

Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Gleison dos Santos Souza

Monalessa Perini Barcellos

MEDICÃO DE SOFTWARE

Controle Estatístico de Processos



MEDIÇÃO DE SOFTWARE E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Presidente da República

Dilma Vana Rousseff

Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação

Marco Antonio Raupp

Secretário de Política de Informática

Virgílio Augusto Fernandes Almeida

Coordenador Geral de Serviços e Programas de Computador

Rafael Henrique Rodrigues Moreira

Comitê Editorial

Christiane Gresse von Wangenheim

Diva da Silva Marinho

José Carlos Maldonado

Kival Chaves Weber

Rodrigo Quites

Ana Regina Cavalcanti da Rocha
Gleison dos Santos Souza
Monalessa Perini Barcellos

MEDIÇÃO DE SOFTWARE E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS



Maio/2012

Medição de Software e Controle Estatístico de Processos
N.8 (2012) - Brasília
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Secretaria de Política de Informática, 2012
232 p.

Medição de Software e Controle Estatístico de Processos
I. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Secretaria de Política de Informática
Ana Regina Cavalcanti da Rocha
Gleison dos Santos Souza
Monalessa Perini Barcellos

Autores:

- **Ana Regina Cavalcanti da Rocha**

Mestre e Doutor em Ciências pela PUC-Rio. Professor Associado do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Membro da Equipe Técnica do Modelo MPS. Implementador MPS. Avaliador Líder MPS.

- **Gleison dos Santos Souza**

Mestre e Doutor em Ciências pela UFRJ. Professor Adjunto do Departamento de Informática Aplicada da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO). Membro da Equipe Técnica do Modelo MPS. Implementador MPS. Avaliador Líder MPS.

- **Monalessa Perini Barcellos**

Mestre e Doutor em Ciências pela UFRJ. Professor Adjunto do Departamento de Informática da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Membro da Equipe Técnica do Modelo MPS. Implementador MPS.

A Julia, Rafael e João
- Ana Regina

A minha família e amigos que me possibilitaram chegar a esse momento, em
especial ao Thadeu
- Gleison

Ao Alex Sandro, meu esposo e *minha pessoa*, a Luiza, minha amada filha, ao
meu pai, pedra angular da minha vida
- Monalessa

Agradecimentos

Aos alunos e colegas que passaram pelo grupo de Qualidade de Software da COPPE, pelas inúmeras discussões que geraram conhecimento e amizade.

À equipe do PBQP Software/SEPIN/MCTI, em especial a Diva da Silva Marinho e Kival Chaves Weber pelo constante incentivo à área de Qualidade de Software no Brasil.

Ao Comitê Editorial, pela revisão cuidadosa e pelas pertinentes sugestões a este livro.

A Larissa Araujo, aluna e amiga, pela gentileza e competência na elaboração da capa deste livro.

Aos colegas Adler Diniz de Souza, Carlos Simões e Rodrigo Magalhães que contribuíram na revisão do livro.

A nossas famílias, pelos exemplos de vida que nos proporcionaram e pelo incentivo aos nossos projetos profissionais e pessoais.

Às inúmeras empresas onde atuamos na implementação e avaliação de processos de software no contexto do Programa MPS.BR, pelas experiências enriquecedoras, aprendizado constante e sólidas amizades.

Prefácio

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade em Software (PBQP Software) foi criado no dia 1º de junho de 1993, em atenção a uma sugestão do sempre lembrado Dorgival Brandão Júnior – pai da Qualidade em Informática no Brasil. Nos seus dezenove anos de existência, o movimento pela qualidade e produtividade em software no Brasil tem sido exemplar.

Dentre as muitas contribuições do PBQP Software, com o objetivo de atingir padrões internacionais de Qualidade e Produtividade no Setor de Software no Brasil, destacam-se:

- tanto o apoio a iniciativas, tais como o Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS) realizado anualmente pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e o programa mobilizador de Melhoria de Processo do Software Brasileiro (MPS.BR) coordenado pela Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro (SOFTEX);
- quanto iniciativas da Secretaria de Política de Informática (SEPIN), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), tais como os projetos do PBQP Software submetidos anualmente por entidades da Academia, Governo e Indústria (Tripla Hélice), o prêmio Dorgival Brandão Júnior da Qualidade e Produtividade em Software concedido anualmente ao melhor projeto executado, as pesquisas periódicas da Qualidade e Produtividade no Setor de Software Brasileiro e, mais recentemente, a série de livros do PBQP Software.

Mais uma vez, fiz parte do Comitê Editorial que selecionou o livro vencedor deste ano: 'Medição de Software e Controle Estatístico de Processos', dos autores Ana Regina Cavalcanti da Rocha/COPPE UFRJ, Gleison dos Santos Souza/UNIRIO e Monalessa Perini Barcellos/UFES, a quem parabenoza pela obra.

Posteriormente, fui convidado a prefaciar o livro e me senti muito honrado por esta consideração. Assim, aproveitei a oportunidade para fazer uma releitura

dos seus oito capítulos: 1 – Introdução; 2 – Medição de Software; 3 – Planejamento e Execução de Medições; 4 – Conhecimento Básico para o Controle Estatístico de Processos e a Gerência Quantitativa de Projetos; 5 – Gráficos de Controle; 6 – Controle Estatístico de Processos e a Gerência Quantitativa de Projetos na Prática; 7 – Medidas para Monitoração dos Processos no MR-MPS; 8 – Medição no MR-MPS.

A obra é uma contribuição fundamental para a melhoria dos processos de software no Brasil:

- tanto na Academia, onde, daqui em diante, será uma referência bibliográfica obrigatória nos cursos de doutorado e mestrado em Engenharia de Software e de graduação em Ciência da Computação;
- quanto no aprimoramento do conhecimento de Implementadores e Avaliadores de modelos de maturidade tais como o MPS e o CMMI;
- como na evolução da baixa para alta maturidade nas organizações que adotam os modelos MPS ou CMMI.

O livro 'Medição de Software e Controle Estatístico de Processos' também é um marco divisório no programa MPS.BR e no modelo MPS, considerando que:

- o Controle Estatístico de Processos (nível B do modelo de referência MR-MPS) é uma evolução do processo Medição (nível F);
- as organizações que adotam o modelo MPS carecem destas boas práticas da Engenharia de Software.

Enfim, trata-se de um candidato a caso de sucesso na área de Qualidade de Software, baseado nas interações da Tripla Hélice, visando ao aumento da competitividade do Setor de Software no Brasil.

Maio de 2012

Kival Chaves Weber

Coordenador Geral do PBQP Software

Coordenador Executivo do Programa MPS.BR

Sumário

Capítulo 1 - Introdução.....	14
 PARTE I - Medição de Software.....	17
Capítulo 2 - Medição de Software	18
2.1 Introdução	18
2.2 Conceitos da Medição de Software.....	19
2.3 Medição e Melhoria de Processos de Software	21
2.4 Medição e Modelos de Processos de Software	22
2.5 A Definição do Processo de Medição nas Organizações	29
2.6 Considerações Finais do Capítulo	31
Capítulo 3 - Planejamento e Execução de Medições	32
3.1 Introdução	32
3.2 Objetivos Estratégicos da Organização e Objetivos de Medição	33
3.3 Definição de Objetivos, Medidas e Indicadores.....	35
3.3.1 O Método GQM (Goal Question Metric).....	36
3.3.2 O Método GQ(I)M (Goal Question (Indicator) Measure)	38
3.3.3 O método GQM*Strategies.....	39
3.3.4 Practical Software Measurement (PSM)e a norma ISO/IEC15939	41
3.3.5 Definição e Gerência de Objetivos de Software Alinhados ao Planejamento Estratégico	42
3.4 As Cinco Medidas Essenciais.....	44
3.5 Definição dos Procedimentos de Coleta e Armazenamento	46
3.6 Definição dos Procedimentos de Análise.....	47
3.7 Definição Operacional de Medidas	48
3.8 Execução da Medição	52
3.9 Considerações Finais do Capítulo	54
 PARTE II - Controle Estatístico de Processos.....	56
Capítulo 4 - Conhecimento Básico para o Controle Estatístico de Processos e a Gerência Quantitativa de Projetos	57
4.1 Introdução.....	57
4.2 O Poder do Controle Estatístico de Processos	58

4.3	O Comportamento dos Processos.....	62
4.4	Seleção de Subprocessos para o Controle Estatístico	65
4.5	Identificação de Medidas Adequadas para o Controle Estatístico	70
4.6	Repositório de Medidas Adequado para o Controle Estatístico	81
4.7	Considerações Finais do Capítulo.....	84
Capítulo 5 - Gráficos de Controle		86
5.1	Introdução	86
5.2	Gráficos de Controle: O Básico	86
5.3	Tipos de Gráficos de Controle.....	91
5.3.1	Gráficos de Controle para Dados de Variáveis.....	92
5.3.2	Gráficos de Controle para Dados de Atributos.....	115
5.4	Considerações Finais do Capítulo	120
Capítulo 6 - Controle Estatístico de Processos e a Gerência Quantitativa de Projetos na Prática		123
6.1	Introdução	123
6.2	Definição das <i>Baselines</i> de Desempenho	124
6.2.1	Atualização de <i>Baselines</i> de Desempenho.....	125
6.2.2	Um Processo, Várias <i>Baselines</i>	128
6.2.3	Nova Definição de Processo, Nova <i>Baseline</i>	130
6.3	Determinação da Capacidade	132
6.4	Obtenção de Modelos de Desempenho.....	137
6.5	Gerência Estatística de Processos e Gerência Quantitativa de Projetos	138
6.6	Melhoria do Desempenho de Processos Estáveis e Capazes	143
6.6.1	Por onde começar	150
6.7	Considerações Finais do Capítulo	151
PARTE III - Medição e Melhoria de Processos de Software		153
Capítulo 7 - Medidas para Monitoração dos Processos no MR-MPS.....		154
7.1	Introdução.....	154
7.2	Medição no Nível G do MR-MPS	155
7.2.1	- Medidas relacionadas a Gerência de Projetos	158
7.2.2	- Medidas relacionadas a Gerência de Requisitos.....	161
7.3	Medição no Nível F do MR-MPS	164
7.3.1	- Medidas relacionadas a Aquisição.....	165
7.3.2	- Medidas relacionadas a Garantia da Qualidade	166
7.3.3	- Medidas relacionadas a Gerência de Configuração	169

7.3.4 - Medidas relacionadas a Gerência de Portfólio de Projetos.....	170
7.3.5 - Medidas relacionadas a Medição	172
7.4 Medição no Nível E do MR-MPS	172
7.4.1 - Medidas relacionadas a Avaliação e Melhoria do Processo Organizacional	174
7.4.2 - Medidas relacionadas a Definição do Processo Organizacional	175
7.4.3 - Medidas relacionadas à evolução de Gerência de Projetos no nível E	176
7.4.4 - Medidas relacionadas a Gerência de Recursos Humanos.....	178
7.4.5 - Medidas relacionadas a Gerência de Reutilização	180
7.5 Medição no Nível D do MR-MPS.....	181
7.5.1 - Medidas relacionadas a Desenvolvimento de Requisitos.....	183
7.5.2 - Medidas relacionadas a Integração do Produto	184
7.5.3 - Medidas relacionadas a Projeto e Construção do Produto.....	185
7.5.4 - Medidas relacionadas a Validação.....	187
7.5.5 - Medidas relacionadas a Verificação.....	189
7.6 Medição no Nível C do MR-MPS	192
7.6.1 - Medidas relacionadas a Desenvolvimento para Reutilização.....	192
7.6.2 - Medidas relacionadas a Gerência de Decisões	193
7.6.3 - Medidas relacionadas a Gerência de Riscos	194
7.7 Medição no Nível B do MR-MPS	195
7.7.1 - Medidas relacionadas ao Controle Estatístico de Processos.....	195
7.7.2 - Medidas relacionadas à evolução de Gerência de Projetos no nível B	197
7.8 Medição no Nível A do MR-MPS.....	198
7.8.1 - Medidas relacionadas a Análise de Causas	199
7.8.2 - Medidas relacionadas à Melhoria Contínua dos Processos	200
7.9 Considerações Finais do Capítulo.....	201
Capítulo 8 - Medição no MR-MPS.....	203
8.1 Introdução.....	203
8.2 Observações sobre a Implementação de Medição nas Organizações.....	205
8.3 Medição como Meio para Conhecimento e Monitoração dos Processos de Software no nível F do MR-MPS.....	213
8.4 Medição para a Melhoria dos Processos de Software nos níveis E, D e C do MR-MPS	222
8.5 Considerações Finais do Capítulo.....	226

Capítulo 1

Introdução

Medir está presente em diversos aspectos da vida humana. Mede-se o tamanho e o peso de pessoas e objetos, a área de um cômodo da casa ou a distância entre cidades. Um pediatra mede o peso e a altura de uma criança para conhecer sua curva de crescimento e tomar as decisões pertinentes em caso de desvios. Medidas são essenciais para o conhecimento, o controle e a tomada de decisão do pediatra.

