil com alta de 35 por cento. <http://portalexame.abril.com.br/agencias/reuters/reuters-tecnologia/detail/mercado-software-chega-us-15-bi-brasil-alta-35-375775.shtml>. Consultado em 24/09/09.
- Garcia, D. & Leite, M. M. (2006). Análise e gestão de riscos nas micro e pequenas empresas de softwares. Consultado em novembro 2009.
- George, M. L. (2004). *Lean Seis Sigma para Serviços*. Quality Mark.
- Goethert, W. & Fisher, M. (2003). *Deriving Enterprise-Based Measures Using the Balanced Scorecard and Goal-Driven Measurement Techniques*. Software Engineering Institute - SEI.
- Gonçalves, F. M. G.; Bezerra, C. I. M.; Belchior, A. D. C.; Carneiro, C. & Pires, C. G. S. (2008). A strategy for identifying, classifying and prioritizing improvement and innovation actions: A CMMI level 5 and Six Sigma approach. *ASWEC 19th Australian Conference on Software Engineering*, pp. 104 – 111.
- Gutierrez, R. M. V. (2007). Complexo eletrônico: O setor de software brasileiro e o Prosoft. Technical Report 26, Departamento da Indústria Eletrônica do BNDES.

- Gutierrez, R. M. V. & Alexandre, P. V. M. (2004). Complexo eletrônico: Introdução ao software. Technical Report 20, Departamento da Indústria Eletrônica do BNDES.
- Hunter, J. S. (1989). *A One-Point Plot Equivalent to the Shewhart Chart with Western Electric rules*, volume 2. Quality Engineering.
- IEEE (1995). *IEEE Guide to Classification for Software Anomalies*. IEEE Power Engineering Society.
- IEEE (1997). Ieee standard for software reviews.
- IEEE (1998). Ieee standard for software maintenance.
- Jalote, P. (2003). On optimum module size for software inspections. <http://www.cse.iitk.ac.in/users/jalote/OptModuleSize/Optimum%20Module%20ize%20for%20Software%20Inspection.PDF>. Consultado em novembro/2009.
- Jalote, P. & Saxena, A. (2002). Optimum control limits for employing statistical process control in software process. In *IEEE Transactions on Software Engineering*, volume 28, pp. 1126 – 1134.
- Jung, C. F. (2004). *Metodologia para pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos*. Axcel Books do Brasil.
- Junior, F. J. M. & ten Caten, C. S. (2004). Estudo sobre o efeito da autocorrelação de modelos ar(1) no controle estatístico de processo. *XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção - Florianópolis, SC, Brasil*. http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0202_1891.pdf.
- Juran, J. M. (1998). *Juran on Planning for Quality*. Free Pr.
- Kan, S. H. (2004). *Metrics and models in software quality engineering*. Addison-Wesley. E-book consultado em 09/09/09 <http://books.google.com.br/books?id=EaefcL3pWJYC&printsec=frontcover>.
- Kano, N. (1984). Attractive quality and must-be quality. *Hinshitsu: The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, 14(2):39–48.
- Kaplan, R. S. & Norton, D. P. (1997). *A Estratégia em Ação Balanced Scorecard*. Editora Campus.
- Kelly, D. & Shepard, T. (2001). A case study in the use of defect classification in inspections. *IBM Centre for Advanced Studies Conference*, p. 7. Proceedings of the 2001 conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research.

- Kim, J. A.; Choi, S. Y. & Kim, T.-H. (2008). Management environment for Software Process Improvement. *CSA '08 International Symposium on Computer Science and its Applications*, pp. 292 – 296.
- Kloppenborg, T. J. & Petrick, J. A. (2002). *Managing Project Quality*. Management Concepts Inc.
- Komuro, M. (2006). Experiences of applying SPC techniques to software development processes. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering (ICSE)*.
- Kubota, L. C. (2006). Desafios para a indústria de software. IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Lantzy, M. A. (1992). Application of statistical process control to the software process. *Washington Ada Symposium*, pp. 113 – 123.
- Levine, D. M.; Berenson, M. L. & Stephan, D. (2000). *Estatística: Teoria e Aplicações*. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Lobo, A. P. (2009). Exportação brasileira de software e serviços de TI cresce 36%. <http://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=20444&sid=16> ou <http://naaltaounabaixa.wordpress.com/2009/09/25/exportacao-brasileira-de-software-e-servicos-de-ti-cresce-36/>. Consultado em 08/11/09.
- Madison, D. (2005). *Process mapping, process improvement, and process management: a practical guide to enhancing work and information flow*. Scott M. Paton. E-book consultado em 24/09/09 <http://books.google.com/books?id=n0k0Rbkbq3YC>.
- Martins, W. M. (2004). Competitividade brasileira e casos de sucesso do software nacional. <http://www.scribd.com/doc/4672450/Industria-de-software-no-Brasil>. Capítulo 8 - O futuro da indústria de software. Consultado em 24/09/09.
- Messerschmitt, D. G. & Szyperski, C. (2000). Industrial and economic properties of software technology, processes, and value. Technical report, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California and Microsoft Research.
- Meyer, P. L. (1983). *Probabilidade Aplicações à Estatística*. LTC Livros Técnicos e Científicos Editora. Tradução: Ruy de C.B. Lourenço Filho.