Medir, também, é essencial na Engenharia de Software. É importante medir para entender e controlar processos, produtos e projetos. Medidas fornecem informações sobre objetos (processos, produtos e projetos) e eventos (por exemplo, a fase de testes de um projeto), tornando-os compreensíveis e controláveis [FENTON e PFLEEGER, 1997]. Baseados em medidas é possível conhecer a qualidade de um produto, a estabilidade e capacidade de um processo ou o estágio atual de um projeto. Com esse conhecimento é possível controlar, tomar decisões e melhorar a qualidade de processos e produtos. Pode-se, também, realizar ajustes que garantam o êxito dos projetos.

Medir software, entretanto, custa caro e envolve um esforço considerável em termos de recursos humanos. E, mais grave, as medidas nem sempre são úteis para o conhecimento, o controle e a tomada de decisão. Muitas vezes, mede-se simplesmente por medir ou para atender aos requisitos de um modelo de maturidade de processos, como o CMMI-DEV [SEI, 2010] ou o MR-MPS [SOFTEX, 2011a]. Nesses casos não se atingem os objetivos da medição de software, nem se obtêm os benefícios que as medidas podem oferecer.

Para realizar medições de software de forma adequada, é necessário um programa de medição bem planejado. Entretanto, vários estudos têm mostrado que as organizações em geral definem programas de medição precários e incapazes de produzir medidas que atendam às suas necessidades [GOH *et al.*, 1998; FENTON e NEIL, 1999; NIESSINK e VLIET, 2001; GOPAL *et al.*, 2002; WANG e

LI, 2005; KITCHENHAM *et al.*, 2006; SARGUT e DEMIRORS, 2006; CURTIS *et al.*, 2008; RACKZINSKI e CURTIS, 2008; BARCELLOS 2009a].

Em uma pesquisa realizada em janeiro de 2012 pela AMCHAM (Câmara Americana de Comércio) [AMCHAM, 2012] com 44 executivos de TI, 73% afirmaram que a medição periódica e o desenvolvimento de indicadores de desempenho fazem parte da política de suas empresas. Os aspectos chave que essas empresas focam com as medições, segundo esses executivos, são: melhoria dos processos (80%); aumento dos lucros e impactos dos processos de TI (55%); maturidade da área (18%); gestão de riscos (16%) e comparação com níveis de mercado (14%). Ainda na percepção desses executivos, quantificar os resultados de TI traz os seguintes benefícios: direcionar os investimentos na área (59%); corrigir falhas nos processos (55%); identificar pontos com potencial para redução de custos (43%); aumentar a visibilidade da área (36%) e justificar investimentos (34%).

Entretanto, apenas, 14% dos executivos que participaram da pesquisa afirmaram estarem totalmente satisfeitos com a forma como a medição é realizada. As principais dificuldades apontadas foram: tornar tangíveis os benefícios e retorno das ações (41%); estabelecer indicadores (30%); obter informações sobre o impacto da TI em outros setores da empresa (18%); e quantificar a eficiência dos processos e sistemas (14%).

Medições de software para serem efetivas precisam estar alinhadas às necessidades de negócio da organização, isto é, aos seus objetivos estratégicos, e estarem direcionadas às necessidades de informação de gerentes de projetos e engenheiros de software. Essas necessidades devem ser explicitadas e devem orientar a definição do que medir e de como analisar e comunicar o resultado das medidas [MCGARRY *et al.*, 2002; ISO/IEC 2002; BASILI *et al.*, 1994; BARRETO, 2011].

Este livro está dirigido a:

- gerentes de projeto interessados em medir e controlar projetos de desenvolvimento de software;
- implementadores de melhoria de processos de software que queiram conhecer melhor as áreas de medição e controle

estatístico de processos para implantá-las em organizações de software;

- engenheiros de software;
- professores de graduação em Computação;
- estudantes de graduação em Computação;
- professores de pós-graduação em Engenharia de Software;
- estudantes de pós-graduação em Engenharia de Software.

Nos próximos capítulos este livro fornecerá:

- os conceitos relacionados à medição, a importância da medição em software, o seu papel na melhoria dos processos de software e os modelos de processo de medição (Capítulo 2).
- conhecimento e orientações para planejamento e execução de medições em Engenharia de Software (Capítulo 3);
- conhecimento sobre controle estatístico de processos de software (Capítulos 4, 5 e 6);
- conhecimento sobre a evolução da medição nos níveis de maturidade MPS (Capítulo 7);
- conhecimento sobre medição e evolução da capacidade no MPS (Capítulo 8).

PARTE I

Medição de Software

Capítulo 2

Medição de Software

2.1 Introdução

Medição de software é uma avaliação quantitativa de qualquer aspecto dos processos e produtos de software, que permite seu melhor entendimento e, com isso, auxilia o planejamento, controle e melhoria do que se produz e de como é produzido [BASS *et al.*, 1999].

O elemento básico da medição são as medidas. Medidas caracterizam, em termos quantitativos, uma propriedade de um objeto e fornecem informações quantitativas capazes de apoiar tomadas de decisão técnicas e de negócios. Esse é o principal diferencial entre as organizações que se beneficiam com os resultados de seu programa de medição e as organizações que apenas despendem tempo e esforço acumulando dados inúteis. Somente quando as informações obtidas através da medição são utilizadas para direcionar as ações necessárias às organizações e seus projetos é que o objetivo fundamental da medição é alcançado e percebido pelas organizações [BASILI e ROMBACH, 1994; FENTON e NEIL, 2000; MC GARRY *et al.*, 2002; BARCELLOS, 2009a].

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos relacionados a medição (seção 2.2). Será discutida a importância da medição em software e o seu papel na melhoria dos processos de software. Será mostrado como a medição é tratada nas normas internacionais ISO/IEC 12207 – *Systems and Software Engineering – Software Life Cycle Process* [ISO/IEC, 2008] e ISO/IEC 15504 – *Information Technology – Process Assessment* [ISO/IEC, 2003], e nos modelos de maturidade CMMI-DEV – *Capability Maturity Model Integration for Development* [SEI, 2010] e MR-MPS – Modelo de Referência para Melhoria de Processo do Software Brasileiro [SOFTEX 2011a] (seção 2.3). Por fim, será mostrado como uma organização deve definir o seu processo de medição (seção 2.4) e serão apresentadas as considerações finais do capítulo (seção 2.5).

2.2 Conceitos da Medição de Software

A medição de software é uma disciplina relativamente recente e, como tal, ainda não foram estabelecidos padrões consensuais para a medição de software. Em particular, não há consenso para conceitos e terminologias, havendo duplicações e inconsistências nas propostas encontradas na literatura, inclusive, nos termos mais comuns da área [GARCÍA *et al.*, 2006].

Devido a essa heterogeneidade do vocabulário relacionado à medição de software, BARCELLOS (2009a) desenvolveu uma Ontologia de Medição de Software que define um vocabulário comum a esse domínio. A seguir são apresentados os conceitos dessa ontologia considerados centrais para o entendimento deste livro:

- **Medida:** quantificação de atributos de entidades. Pode ser medida base (ex.: prazo estimado para o projeto, prazo real do projeto) ou medida derivada (ex.: aderência ao prazo do projeto, dada pela razão entre o prazo real do projeto e o prazo estimado para o projeto).
- **Elemento Mensurável:** propriedade de uma entidade que pode ser quantificada. Ex.: a medida prazo estimado para o projeto quantifica o elemento mensurável tempo.
- **Entidade Mensurável:** entidade que pode ser caracterizada pela quantificação de seus atributos. Ex.: a medida prazo estimado para o projeto quantifica o atributo tempo da entidade Projeto P.
- **Unidade de Medida:** unidade por meio da qual uma medida pode ser expressa. Ex.: a medida prazo estimado para o projeto pode ser expressa em horas. A medida aderência ao prazo do projeto não possui unidade de medida.
- **Escala:** indica os valores que podem ser atribuídos a uma medida. Ex.: A medida prazo estimado para o projeto possui uma escala do tipo Absoluta que é composta pelos números reais positivos.
- **Procedimento de Medição:** procedimento que descreve como a coleta da medida deve ser realizada. Ex.: A medida aderência ao prazo do projeto poderia ter como procedimento de medição: Aplicar a fórmula de cálculo de

medida que determina a razão entre o prazo real do projeto e o prazo estimado para o projeto.

- **Procedimento de Análise de Medição:** procedimento que descreve como os dados coletados para a medida devem ser representados e analisados. Ex.: A medida aderência ao prazo do projeto poderia ter como procedimento de análise: Representar em histograma as taxas de aderência ao prazo dos projetos. Valores superiores a 1 indicam que o projeto levou mais tempo que o previsto, valores menores que 1 indicam que o projeto levou menos que o previsto e valores iguais a 1 indicam que o projeto levou exatamente o tempo que foi previsto. Analisar os valores medidos para os projetos e compará-los uns com os outros. Subagrupar os dados e representá-los em outros histogramas a fim de identificar e analisar: (i) as diferenças das taxas de acordo com as características dos projetos; (ii) as diferenças das taxas de acordo com a fase em que o projeto se encontra.
- **Definição Operacional de Medida:** detalhamento associado a uma medida que fornece informações sobre sua coleta e análise. Inclui procedimentos de medição e de análise, os papéis dos responsáveis pela medição e pela análise da medida, os momentos em que a medição e a análise devem ser realizadas e a periodicidade em que elas devem ser realizadas.
- **Medição:** ação de medir, ou seja, de atribuir um valor a uma medida, executando seu procedimento de medição. Ex.: medição do prazo previsto para o projeto obtendo-se o valor 500.
- **Análise de Medição:** ação de analisar os dados coletados para uma medida, executando seu procedimento de análise. Ex.: análise da aderência ao prazo do projeto, concluindo-se que os projetos que envolveram o uso de nova tecnologia apresentaram uma aderência 10% menor aos prazos previstos do que a média das aderências dos projetos que não utilizaram novas tecnologias.
- **Indicador:** medida utilizada para analisar o alcance a objetivos. Ex.: aderência ao prazo do projeto poderia ser um indicador para o objetivo melhorar a aderência dos projetos aos planos.

2.3 Medição e Melhoria de Processos de Software

Processos devem ser tecnicamente corretos e devem ser capazes de atender às necessidades do negócio. Entretanto, processos podem estar corretos do ponto de vista da Engenharia de Software e não serem competitivos. Podem consumir demasiado tempo e esforço ou não produzirem produtos com a qualidade necessária para satisfazer as necessidades de seus usuários. Processos podem apresentar problemas e devem ser objeto, continuamente, de melhorias. É importante, nesse contexto, dispor-se de mecanismos capazes de evidenciar problemas nos processos e apoiar na identificação de objetivos de melhoria.

Um objetivo de melhoria de processo é um conjunto de características desejadas, definidas para orientar o esforço de melhoria de processos de modo específico e mensurável [SEI, 2010]. Esses objetivos devem agregar valor ao negócio da organização e melhorar a qualidade dos produtos desenvolvidos [BARRETO, 2011].

A melhoria de processos de software pode estar relacionada a: (i) galgar níveis mais altos de maturidade (melhoria vertical) e/ou (ii) realizar mudanças visando a uma maior adequação às necessidades da organização ou melhorias no desempenho dos processos (melhoria horizontal). Nos dois casos, a melhoria dos processos deve estar associada a objetivos de melhoria que visam principalmente: (i) entender as características dos processos existentes e os fatores que afetam o seu desempenho; (ii) planejar e implementar ações que modifiquem o processo para atender melhor às necessidades de negócio; e (iii) avaliar os impactos e os benefícios obtidos com as mudanças realizadas nos processos [ALBUQUERQUE, 2008; FLORAC e CARLETON, 1999].

Medições são essenciais para a realização de melhorias em processos de software porque fornecem dados objetivos que permitem conhecer o seu desempenho. Os dados coletados para as medidas são a base para a detecção de problemas no desempenho e de inadequações nos processos, bem como para a identificação de oportunidades de melhoria e tomada de decisão. A avaliação do alcance dos objetivos de melhoria nos processos, também, depende de medições. Cada objetivo definido deve ser associado a indicadores e medidas capazes de

apoiar a organização na avaliação da adequação e eficácia das ações de melhoria implementadas e do alcance dos objetivos.

Florac e Carleton (1999) identificaram três objetivos para a medição de processos de software:

- i. Coletar dados para medir o desempenho do processo.
- ii. Analisar o desempenho do processo.
- iii. Armazenar e utilizar os dados para interpretar os resultados de observações e análises, prever custos e desempenho futuros, fornecer *baselines* e *benchmarks*, identificar tendências e avaliar a estabilidade e capacidade do processo.

Nos níveis iniciais de um programa de melhoria de processos as organizações adotam a medição tradicional que basicamente consiste na coleta de dados da execução dos projetos e comparação destes com valores previamente planejados. Apesar dessa abordagem ser adequada para a melhoria de processos nos níveis iniciais, ela não é suficiente para as organizações que desejam atingir alta maturidade em seus processos. Nessas organizações é necessário que a medição esteja orientada para o controle estatístico de seus processos, especialmente dos processos mais relevantes para o seu desempenho [BARCELLOS, 2009a].

2.4 Medição e Modelos de Processos de Software

A crescente demanda por qualidade nos produtos e produtividade no desenvolvimento de software e o entendimento de que qualidade e produtividade dependem da qualidade dos processos têm aumentado o interesse das organizações pela melhoria de seus processos e pela implantação de modelos de maturidade nas suas unidades de software.

Existem vários *frameworks* de apoio à implantação de programas de melhoria de processos em organizações de software, onde a medição de software tem lugar de destaque. Entre eles estão as normas internacionais ISO/IEC 12207 – *Systems and Software Engineering – Software Life Cycle Process* [ISO/IEC, 2008] e ISO/IEC 15504 – *Information Technology – Process Assessment* [ISO/IEC, 2003], e os modelos CMMI-DEV - *Capability Maturity Model Integration for Development*

[SEI, 2010] e MR-MPS – Modelo de Referência para Melhoria de Processo do Software Brasileiro [SOFTEX 2011a].

As normas internacionais ISO/IEC 12207 e ISO/IEC 15504 constituem a base para a definição de modelos de referência de processos e para a avaliação das organizações segundo esses modelos.

A norma ISO/IEC 12207 descreve o processo de medição através de seu propósito e resultados esperados. Estabelece que o propósito do processo de Medição é coletar, armazenar, analisar e relatar os dados relativos aos produtos desenvolvidos e aos processos implementados na unidade organizacional, de forma a apoiar a gerência efetiva dos processos e demonstrar objetivamente a qualidade dos produtos. O Quadro 2.1 mostra os resultados esperados desse processo na norma. Essa norma não trata de medição orientada ao controle estatístico.

Quadro 2.1 – Resultados Esperados do Processo Medição na ISO/IEC 12207 [ISO/IEC, 2008].

Processo Medição – Resultados Esperados
a) As necessidades de informação dos processos técnicos e gerenciais são identificadas.
b) Um conjunto adequado de medidas, orientado pelas necessidades de informação é identificado ou desenvolvido.
c) As atividades de medição são identificadas e planejadas.
d) Os dados requeridos são coletados, armazenados, analisados e os resultados interpretados.
e) As informações produzidas são usadas para apoiar decisões e fornecer bases objetivas para a comunicação.
f) O processo medição é medido e avaliado.
g) Melhorias são comunicadas ao responsável pelo processo medição.

A norma ISO/IEC 15504 está baseada em duas dimensões: (i) dimensão de processo, fornecida por um modelo de referência externo que define um conjunto de processos caracterizados por seu propósito e resultados esperados; e (ii) dimensão de capacidade, que consiste em um *framework* com seis níveis de capacidade de processo. Nessa norma são definidos seis níveis de capacidade. O nível 0 (Incompleto) é caracterizado por processo não existente ou que falha em atingir seus objetivos. No nível 1 (Inicial) o processo geralmente atinge os objetivos, porém sem padrão de qualidade e sem controle de prazos e custos. No nível 2 (Gerenciado), o processo é planejado e acompanhando e satisfaz requisitos definidos de qualidade, prazo e custos. No nível 3 (Estabelecido), o processo é executado e gerenciado com uma adaptação de um processo padrão definido,

eficaz e eficiente. No nível 4 (Previsível), o processo é executado dentro de limites de controle definidos e com medições detalhadas e analisadas. Por fim, no nível 5 (Em Otimização), o processo é melhorado continuamente de forma disciplinada

A medição é tratada nos níveis de capacidade através dos atributos de processo: no Nível 3 no atributo de processo Implantação do Processo; e no Nível 4 nos atributos de processo Medição do Processo e Controle do Processo. O Quadro 2.2 apresenta os atributos relacionados a Medição e Controle Estatístico na ISO/IEC 15504.

Quadro 2.2 – Atributos de Processo Relacionados a Medição e Controle Estatístico na ISO/IEC 15504 [ISO/IEC, 2003].

Atributo de Processo 3.2 – Implantação do Processo
... f) Dados apropriados são coletados e analisados, constituindo uma base para o entendimento do comportamento do processo, para demonstrar a adequação e a eficácia do processo, e avaliar onde pode ser feita a melhoria contínua do processo.
Atributo de Processo 4.1 – Medição do Processo
a) As necessidades de informação dos processos, requeridas para apoiar objetivos de negócio relevantes da organização, são identificadas. b) Objetivos de medição do processo são derivados das necessidades de informação do processo. c) Objetivos quantitativos de desempenho dos processos são definidos para apoiar os objetivos de negócio relevantes. d) Medidas, bem como a frequência de realização de suas medições, são identificadas e definidas de acordo com os objetivos de medição e os objetivos quantitativos de desempenho do processo; e) Resultados das medições são coletados, analisados e comunicados para monitorar o atendimento dos objetivos quantitativos de desempenho do processo. f) Resultados de medição são utilizados para caracterizar o desempenho do processo.
Atributo de Processo 4.2 – Controle do Processo
a) Técnicas de análise e de controle são identificadas e aplicadas quando pertinente. b) Limites de controle de variação são estabelecidos para o desempenho normal do processo. c) Dados de medição são analisados com relação a causas especiais de variação. d) Ações corretivas são realizadas para tratar causas especiais de variação. e) Limites de controle são redefinidos (quando necessário) seguindo as ações corretivas.

O modelo CMMI selecionou tópicos que considerou importantes para a melhoria de processos e agrupou em áreas de processo. As áreas de processo são definidas através de seu propósito, objetivos e práticas específicas.

O modelo CMMI possui duas representações: contínua e em estágios. Na representação contínua cada processo é avaliado de forma individual e lhe é atribuído um grau de capacidade. Os níveis de capacidade do CMMI são

equivalentes aos níveis de capacidade da norma ISO/IEC 15504. Na representação em estágios as áreas de processo são agrupadas e são definidos cinco níveis de maturidade: 1 (Inicial), 2 (Gerenciado), 3 (Definido), 4 (Gerenciado Quantitativamente) e 5 (Em Otimização). O Nível 1 (Inicial) não possui áreas de processo.

No nível de maturidade 2 do CMMI, tem-se a área de processo Medição e Análise. Essa área tem como propósito desenvolver e manter uma capacidade de medição que é usada para apoiar necessidades de informações gerenciais. Medição e Análise envolve: (i) especificar os objetivos da medição e análise de forma que estejam alinhados aos objetivos e necessidades de informação da organização; (ii) especificar medidas, técnicas de análise e mecanismos para coleta, armazenamento de dados, relato de resultados e *feedback* aos envolvidos; (iii) implementar a coleta, armazenamento, análise e comunicação dos dados; e (iv) fornecer resultados objetivos que possam ser usados para a tomada de decisão e ações corretivas [SEI, 2010]. O Quadro 2.3 mostra os objetivos e práticas específicas dessa área de processo.

Quadro 2.3 – Objetivos e Práticas Específicas da Área de Processo Medição e Análise no CMMI [SEI, 2010].

Objetivo Específico 1 – Alinhar as atividades de medição e análise
PE 1.1 – Estabelecer objetivos de medição PE 1.2 – Especificar medidas PE 1.3 – Especificar procedimentos de coleta de dados e armazenamento PE 1.4 – Especificar procedimentos de análise
Objetivo Específico 2 – Fornecer resultados das medições
PE 2.1 – Coletar dados de medições PE 2.2 – Analisar dados PE 2.3 – Armazenar dados e resultados PE 2.4 – Comunicar resultados

No nível de maturidade 4 do CMMI, têm-se as áreas de processo Desempenho do Processo Organizacional e Gerência Quantitativa do Projeto, onde é introduzida a medição orientada ao controle estatístico.

A área Desempenho do Processo Organizacional tem como propósito estabelecer e manter um entendimento quantitativo do desempenho de processos selecionados entre o conjunto de processos padrão da organização como apoio para atingir objetivos de qualidade e de desempenho do processo e para fornecer dados de desempenho do processo, *baselines* e modelos para gerenciar

quantitativamente os projetos da organização. Esta área de processo envolve: (i) estabelecer objetivos de qualidade e de desempenho do processo alinhados aos objetivos de negócio; (ii) selecionar processos/subprocessos para análise de desempenho; (iii) estabelecer definições das medidas a serem utilizadas para análise do desempenho do processo; e (iv) estabelecer *baselines* e modelos de desempenho do processo [SEI, 2010]. O Quadro 2.4 mostra o objetivo e práticas específicas dessa área de processo.

Quadro 2.4 – Objetivos e Práticas Específicas da Área de Processo Desempenho do Processo Organizacional no CMMI [SEI, 2010].

Objetivo Específico 1 – Estabelecer <i>baselines</i> e modelos de desempenho
PE 1.1 – Estabelecer objetivos de qualidade e de desempenho do processo
PE 1.2 – Selecionar processos
PE 1.3 – Estabelecer medidas de desempenho do processo
PE 1.4 – Analisar o desempenho do processo e estabelecer <i>baselines</i>
PE 1.5 – Estabelecer modelos de desempenho do processo

A área de processo Gerência Quantitativa do Projeto tem como objetivo gerenciar quantitativamente o projeto para alcançar a qualidade estabelecida para o projeto e os objetivos de desempenho do processo. Essa área de processo envolve: (i) estabelecer e manter os objetivos de qualidade do projeto e os objetivos de desempenho do processo; (ii) compor um processo definido para o projeto que apoie o alcance destes objetivos; (iii) selecionar subprocessos e atributos críticos para o entendimento do desempenho e que apoiam o alcance dos objetivos; (iv) selecionar medidas e técnicas analíticas para serem usadas na gerência quantitativa; (v) monitorar o desempenho dos processos selecionados utilizando técnicas estatísticas e quantitativas; (vi) gerenciar o projeto usando técnicas estatísticas e quantitativas para determinar se os objetivos de qualidade foram alcançados; e (vi) realizar análise de causas em aspectos selecionados para tratar deficiências no alcance dos objetivos [SEI, 2010]. O Quadro 2.5 mostra os objetivos e práticas específicas desta área de processo.

Quadro 2.5– Objetivos e Práticas Específicas da Área de Processo Gerência Quantitativa do Projeto no CMMI [SEI,2010].

Objetivo Específico 1 – Preparar a gerência quantitativa
PE 1.1 – Estabelecer os objetivos do projeto
PE 1.2 – Compor o processo definido
PE 1.3 – Selecionar sub-processos e atributos
PE 1.4 – Selecionar medidas e técnicas analíticas
Objetivo Específico 2 – Gerenciar quantitativamente o projeto
PE 2.1 – Monitorar o desempenho dos sub-processos selecionados
PE 2.2 – Gerenciar o desempenho do projeto
PE 2.3 – Realizar análise de causas

Pode-se observar que as duas áreas de processo do Nível 4 estão fortemente relacionadas à área de processo Medição e Análise no que se refere à especificação de medidas, obtenção de dados de medição e análise de dados (PE 1.3 na área de processo Desempenho do Processo Organizacional e PE 1.4 na área de processo Gerência Quantitativa de Projetos). Isso mostra, também, a importância do processo Medição e Análise para o controle estatístico.

O Modelo de Referência MR-MPS estabelece sete níveis de maturidade como uma combinação entre processos e sua capacidade: A (Em Otimização), B (Gerenciado Quantitativamente), C (Definido), D (Largamente Definido), E (Parcialmente Definido), F (Gerenciado) e G (Parcialmente Gerenciado) – sendo o nível G o inicial e o nível A o mais avançado. A cada novo nível de maturidade mais processos devem ser implementados, assim como novos atributos de processo (que determinam o nível de capacidade).