- Minitab (2008). *Minitab Support*. Minitab Software for Quality Improvement, <http://www.minitab.com/en-BR/support/answers/answer.aspx?log=0&id=1167&langType=1033>. Consultado em 04/2010.
- Montgomery, D. C. (2004). *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Montoni, M.; Kalinowski, M.; Lupo, P.; Abrantes, J. F.; Ferreira, A. I. F. & Rocha, A. R. (2007). Uma metodologia para desenvolvimento de modelos de desempenho de processos para gerência quantitativa de projetos de software. *SBQS - VI Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software*.
- Murugappan, M. & Keeni, G. (2000). Quality improvement-the Six Sigma way. In *First Asia-Pacific Conference on Quality Software, 2000*, pp. 248 – 257.
- NIST/SEMATECH (2010). *Engineering statistics handbook*. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>.
- Pan, Z.; Park, H.; Baik, J. & Choi, H. (2007). A Six Sigma framework for Software Process Improvements and its implementation. *APSEC 14th Asia-Pacific Software Engineering Conference*, pp. 446 – 453.
- Park, R. E.; Goethert, W. B. & Florac, W. A. (1996). *Goal-Driven Software Measurement - A Guidebook*. Software Engineering Institute - SEI.
- PMI, P. M. I. (2009). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge - Third Edition, Paperback*. Project Management Institute, Inc.
- Pondé, J. L. (1993). Estudo da competitividade da indústria brasileira - competitividade da indústria de software. Nota Técnica Setorial do Complexo Eletrônico MCT http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2327.pdf. MCT, FINEP, PADCT.
- Pressman, R. S. (1997). *Software Engineering A Practitioner's Approach*. MacGraw-Hill Companies, fourth edition edição.
- PSM (2003). *Practical Software and Systems Measurement A Foundation for Objective Project Management*. Department of Defense US Army.
- Redzic, C. & Baik, J. (2006). Six Sigma approach in software quality improvement. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA)*, pp. 396 – 406.

- Rose, K. H. (2005). *Project Quality Management: Why, What and How*. J. Ross Publishing.
- Roselino, J. E. (2006a). *A Indústria de Software: o modelo brasileiro perspectiva comparada*. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas Instituto de Econ2006omia.
- Roselino, J. E. (2006b). Panorama da indústria brasileira de software: Considerações sobre a política industrial. http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/livros/estruturadinamica/capitulo%208_-_roselino.pdf. Capítulo 8 - Há espaço no mercado de software? - Consultado em dezembro/09.
- Sargut, K. U. & Demirörs, O. (2006). Utilization of Statistical Process Control (SPC) in emergent software organizations: Pitfalls and suggestions. *Software Quality Journal*, 14(2):135–157.
- SEI, S. E. I. (1996). *IDEAL: A Users Guide for Software Process Improvement*. Software Engineering Institute SEI, <http://www.sei.cmu.edu/ideal/>. Handbook CMU/SEI-96-HB-001.
- Serrano, M. A. (2004). State of the art and future of research in Software Process Improvement. In *Proceedings of the Annual International Conference on Computer Software and Applications (COMPSAC)*, p. 239.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economical Control of Quality of Manufactured Product*. Amer Society for Quality.
- Shimakura, S. (2006). Ce003 - Estatística II. Departamento de Estatística-UFPR, <http://leg.ufpr.br/silvia/CE003/notes.html>. Consultado em 11/09.
- Siviy, J.; Penn, M. L. & Harper, E. (2005). *Relationships Between CMMI® and Six Sigma*. Software Engineering Institute SEI, <ftp://ftp.sei.cmu.edu/public/documents/05.reports/pdf/05tn005.pdf>. Technical Note CMU/SEI-2005-TN-005.
- Softex & Unicamp (2005). Perfil das empresas brasileiras exportadoras de software. <http://www.mbi.com.br/MBI/biblioteca/papers/200510softex/>. Relatório de Pesquisa Consultado em 12/05/09.
- Tinnirello, P. C. (2002). *New Directions in Project Management*. Auerbach Publications. Capítulo 15 - Incorporating Six Sigma Concepts into Systems Analysis.

- Tontini, G. (2003). Como identificar atributos atrativos e obrigatórios para o consumidor. <http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rn/article/view/325/0>. Revista de Negócios, Vol. 8, No 1 Consultado em 26/06/09.
- Travassos, G. H.; ; Gurov, D. & do Amaral, E. A. G. (2002). Introdução à Engenharia de Software Experimental. <http://www2.ufpa.br/cdesouza/teaching/topes/4-ES-Experimental.pdf>. Consultado em 12/05/09.
- Travassos, G. H. & Kalinowski, M. (2008). iMPS Resultados de desempenho de organizações que adotaram o modelo MPS. http://www.softex.br/mpsbr/_livros/imps/imps.pdf. Consultado em Junho/2010.
- Wazlawick, R. S. (2008). *Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação*. Editora Campus.
- Weller, E. F. (2000). Practical applications of statistical process control [in software development projects]. *IEEE Software*, 17(3):48 – 55.
- Wohlin, C.; Runeson, P.; Host, M.; Ohlsson, M. C.; Regneel, B. & Wesslén, A. (2000). *Experimentation in Software Engineering: An Introduction*. Kluwer Academic Publishers. 1. Software engineering 2. Computer software-evaluation.
- Wood, M. (1994). Statistical methods for monitoring service processes. In *Internacional Journal of Service Industry Management*, volume 5, pp. 53–68.
- Wright, P.; Kroll, M. J. & Parnell, J. (2000). *Administração Estratégica - Conceitos*. Editora Atlas S.A.
- Zhao, X.; He, Z.; Gui, F. & Zhang, S. (2008a). Research on the application of Six Sigma in Software Process Improvement. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP)*, pp. 937–940.
- Zhao, X.; Zhen, H.; ZhangMin; Jing, W. & Dainuan, Y. (2008b). Process integration of Six Sigma and CMMI. *6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 1650 – 1653.