O processo Medição, presente no Nível F do MR-MPS, pressupõe que as organizações definam medidas a partir de seus objetivos organizacionais e as utilizem para tomadas de decisão. Esse processo tem como propósito “coletar, armazenar, analisar e relatar os dados relativos aos produtos desenvolvidos e aos processos implementados na organização e em seus projetos, de forma a apoiar os objetivos organizacionais” [SOFTEX, 2011a]. O Quadro 2.6 apresenta os seus resultados esperados.

Quadro 2.6 – Resultados Esperados do Processo Medição no MR-MPS [SOFTEX 2011a].

Processo Medição – Resultados Esperados
MED 1: Objetivos de medição são estabelecidos e mantidos a partir dos objetivos de negócio da organização e das necessidades de informação de processos técnicos e gerenciais. MED 2: Um conjunto adequado de medidas, orientado pelos objetivos de medição, é identificado e definido, priorizado, documentado, revisado e, quando pertinente, atualizado. MED 3: Os procedimentos para a coleta e o armazenamento de medidas são especificados. MED 4: Os procedimentos para a análise das medidas são especificados. MED 5: Os dados requeridos são coletados e analisados. MED 6: Os dados e os resultados das análises são armazenados. MED 7: Os dados e os resultados das análises são comunicados aos interessados e são utilizados para apoiar decisões.

Os níveis de maturidade do MR-MPS têm uma natureza evolutiva, representada, em parte, pelos atributos de processo (AP), que determinam a capacidade do processo. Espera-se que em um primeiro momento (nível G), os

processos sejam executados (AP 1.1) e gerenciados (AP 2.1). Depois (nível F), também, que os produtos de trabalhos sejam gerenciados (AP 2.2). A partir do nível E, processos padrões devem ser definidos (AP 3.1) e implementados (AP 3.2). Nos níveis B e A os atributos de processo procuram garantir que os processos sejam controlados estatisticamente (AP 4.1 e AP 4.2) e otimizados continuamente (AP 5.1 e AP 5.2).

O Quadro 2.7 apresenta os resultados esperados de atributos de processo relacionados à medição e controle estatístico no MR-MPS.

Quadro 2.7 – Resultados Esperados de Atributos do Processo Relacionados a Medição e Controle Estatístico no MR-MPS [SOFTEX 2011a].

Atributo de Processo 2.1 – O Processo é gerenciado
RAP 4. (A partir do nível F). Medidas são planejadas e coletadas para monitoração da execução do processo e ajustes são realizados.
Atributo de Processo 3.2 – O processo é implementado
RAP 21. Dados apropriados são coletados e analisados, constituindo uma base para o entendimento do comportamento do processo, para demonstrar a adequação e a eficácia do processo, e avaliar onde pode ser feita a melhoria contínua do processo.
Atributo de Processo 4.1 – O Processo é medido
RAP 23. As necessidades de informação dos processos, requeridas para apoiar objetivos de negócio relevantes da organização, são identificadas. RAP 24. A partir do conjunto de processos padrão da organização e das necessidades de informação, são selecionados os processos e/ou subprocessos que serão objeto de análise de desempenho. RAP 25. Objetivos de medição do processo e/ou subprocesso são derivados das necessidades de informação do processo. RAP 26. Objetivos quantitativos de qualidade e de desempenho dos processos e/ou subprocessos são definidos para apoiar os objetivos de negócio. RAP 27. Medidas, bem como a frequência de realização de suas medições, são identificadas e definidas de acordo com os objetivos de medição do processo/subprocesso e os objetivos quantitativos de qualidade e de desempenho do processo. RAP 28. Resultados das medições são coletados, analisados e comunicados para monitorar o atendimento dos objetivos quantitativos de qualidade e de desempenho do processo/subprocesso. RAP 29. Resultados de medição são utilizados para caracterizar o desempenho do processo/subprocesso.
Atributo de Processo 4.2 – Controle do Processo
RAP 30. Técnicas de análise e de controle de desempenho são identificadas e aplicadas quando necessário. RAP 31. Limites de controle de variação são estabelecidos para o desempenho normal do processo. RAP 32. Dados de medição são analisados com relação a causas especiais de variação. RAP 33. Ações corretivas são realizadas para tratar causas especiais de variação. RAP 34. Limites de controle são redefinidos, quando necessário, seguindo as ações corretivas. RAP 35. Modelos de desempenho do processo são estabelecidos e mantidos.

2.5 A Definição do Processo de Medição nas Organizações

Para que um programa de medição seja implantado em uma organização de forma a produzir os resultados esperados é necessário que esteja apoiado em um processo capaz de garantir a execução disciplinada do conjunto de atividades envolvidas.

O processo de medição pode, portanto, ser definido como um conjunto de passos que orienta a realização da medição em uma organização. Um processo de medição eficiente é fator crítico de sucesso do programa de medição, pois é ele que direciona as atividades a serem realizadas para que com os resultados da análise dos dados coletados seja possível a identificação de tendências e antecipação aos problemas [WANG e LI, 2005].

Os modelos de processo, como o CMMI [SEI, 2010] e o MR-MPS [SOFTEX, 2011a], definem os requisitos que o processo de medição de uma organização precisa atender. Esses requisitos podem ser agrupados em quatro etapas: (i) definição das medidas; (ii) coleta e armazenamento das medidas; (iii) análise das medidas, e (iv) uso dos resultados da análise em tomadas de decisão.

Entretanto, os modelos existentes não indicam como deverá ser esse processo nem como ele deverá ser executado. Cada organização deve, então, definir seu processo de medição orientando-se pelos requisitos desses modelos e considerando suas próprias características e especificidades.

A definição de um processo envolve definir os subprocessos que compõem o processo e suas atividades. Um processo/subprocesso deve estar descrito em detalhes de forma a poder ser executado de forma consistente. Para isso, cada atividade deve ser descrita por meio das tarefas que a compõem e cada tarefa deve ser definida a partir dos itens descritos no Quadro 2.8.

Considerando os resultados esperados do MR-MPS, um processo de Medição poderia ter três atividades: (i) Definir objetivos e medidas; (ii) Especificar procedimentos de coleta, armazenamento e análise; e (iii) Coletar, analisar e reportar medidas. Cada uma das atividades é composta por tarefas. Como exemplo, o Quadro 2.9 apresenta a atividade Definir objetivos e medidas e suas tarefas.

Quadro 2.8 - Itens para descrição de uma tarefa (adaptado de [SOFTEX, 2012]).

Nome da tarefa	Identifica a tarefa por um nome.
Descrição	Descreve a tarefa em detalhes.
Pré-tarefa	Tarefa que deve ser executada antes da tarefa em questão.
Critérios de entrada	Condições a serem atendidas para que a tarefa seja iniciada.
Critérios de saída	Condições a serem atendidas para que a tarefa seja considerada finalizada.
Responsáveis	Quem responde pela execução da tarefa.
Participantes	Quem são os envolvidos na execução da tarefa.
Produtos requeridos	Insumos necessários para executar a tarefa.
Produtos gerados	Produtos a serem gerados na execução da tarefa.
Ferramentas	Ferramentas que devem ser utilizadas para a execução da tarefa.
Pós-tarefa	Tarefa que deve ser executada após esta ser finalizada.

Quadro 2.9 – Definição da Atividade Definir Objetivos e Medidas

Atividade: Definir Objetivos e Medidas	
Descrição: Identificar objetivos, indicadores e medidas de forma que estes estejam alinhados às necessidades e objetivos de informação da organização.	
Tarefa: Identificar ou rever objetivos de medição Descrição: Estabelecer ou revisar objetivos para medições derivados das necessidades e objetivos de informação da organização. Deve-se procurar ter um conjunto não muito grande de objetivos sendo tratados em um determinado momento. Dessa forma, se o conjunto inicial de objetivos for grande, ele precisa ser priorizado para que se possa selecionar os objetivos que serão tratados. Os objetivos devem ser revistos periodicamente e atualizados, quando necessário. Pré-tarefa: - Critérios de entrada: Ter iniciado a implantação do processo de Medição ou haver necessidade de rever o Documento de Indicadores e Medidas. Critérios de saída: Objetivos de medição definidos ou revistos Responsáveis: Grupo de Medição Participantes: Diretoria, Grupo de Processos Produtos requeridos: Documento de Indicadores e Medidas Produtos gerados: Documento de Indicadores com objetivos identificados ou revistos Ferramentas: Editor de texto Pós-tarefa: Identificar ou rever questões, indicadores e medidas	
Tarefa: Identificar ou rever questões, indicadores e medidas Descrição: Estabelecer ou revisar questões a serem respondidas para que os objetivos de medição da organização possam ser mensurados e especificar indicadores e medidas para avaliar o alcance dos objetivos definidos. Questões, indicadores e medidas devem ser revistos periodicamente e atualizados, quando necessário. Pré-tarefa: Identificar ou rever objetivos de medição Critérios de entrada: Documento de Indicadores e Medidas com objetivos definidos ou revistos Critérios de saída: Documento de Indicadores e Medidas com questões, indicadores e medidas identificados ou revistos Responsáveis: Grupo de Medição Participantes: Diretoria, Grupo de Processos Produtos requeridos: Documento de Indicadores e Medidas com objetivos identificados ou revistos Produtos gerados: Documento de Indicadores e Medidas com questões, indicadores e medidas identificados ou revistos Ferramentas: Editor de texto Pós-tarefa: Especificar procedimentos de coleta e armazenamento de dados	

2.6 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram discutidos os aspectos fundamentais de medição de software de forma a constituir a base para o entendimento dos próximos capítulos.

Para resolver o problema da heterogeneidade de vocabulário presente na literatura foram definidos os conceitos fundamentais relacionados à medição de software a partir de uma ontologia de medição.

Foi discutida a importância da medição para a melhoria de processos de software e como a medição é tratada nas normas internacionais ISO/IEC 12207, ISO/IEC 15504 e nos modelos de maturidade CMMI-DEV e MR-MPS.

Um programa de medição para ser efetivo deve estar apoiado em um processo de medição, definido por cada organização com detalhes suficientes para poder ser executado de forma consistente. Esse capítulo forneceu algumas orientações para a definição desse processo.

No Capítulo 3 serão apresentadas as principais abordagens para o planejamento e execução de medições de software de modo que as organizações possam obter os benefícios esperados de seus programas de medição.

Capítulo 3

Planejamento e Execução de Medições

3.1 Introdução

Um bom programa de medição precisa ser planejado e o planejamento começa com a derivação dos objetivos estratégicos da empresa para a definição dos objetivos de medição. Essa associação é de grande importância para o sucesso do programa de medição porque possibilita que o esforço seja concentrado em áreas que contenham aspectos relevantes para a tomada de decisão na organização como um todo e na área responsável pelo desenvolvimento de software em particular.

Muitas vezes, por causa de uma definição falha e ambígua, o relacionamento entre os objetivos estratégicos e os objetivos de medição é superficial e insuficiente para explicar completamente a associação entre eles. Dessa forma, não se tem a garantia de que as medidas identificadas atendam corretamente às necessidades de informação dos diferentes níveis de gerência da organização [SOFTEX, 2011b].

Dois métodos são especialmente importantes para apoio ao planejamento de medições: GQM (*Goal-Question-Metric*) [BASILI *et al.*, 1994; SOLINGEN e BERGHOUT, 1999] e PSM (*Practical Software Measurement*) [MCGARRY *et al.*, 2002], também descrito na norma internacional ISO/IEC 15939 [ISO/IEC, 2002].

GQM é um método bastante utilizado para apoio à definição de medidas devido à sua simplicidade de uso e à estrutura *top down* que possibilita a identificação das medidas a partir de questões associadas aos objetivos de medição.

PSM define um modelo de informação para medição com uma terminologia padrão e o relacionamento entre os conceitos de medição, associando as informações necessárias para atingir os objetivos técnicos e de negócio aos atributos a serem medidos. Define também um modelo de processo de medição.

Após a definição dos objetivos de medição de software, o próximo passo é identificar medidas adequadas para responder às necessidades de informação

relacionadas aos objetivos. O planejamento de medições se completa com a definição dos procedimentos de coleta e análise das medidas e da forma de armazenamento.

Neste capítulo será mostrado como definir os objetivos de medição de software a partir dos objetivos estratégicos da organização e como, a partir dos objetivos de medição, se pode chegar a um conjunto adequado de medidas (seção 3.2).

Serão apresentados os dois principais métodos utilizados para apoiar a definição do Plano de Medição (seção 3.3): GQM [BASILI *et al.*, 1994; SOLINGEN e BERGHOUT, 1999] e PSM [MC GARRY *et al.*, 2002], [ISO/IEC, 2002]. Serão apresentadas, também, duas importantes variações do GQM: GQ(I)M (*Goal-Question-(Indicator)-Measure*) [PARK *et al.*, 1996] e GQM*Strategies [BASILI *et al.*, 2007]. Serão, ainda, apresentadas cinco medidas essenciais propostas em [PUTNAM e MYERS, 2003], a partir das quais podem ser obtidas a maior parte das medidas utilizadas pelas organizações (seção 3.4). A partir desses conceitos, serão apresentados os demais elementos que compõem o planejamento de medições (seções 3.5 a 3.7).

Também serão apresentados aspectos relacionados à realização de medições conforme o planejamento realizado: coleta e armazenamento de dados para as medidas, análise de indicadores, comunicação de resultados e tomada de decisão (seção 3.8). Por fim, serão apresentadas as considerações finais do capítulo (seção 3.9).

3.2 Objetivos Estratégicos da Organização e Objetivos de Medição

Organizações para serem competitivas necessitam planejar a sua estratégia. Estratégia é, assim, um plano que visa dar à organização uma vantagem competitiva. Para isso a organização precisa entender o que ela faz, o que deseja se tornar e como fazer para alcançar essa meta. Precisa, também, entender o que não faz. Uma estratégia deve, portanto, identificar as metas de uma organização, a direção necessária para organizar o seu trabalho e atingir essas metas. A definição da estratégia deve partir da missão da organização, seguir um processo bem

definido, com foco em questões prioritárias, e chegar a um plano de ação possível de ser avaliado quanto ao desempenho [LUECKE, 2010].

Metas estratégicas não podem ser definidas apenas baseadas em desejos dos dirigentes. Pelo contrário, surgem de uma análise criteriosa da organização e do ambiente externo a ela. Ao analisar a organização (análise interna) devem-se considerar suas forças (pontos fortes) e fraquezas (pontos fracos). Ao analisar o ambiente externo devem-se considerar as oportunidades e ameaças para a organização que têm origem externamente.

O planejamento estratégico pode ser, então, resumido como a definição de objetivos estratégicos (também chamados de objetivos de negócio), investimentos e planos, com relação ao futuro de uma organização, com base nos seus pontos fortes, buscando eliminar seus pontos fracos, explorando as oportunidades e reagindo às ameaças [BARRETO, 2011]. A análise dos pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças do ambiente externo é conhecida pelo acrônimo SWOT (*Strength, Weakness, Opportunities, Threats*) [LUECKE, 2010].

O planejamento estratégico é um planejamento de longo prazo, voltado para o que se deseja para o futuro da organização. Desta forma, os objetivos estratégicos devem ser refinados em objetivos mais específicos, mais fáceis de serem avaliados quanto ao seu alcance. Para permitir essa avaliação devem ser definidos indicadores e medidas. Em organizações de software a avaliação do alcance dos objetivos está vinculada a medidas relacionadas a processos e produtos de software.

A elaboração do planejamento estratégico de uma organização pode ser apoiada, ainda, pelo uso do *Balanced Score Card* (BSC) proposto por KAPLAN e NORTON (1996), um método para descrever, implementar e gerenciar a estratégia da organização. Pode ser usado para traduzir a missão da organização em objetivos estratégicos e estabelecer um conjunto de indicadores e medidas de desempenho. O BSC considera quatro perspectivas: (i) financeira; (ii) clientes; (iii) processos de negócios internos e (iv) aprendizado e crescimento. A Figura 3.1 mostra a estrutura do BSC.

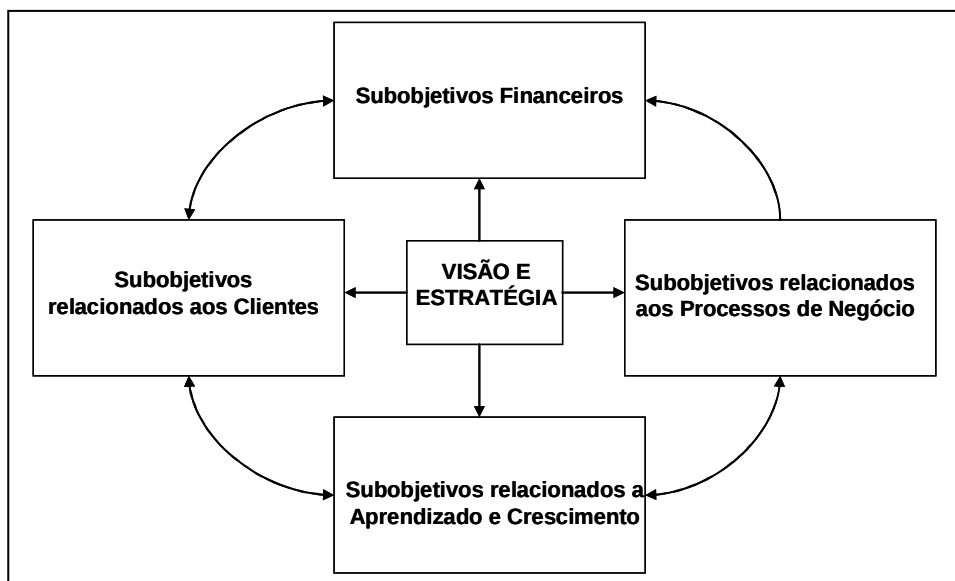


Figura 3.1 -Estrutura do *Balanced Scorecard* (adaptado de [KAPLAN e NORTON, 1996]).

Nas organizações desenvolvedoras de software, a execução do planejamento estratégico está vinculada à execução dos projetos. Dessa forma, os projetos devem fornecer medidas que possibilitem avaliar o alcance dos objetivos estratégicos [BARRETO, 2011].

Fica clara, assim, a necessidade de associação entre os objetivos estratégicos e os objetivos de medição da organização. Quando o relacionamento entre os objetivos estratégicos e os objetivos de medição é superficial e insuficiente, não se tem a garantia de que as medidas identificadas irão atender às necessidades de informação da organização [SOFTEX, 2011b].

Os modelos de maturidade CMMI-DEV e MR-MPS tratam a medição desde os níveis iniciais de maturidade (CMMI-DEV no nível 2 e o MR-MPS no nível F) destacando sempre a necessidade do alinhamento das medidas aos objetivos de negócio da organização [SEI, 2010; SOFTEX, 2011a].

Entretanto, definir objetivos de medição de software e medidas alinhados aos objetivos estratégicos não é uma tarefa trivial e necessita do apoio de métodos que guiem essa definição.

3.3 Definição de Objetivos, Medidas e Indicadores

Conforme discutido em seções anteriores, não tem sentido uma organização medir por medir, sem ter claro o que cada medida pode informar. Medições custam caro e precisam ser úteis para justificar o investimento de recursos humanos e

financeiros. As organizações necessitam, portanto, ter clareza sobre a adequação e utilidade das medidas que coletam e analisam. Necessitam garantir que essas medidas podem apoiar a tomada de decisão relacionada a seus objetivos de negócio.

As abordagens baseadas em objetivos para definição de medidas visam: (i) identificar objetivos de negócio ou uma questão chave que necessita ser respondida; (ii) identificar as necessidades de informação necessárias para determinar se o objetivo foi atingido ou para responder a questão; (iii) quantificar as necessidades de informação sob a forma de medidas; e (iv) analisar as medidas para determinar se os objetivos foram alcançados ou se a questão foi respondida de forma adequada [ALLEN e DAVIS, 2010].

A seguir são apresentados os principais métodos de apoio à definição de objetivos, medidas e indicadores.

3.3.1 O Método GQM (Goal Question Metric)

O método GQM [BASILI *et al.*, 1994] tem o objetivo de apoiar a definição de medidas¹ alinhadas aos objetivos de negócio da organização. Baseia-se no entendimento de que, para realizar medições de forma adequada, uma organização necessita primeiramente definir os seus objetivos e os objetivos de seus projetos para depois relacioná-los aos dados necessários. Por fim, deve fornecer um *framework* para análise e interpretação dos dados com relação aos objetivos estabelecidos.

O resultado da aplicação do GQM é uma estrutura hierárquica com três níveis (Figura 3.2): (i) nível conceitual (Objetivo), (ii) nível operacional (Questão) e (iii) nível quantitativo (Medida). Através de uma abordagem *top-down* e orientada a objetivos, são definidos objetivos que são refinados em questões. Medidas são, então, definidas de forma que sejam adequadas para responder às questões. A análise das medidas permite verificar o grau de alcance dos objetivos [SOLINGEN e BERGHOUT, 1999].

Na Figura 3.3 é apresentado um exemplo de uso do método GQM para

¹Conforme os conceitos de medição definidos no Capítulo 2 neste livro utiliza-se o termo medida em vez do termo métrica. Essa opção é consistente com a terminologia utilizada nos modelos CMMI e MR-MPS.

definição de medidas. Nesse exemplo tem-se o objetivo de melhorar as estimativas de projeto. Esse objetivo pode ser refinado em várias questões como, por exemplo: “Qual a precisão das estimativas de cronograma do projeto?” e “Qual a precisão das estimativas de esforço do projeto?”. Essas questões podem ser respondidas através das medidas.

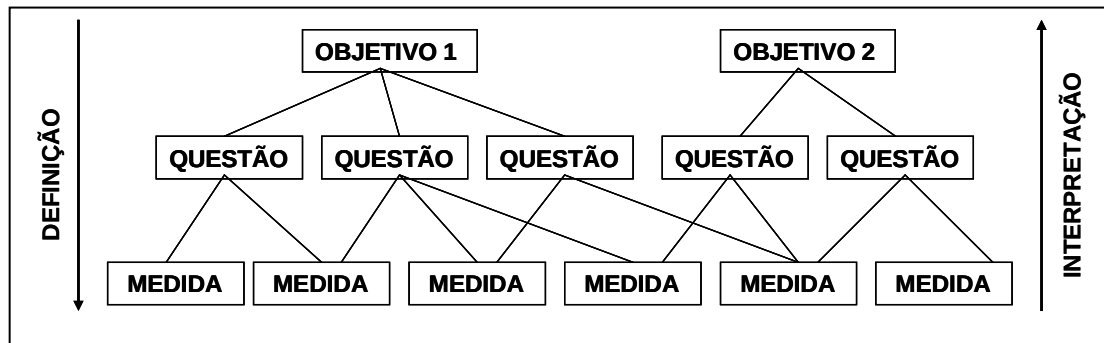


Figura 3.2 – Paradigma GQM (adaptado de [BASILI *et al.*, 1994]).

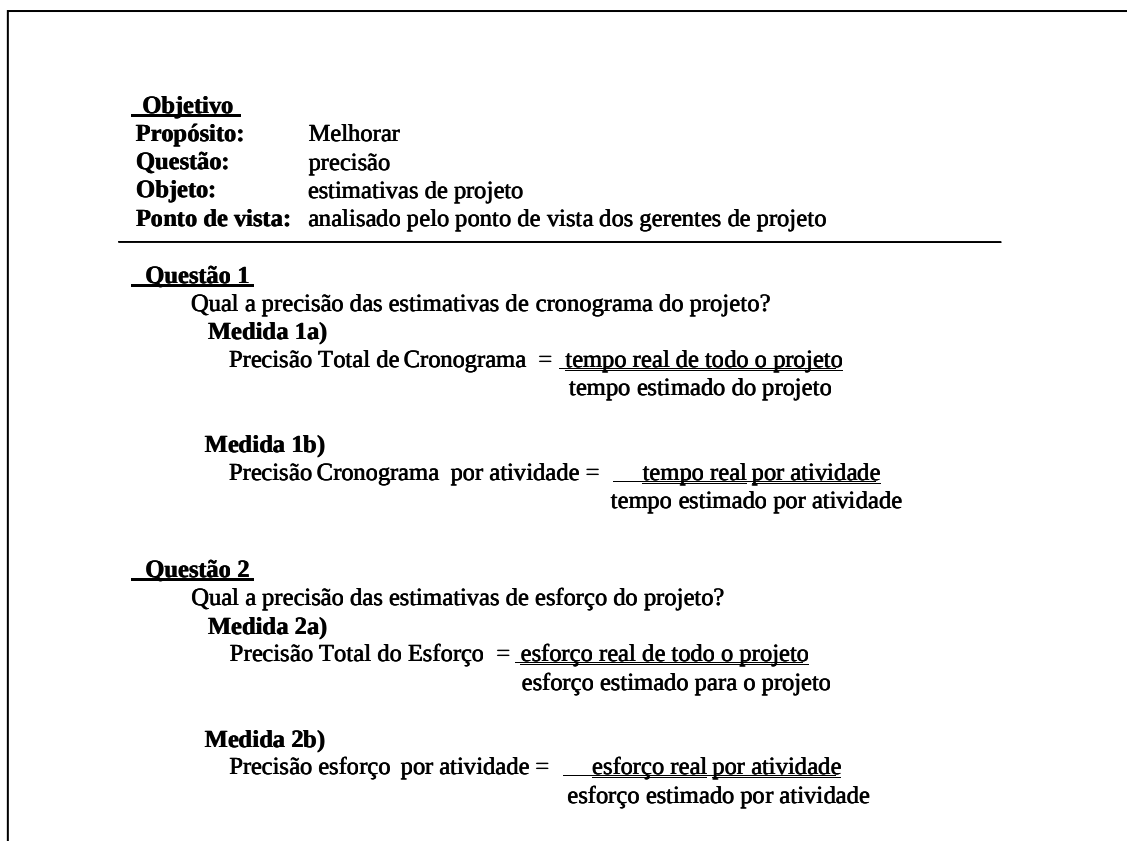


Figura 3.3 – Exemplo de uso do método GQM.

O próximo passo após a definição dos objetivos, questões e medidas é produzir um Plano de Medição e Análise que deve conter as seguintes informações [SOLINGEN e BERGHOUT, 1999]:

- Definição das medidas.
- Possíveis valores para as medidas.
- Procedimentos para coleta das medidas, que podem ser manuais ou automatizados.
- Responsabilidade pela coleta das medidas.
- Definição do momento em que a coleta deve ser realizada.
- Procedimentos para análise das medidas.
- Forma de apresentação dos dados para os envolvidos.

Exemplos detalhados de uso de GQM para estabelecer o Plano de Medição e Análise podem ser encontrados em [SOLINGEN e BERGHOUT, 1999].

As duas principais variações do método GQM são os métodos GQ(I)M (*Goal-Question-(Indicator)-Measure*) [PARK *et al.*, 1996] e GQM*Strategies [BASILI *et al.*, 2007]. A seguir essas duas abordagens são descritas.

3.3.2 O Método GQ(I)M (*Goal Question (Indicator) Measure*)

O método GQ(I)M é uma variação do método GQM, que propõe o alinhamento de medidas e indicadores com os objetivos. Esse método está baseado no entendimento de que identificar questões e medidas sem visualizar um indicador muitas vezes não é suficiente.

Para se utilizar o método GQ(I)M deve-se seguir os seguintes passos [GOETHERT e FISHER, 2003; ALLEN e DAVIS, 2010; BARRETO, 2011]:

1. Identificar e priorizar os objetivos de negócio da organização.
2. Identificar o que se deseja conhecer para entender, avaliar, prever ou melhorar as atividades relacionadas ou alcance dos objetivos.
3. Identificar os subobjetivos, o que significa traduzir os objetivos de alto nível em subobjetivos relacionados às atividades.
4. Identificar entidades e atributos relacionados aos subobjetivos e necessários à medição.
5. Formalizar os objetivos de medição.
6. Identificar questões quantificáveis e indicadores relacionados às questões que serão usados para apoiar o alcance dos objetivos.
7. Identificar os elementos de dados que serão coletados para compor os indicadores que ajudarão a responder às questões.

8. Definir as medidas que serão usadas e realizar sua definição operacional².
9. Identificar as ações que serão realizadas para implementar as medidas.
10. Preparar um plano para implementar as medidas.

Em [ALLEN e DAVIS, 2010] pode-se encontrar um exemplo detalhado do uso de GQ(I)M.

Em [GOETHERT e FISHER, 2003] é apresentada uma abordagem para derivar medidas organizacionais utilizando *Balanced Scorecard* e GQ(I)M. Essa abordagem possui quatro passos (Figura 3.4): (i) obter e esclarecer a missão e visão da organização; (ii) derivar objetivos estratégicos e subobjetivos usando GQ(I)M; (iii) mapear os subobjetivos no BSC, e (iv) aplicar GQ(I)M para definir os critérios de sucesso para cada subobjetivo, estabelecer questões relevantes e definir indicadores para cada subconjunto em cada quadrante do BSC e determinar medidas para os indicadores.

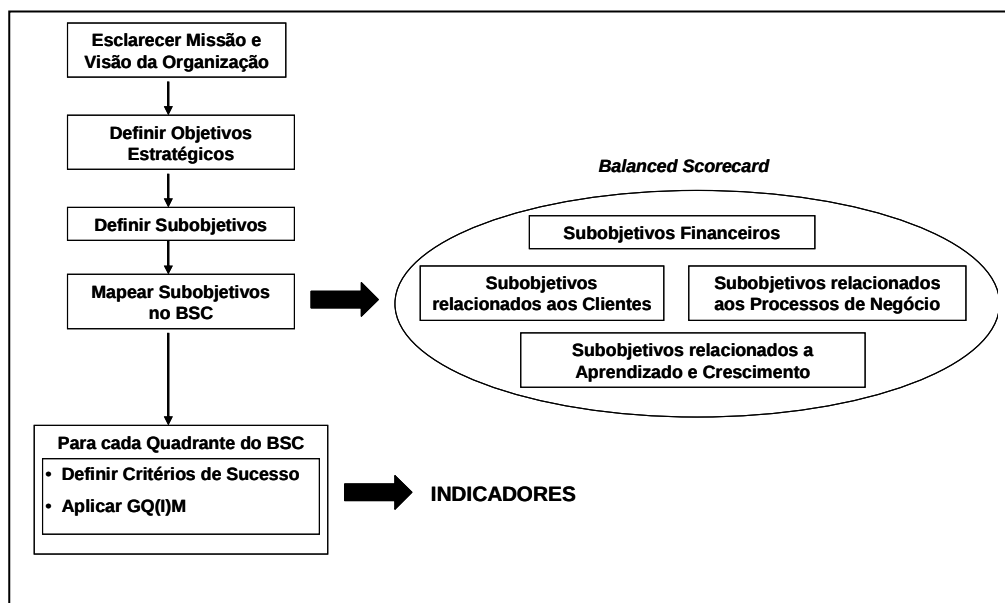


Figura 3.4 – Integração BSC e GQ(I)M (adaptado de [GOETHERT e FISHER, 2003]).

3.3.3 O método GQM*Strategies

Novamente com o objetivo de alinhar a medição de software às estratégias de negócio das organizações Basili, Heidrich, Lindvall, Münch, Regardie e Trendowicz [BASILI *et al.*, 2007] definiram o método GQM*Strategies, uma extensão da abordagem GQM.

² A definição operacional de medidas é tratada neste capítulo na Seção 3.7

Os autores reconhecem que, embora o GQM tenha se mostrado útil para a indústria de software, não fornece uma forma explícita para integrar os objetivos de medição de software aos objetivos de mais alto nível da organização. GQM*Strategies visa suprir essa carência fornecendo mecanismos para relacionar explicitamente os objetivos de medição de software aos objetivos de mais alto nível da organização de software e aos objetivos e estratégias do negócio como um todo. Dessa forma, essa extensão ao GQM lhe adiciona a capacidade de estabelecer programas de medição que garantem o alinhamento entre objetivos de negócio e estratégias, objetivos específicos de software e objetivos de medição.

O GQM*Strategies acrescenta um conjunto de extensões no topo do método GQM (Figura 3.5), tornando explícitos os objetivos de negócio, as estratégias e os objetivos de software.

GQM*Strategies compreende os seguintes passos:

1. Selecionar os objetivos de negócio da organização.
2. Identificar estratégias que apoiam a identificação dos objetivos específicos de software que contribuem para o alcance dos objetivos de negócio.
3. Identificar os objetivos de software.
4. Identificar cenários, isto é, um conjunto de ações necessárias para se alcançar o objetivo de software.
5. Definir objetivos de medição a partir dos cenários.
6. Derivar questões e medidas a partir dos objetivos de medição.

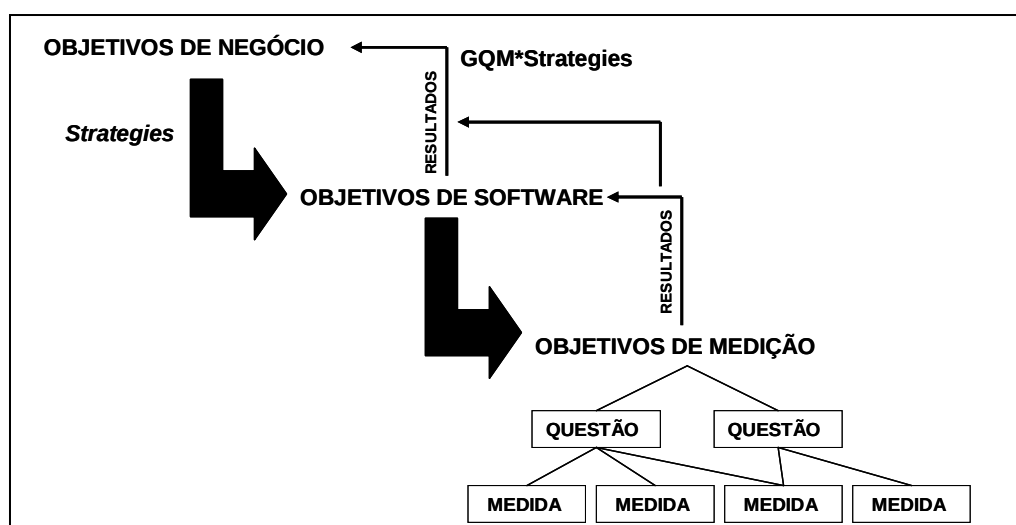


Figura 3.5 – GQM*Strategies (adaptado de [Basili *et al.*, 2007]).

3.3.4 Practical Software Measurement (PSM) e a norma ISO/IEC15939

O processo de medição proposto pela ISO/IEC 15939 [ISO/IEC, 2007] é orientado às necessidades de informação da organização. Para cada necessidade de informação, o processo gera um produto de informação, a fim de satisfazer a necessidade de informação identificada. Para isso, o processo considera um Modelo de Informação de Medição, que estabelece a ligação entre as medidas definidas e as necessidades de informação identificadas. A Figura 3.6 apresenta o Modelo de Informação de Medição definido na ISO/IEC 15939.

De acordo com o Modelo de Informação de Medição, as necessidades de informação são atendidas por conceitos mensuráveis definidos em relação às entidades que podem ser medidas. Essas entidades possuem atributos aos quais são aplicados métodos de medição para obter medidas base que são associadas através de funções de medição para compor medidas derivadas. Medidas são analisadas por modelos de análise e fornecem indicadores cuja interpretação representa produtos de informação que atendem às necessidades de informação inicialmente identificadas.

PSM [McGarry *et al.*, 2002] é uma abordagem para medição de software orientada às necessidades de informação organizacionais aderente à ISO/IEC 15939 e, como ela, possui dois componentes: um Modelo de Informação de Medição e um Processo de Medição.

O Modelo de Informação de Medição, assim como na ISO/IEC 15939, tem como objetivo estabelecer a ligação entre as medidas definidas e as necessidades de informação identificadas. Para isso, como mostra a Figura 3.7, o modelo de informação representa a evolução de uma necessidade de informação até o Plano de Medição.

A partir das necessidades de informação, conceitos mensuráveis, que indicam o que deve ser medido para atendê-las, devem ser identificados e modelados em um construtor de medição para estabelecer exatamente que medidas de que atributos são necessárias. A partir daí, o mecanismo de coleta e organização dos dados de uma ou várias instâncias do construtor de medição deve ser definido. O Plano de Medição é o resultado formal que agrupa todos os itens

anteriores.

Sendo aderente à norma ISO/IEC 15939, a relação entre necessidades de informação e conceito mensurável do Modelo de Informação do PSM equivale à relação entre esses itens presente no Modelo de Informação de Medição da ISO/IEC 15939 (representado no lado esquerdo da Figura 3.6). O construtor de medição, por sua vez, inclui os demais itens presentes no Modelo de Informação da ISO/IEC 15939 (demais itens representados na Figura 3.6).

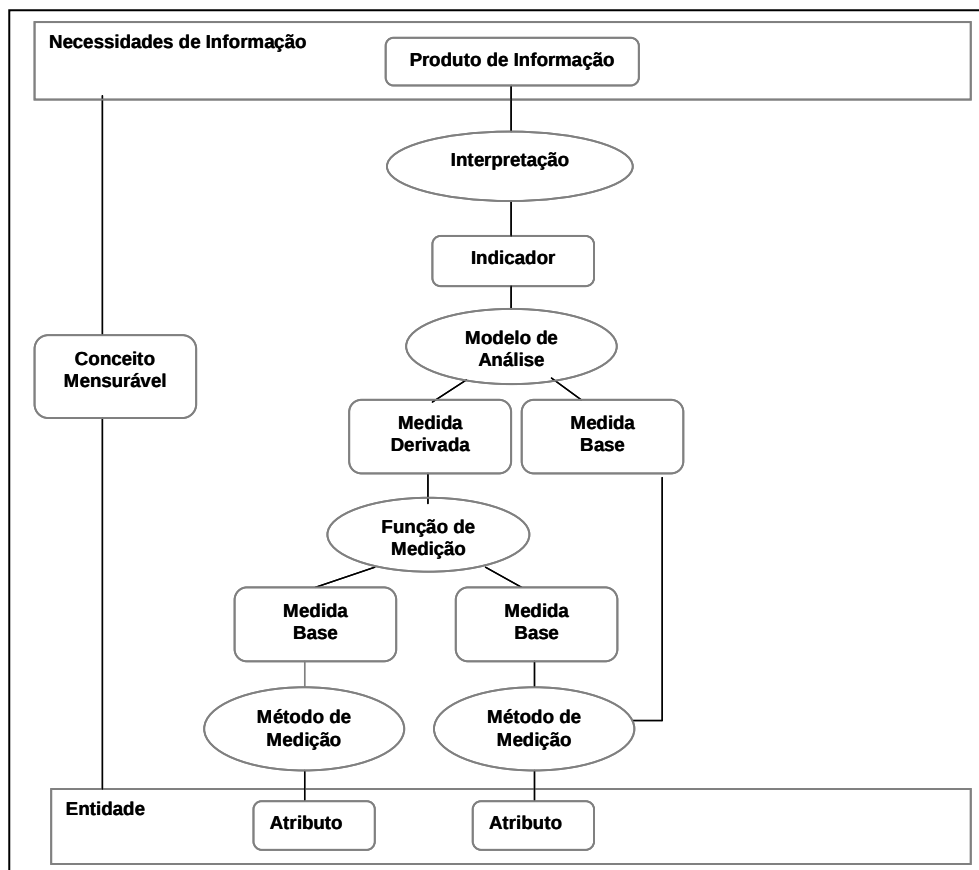


Figura 3.6 - Modelo de Informação de Medição [ISO/IEC, 2007].

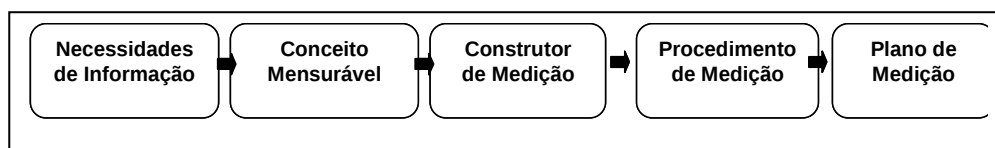


Figura 3.7 - Modelo de Informação de Medição [McGARRY et al., 2002].

3.3.5 Definição e Gerência de Objetivos de Software Alinhados ao Planejamento Estratégico

A partir da identificação da necessidade de um tratamento integrado para a definição e gerência de objetivos de software alinhados aos objetivos de negócio da

organizacional, Barreto (2011) definiu uma abordagem para apoiar o planejamento estratégico, tático e operacional em organizações de software, a monitoração dos objetivos definidos e a execução de ações corretivas para tratar os desvios detectados na monitoração.

A abordagem é composta por três componentes (Figura 3.8): (i) um método para planejamento estratégico, tático e operacional em organizações de software; (ii) uma infraestrutura para monitoração de objetivos e (iii) uma estratégia para recomendação de ações corretivas.

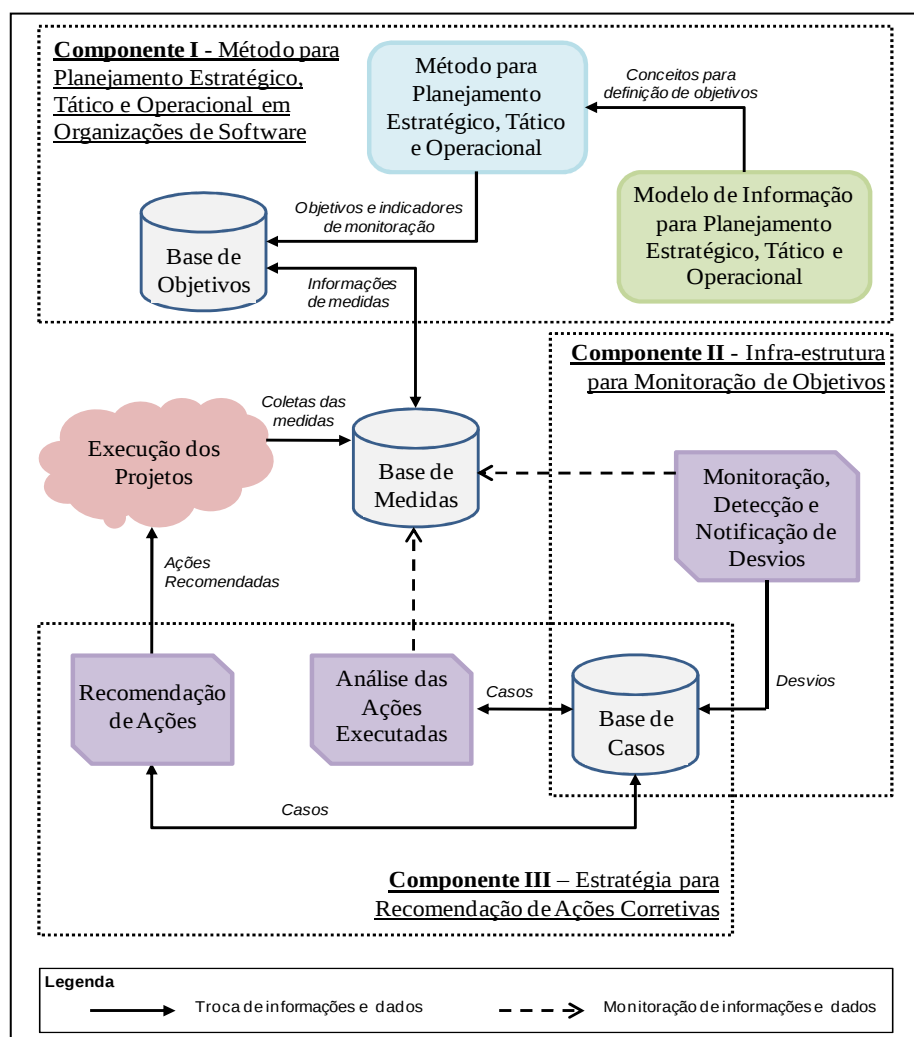


Figura 3.8 - Definição e Gerência de Objetivos de Software Alinhados ao Planejamento Estratégico [BARRETO, 2011].

O método para planejamento estratégico, tático e operacional é apoiado por um modelo de informação que descreve os conceitos necessários para a elaboração do planejamento nos três níveis. Esse modelo de informação e o método para planejamento estratégico, tático e operacional são usados como base para a definição e utilização dos demais componentes da abordagem.

A aplicação do método permite a definição dos objetivos estratégicos, táticos e operacionais, bem como a associação de indicadores para a monitoração dos objetivos. Os objetivos táticos relacionados a software são os objetivos de software.

Os objetivos definidos são acompanhados através da infraestrutura de monitoração, com base nas medidas coletadas para os indicadores de monitoração. A infraestrutura de monitoração é responsável por analisar continuamente os valores coletados para os indicadores, detectar e notificar a ocorrência de desvios. Durante a notificação de um desvio são identificados casos similares e as ações executadas com sucesso nesses casos são recomendadas.

3.4 As Cinco Medidas Essenciais

Putnam e Myers (2003) tratam a questão, amplamente discutida, da necessidade de tornar a medição de software efetiva e consideram que o primeiro passo para isso é escolher as medidas certas, isto é, medidas que ajudem a organização a operar com sucesso no mercado. Nesse contexto, identificaram cinco medidas que consideram essenciais: quantidade de funções (tamanho), produtividade, tempo, esforço e confiabilidade.

Segundo os autores, qualquer atividade, entre elas o desenvolvimento de software, pode ser descrita como a seguir, o que mostra a relação entre as cinco medidas essenciais:

*“Pessoas, trabalhando em algum nível de **produtividade**, produzem uma **quantidade de funções** ou um produto de trabalho com algum nível de **confiabilidade**, dependendo **esforço** em um intervalo de **tempo**”.*

Tempo é, normalmente, medido em horas, dias, semanas ou meses, dependendo do tamanho do projeto.

Esforço é medido em homem-mês ou homem-horas.

Qualidade é medida em termos de taxa de defeitos (confiabilidade), tendo em conta que qualquer produto é entregue, ainda, com a presença de alguns defeitos.

Quantidade de funções ou funcionalidade do produto é normalmente

medido utilizando linhas de código fonte (*source lines of code* – SLOC) ou pontos por função.

Produtividade, em geral, é medida como linhas de código fonte ou pontos por função por homem-mês, utilizando dados históricos da organização. Segundo os autores, essa não é uma medida precisa e propõem que produtividade seja medida em termos de produtividade do processo, isto é a produtividade de toda a equipe durante as diversas fases do desenvolvimento.

Essas cinco medidas são interdependentes. Se existe o desejo de reduzir o tempo de desenvolvimento, deve-se aumentar o esforço. Pode-se, também, aumentar a qualidade do esforço, alocando pessoal mais qualificado ao projeto. Pode-se, ainda, em benefício da rapidez no desenvolvimento, sacrificar a confiabilidade e entregar um produto com menor qualidade.

Por outro lado, se o desejo é construir um produto melhor, com mais funcionalidades ou maior confiabilidade é necessário aumentar o tempo ou o esforço. E ainda, se o desejo for diminuir o custo, o que significa diminuir o esforço, deve-se diminuir a ênfase em desenvolver mais rápido ou desenvolver melhor. O único meio de desenvolver melhor, mais rápido e com menor custo é aumentando a produtividade (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Relação entre as Medidas Essenciais (adaptado de [PUTNAM e MYERS, 2003]).

	TEMPO	ESFORÇO	CONFIABILIDADE	TAMANHO	PRODUTIVIDADE
MAIS RÁPIDO	↓	↑	↓	↓	↑
MELHOR	↑	↑	↑	↑	↑
MAIS BARATO	↑	↓	↓	↓	↑

Entretanto, é importante notar que existem limites para o que se pode aumentar ou diminuir nessas medidas. Existe um tempo mínimo de desenvolvimento e este depende do tamanho e tipo do produto, das características da equipe envolvida e do ambiente de desenvolvimento. De qualquer forma, diminuir o tempo de desenvolvimento vai significar aumentar o esforço e o custo. Além disso, provavelmente, vai significar diminuição da confiabilidade.

3.5 Definição dos Procedimentos de Coleta e Armazenamento

Finalizada a identificação das medidas, o próximo passo é definir os procedimentos de coleta e armazenamento dos dados, isto é, como será a obtenção dos dados que serão utilizados nas medições e onde estes ficarão armazenados.

Como a produção de software é uma tarefa intelectual, a coleta de dados requer, muitas vezes, observação e coleta manual e, portanto, é realizada por pessoas. Quando a coleta é manual, os responsáveis por esta tarefa registram os dados coletados em formulários específicos.

Coletas manuais são sujeitas ao viés de quem coleta o dado (que tanto pode ser involuntário quanto voluntário), erros, omissões e atrasos na coleta. O ideal seria se poder, sempre, fazer coleta de dados de forma automática. Entretanto, isso nem sempre é possível. Para garantir que a coleta seja feita de forma adequada, é necessário definir como ela será realizada [FENTON e PFLEEGER, 1997].

A definição explícita dos métodos de coleta de dados ajuda a garantir que os dados sejam coletados de forma correta e uniforme. Os procedimentos de coleta de dados incluem a definição de que dados serão coletados, como serão coletados, quando serão coletados, quem é responsável pela coleta e onde serão armazenados. Para isso é necessário especificar: (i) a frequência com que será realizada a coleta; (ii) o responsável pela coleta; (iii) formulários e/ou ferramentas utilizadas para a coleta; (iv) instruções e guias de apoio à coleta de dados; (v) o local de armazenamento dos dados; (vi) o responsável pelo armazenamento, recuperação e segurança dos dados [SEI, 2010; SOFTEX, 2011b].

É importante garantir que os procedimentos de coleta sejam simples e, se possível, integrados a outros processos, realizados de forma automática, sem alterar a rotina do profissional na execução da tarefa que gera o dado.

Caso sejam necessários formulários para coleta de dados, estes devem ser o máximo possível autoexplicativos. Devem, também, permitir o registro do dado e o contexto de coleta para que seja possível verificar sua confiabilidade e integridade. Um estudo realizado por Basili e Weiss em projetos da NASA, relatado em [FENTON e PFLEEGER, 1997], mostrou que metade dos dados coletados apresentavam problemas e não eram, portanto, úteis.

Outro aspecto a ser definido, nesse momento, é como será realizado o armazenamento dos dados, de forma a garantir sua segurança e recuperação futura. Os modelos CMMI-DEV [SEI, 2010] e MR-MPS [SOFTEX, 2011a] têm como um de seus requisitos, respectivamente nos níveis 3 e E, a definição de um repositório de medidas para a organização. Entretanto, a realização de medições tem início em níveis anteriores (nível 2 do CMMI e F do MR-MPS). Embora, nesses níveis, ainda não seja obrigatória a existência de um repositório organizacional de medidas, é recomendável que desde esses níveis as organizações já possuam um repositório capaz de garantir armazenamento e recuperação adequados dos dados.

No processo Definição do Processo Organizacional presente no Nível 3 do CMMI (prática específica 1.4) e E do MR-MPS (DFP 6) aparece a exigência de criação de um repositório de medidas, que deve conter: (i) medidas dos processos e dos produtos; (ii) informações necessárias para entender e interpretar as medidas; e (iii) informações necessárias para verificação da qualidade das medidas.

A infraestrutura do repositório de medidas deve ser definida de forma a considerar a evolução contínua das medidas dos processos e produtos e, também, a evolução da organização para níveis mais altos de maturidade. Diversos trabalhos definem os requisitos que um repositório de medidas deve satisfazer [FENTON e PFLEEGER, 1997; FLORAC e CARLETON, 1999; KITCHENHAM *et al.*, 2006; KITCHENHAM *et al.*, 2007; BARCELLOS, 2009a]. Uma discussão mais detalhada sobre o repositório de medidas pode ser encontrada no próximo capítulo.

3.6 Definição dos Procedimentos de Análise

A etapa seguinte ao planejamento da realização de medições é a especificação dos procedimentos para análise dos dados coletados para as medidas.

A definição dos procedimentos de análise também deve ser feita antes de se iniciar a execução de medições, de forma a garantir que a análise seja realizada de forma correta e os resultados sejam relatados de forma a tratar os objetivos de medição estabelecidos e as necessidades de informação.

A definição dos procedimentos de análise inclui [SEI, 2010]: (i) especificar e

priorizar as análises a serem realizadas e os relatórios a serem produzidos; (ii) selecionar os métodos e ferramentas para análise de dados; (iii) especificar os procedimentos administrativos para analisar e comunicar os resultados; (iv) rever e atualizar o conteúdo e formato das análises e relatórios; (v) atualizar medidas e medições, se necessário; e (vi) especificar os critérios para avaliar a utilidade dos resultados das análises e para avaliar a execução das medições e análises.

A seleção dos métodos e ferramentas para a análise dos dados inclui: (i) escolher as técnicas de apresentação mais adequadas (por exemplo, gráficos de pizza, gráficos de barras, histogramas etc.); (ii) escolher a estatística descritiva (por exemplo, média, mediana ou moda); (iii) definir os critérios para amostragem quando não for adequado analisar todos os dados; (iv) definir como será realizada a análise caso falem dados; e (v) selecionar as ferramentas de análise [SEI, 2010; FLORAC e CARLETON, 1999].

Assim, para cada medida identificada devem ser definidas as atividades e responsabilidades pela análise de dados e como os dados serão comunicados aos interessados. Essa definição deve incluir: definição da frequência da análise de dados; responsável pela análise, dados a serem utilizados, ferramentas de análise, metas, verificações a serem realizadas e forma de comunicação dos resultados [SOFTEX, 2011 b].

3.7 Definição Operacional de Medidas

A forma de definição das medidas é importante para garantir que elas sejam coletadas e analisadas de forma consistente e independente de quem faz a coleta e a análise.

Para serem úteis as medidas precisam estar bem definidas, o que significa satisfazer a três critérios [FLORAC e CARLETON, 1999]:

- **Comunicação:** a definição da medida e a descrição dos valores medidos devem permitir que se entenda precisamente o que foi medido e como os dados foram coletados para que seja possível interpretar corretamente os resultados.
- **Repetitividade:** a definição da medida deve permitir que pessoas diferentes possam realizar a medição e obter os mesmos resultados.

- **Rastreabilidade:** a origem dos dados deve estar identificada em termos de tempo, fonte, atividade, produto, ferramenta utilizada para a medição e responsável pela coleta.

Esses critérios são a base para as definições operacionais de medidas. Uma definição operacional incompleta, ambígua ou fracamente documentada possibilita que diferentes pessoas entendam a medida de maneiras diferentes e, conseqüentemente, colem dados inválidos, realizem medições incomparáveis ou análises incorretas, o que torna a medição inconsistente e ineficiente [KITCHENHAM *et al.*, 2001].

A definição operacional de uma medida deve conter as seguintes informações:

- **Nome:** nome da medida.
- **Definição:** descrição sucinta da medida.
- **Mnemônico:** sigla utilizada para identificar a medida.
- **Tipo de Medida:** classificação da medida quanto à sua dependência funcional, podendo uma medida ser uma medida base ou uma medida derivada.
- **Entidade Medida:** entidade que a medida mede. Exemplos: organização, projeto, processo, atividade, recurso humano, recurso de hardware, recurso de software e artefato, dentre outros.
- **Propriedade Medida:** propriedade da entidade medida que é quantificada pela medida. Exemplos: tamanho, custos, defeitos, esforço etc.
- **Unidade de Medida:** unidade de medida em relação à qual a medida é medida. Exemplos: pessoa/mês, pontos por função, reais etc.
- **Tipo de Escala:** natureza dos valores que podem ser atribuídos à medida. Exemplos: escala nominal, escala intervalar, escala ordinal, escala absoluta e escala taxa.
- **Valores da Escala:** valores que podem ser atribuídos à medida. Exemplos: números reais positivos, {alto, médio, baixo} etc. Para medidas com escala do tipo absoluta ou taxa, ao determinar os valores da escala, é preciso identificar a precisão a ser considerada

(0, 1 ou 2 casas decimais).

- **Intervalo Esperado dos Dados:** limites de valores da escala definida de acordo com dados históricos ou com metas estabelecidas. Exemplo: [0, 10].
- **Procedimento de Medição:** descrição do procedimento que deve ser realizado para coletar uma medida. A descrição do procedimento de medição deve ser clara, objetiva, não ambígua e deve incluir onde os valores medidos devem ser registrados.
- **Fórmula de Cálculo de Medida:** fórmula utilizada no procedimento de medição de medidas derivadas, para calcular o valor atribuído à medida considerando-se sua relação com outras medidas ou com outros valores. Exemplo: aderência ao cronograma = tempo real / tempo estimado.
- **Responsável pela Medição:** papel desempenhado pelo recurso humano responsável pela coleta da medida. É importante que o responsável pela medição seja fonte direta das informações a serem fornecidas na medição. Exemplos: analista de sistemas, programador, gerente do projeto etc.
- **Momento da Medição:** momento em que deve ser realizada a coleta e registro de dados para a medida. O momento da coleta deve ser uma atividade do processo definido para os projetos ou de um processo organizacional. Exemplos: na atividade Homologar Especificação de Requisitos, na atividade Realizar Testes de Unidade etc.
- **Periodicidade de Medição:** frequência de coleta da medida. Exemplos: diária, mensal, uma vez por fase, uma vez por projeto, uma vez em cada ocorrência da atividade designada como momento da medição etc. É indispensável que haja coerência entre a periodicidade de medição e o momento de medição.
- **Procedimento de Análise:** descrição do procedimento que deve ser realizado para representar e analisar os dados coletados para uma medida, incluindo, além do procedimento propriamente dito, as ferramentas analíticas que devem ser utilizadas (por exemplo:

histograma). A descrição do procedimento de análise deve ser clara, objetiva e não ambígua. Um procedimento de análise de medição pode ser baseado em critérios de decisão (por exemplo, utilizando-se uma meta como referência) e, nesse caso, os critérios de decisão considerados (incluindo suas premissas e conclusões) devem ser claramente estabelecidos. Medidas que não são analisadas isoladamente não precisam ter procedimento de análise definido. Por exemplo: se a medida número de requisitos alterados só for submetida à análise quando utilizada na composição da medida taxa de alteração de requisitos, não há necessidade de definir seu procedimento de análise.

- **Momento da Análise de Medição:** momento em que deve ser realizada a análise de dados coletados para a medida. O momento da análise deve ser uma atividade do processo definido para os projetos ou de um processo organizacional como, por exemplo, em atividades de monitoramento de projeto.
- **Periodicidade da Análise:** frequência de análise de dados da medida. Exemplos: diária, mensal, uma vez por fase, uma vez por projeto, uma vez em cada ocorrência da atividade designada como momento da análise etc. É indispensável que haja coerência entre a periodicidade de análise de medição e o momento da análise de medição.
- **Responsável pela Análise:** papel desempenhado pelo recurso humano responsável pela análise da medida. É importante que o responsável pela análise de medição seja apto a aplicar o procedimento de análise e tenha conhecimento organizacional que propicie a correta interpretação dos dados e fornecimento de informações que apoiem as tomadas de decisão. Exemplos: gerente do projeto, gerente de qualidade etc.

A Figura 3.9 apresenta um exemplo de parte de um Plano de Medição Organizacional contendo a definição de uma medida.

	Plano de Medição Organizacional
	Projeto: Responsável:
Este plano visa definir o planejamento dos objetivos, questões e medidas a partir dos objetivos estratégicos definidos com a alta gerência da organização.	
Objetivo: Diminuir o número de defeitos	
Questão: Qual a densidade de defeitos ocorridos no teste de software?	
Nome da Medida: Densidade de defeitos em testes de software (DDTS). Definição: Medida que quantifica a densidade de defeitos encontrados nos testes de software na homologação interna. Mnemônico: DDTS Tipo de Medida: medida derivada Entidade Medida: Processo de Testes Propriedade Medida: Detecção de defeitos Unidade de Medida: defeitos/KSLOC Tipo de Escala: Absoluta Valores da Escala: Números reais positivos com precisão de duas casas decimais Intervalo Esperado dos Dados: [0,01; 0,10] Fórmula de Cálculo de Medida: $DDTS = NDTs/TP$, onde: $NDTs$ = Número de defeitos detectados nos testes de software e TP = Tamanho do Produto Procedimento de Medição: Calcular a densidade de defeitos utilizando a fórmula de cálculo da medida. O cálculo da medida é feito automaticamente pela ferramenta de apoio à medição utilizada. Momento da Medição: Atividade Registrar Dados dos Testes Periodicidade de Medição: Uma vez em cada ocorrência da atividade Responsável pela Medição: Ferramenta de apoio à medição, utilizando dados fornecidos para as medidas base pelo desenvolvedor que realizou os testes. Procedimento de Análise: Representar em um gráfico de barras os dados coletados para a medida nos projetos da organização. Analisar se há projetos cuja densidade de defeitos destoa significativamente das demais, dos valores praticados nos meses anteriores ou dos valores esperados. Em caso afirmativo, conduzir investigação de causas para que, identificadas as causas, sejam determinadas as ações corretivas necessárias. Momento da Análise: Atividade Analisar Dados de Monitoramento dos Projetos Periodicidade da Análise: Mensal Responsável pela Análise: Gerente de Qualidade	

Figura 3.9 – Fragmento de um plano de medição contendo a definição de uma medida.

3.8 Execução da Medição

Após finalizar as etapas de planejamento conforme descrito nas seções anteriores, a organização está apta para iniciar a fase operacional da medição, que envolve coleta, análise e armazenamento de dados e resultados das análises.

A coleta de dados deve ser realizada de acordo com os procedimentos previamente definidos. Nesse momento são coletados os dados para as medidas base, é verificada a integridade dos dados (antes de serem armazenados) e são

calculadas as medidas derivadas.

Medições estão sujeitas a erros, tanto na coleta quanto no registro dos dados. Para que a análise possa ser realizada e decisões adequadas possam ser tomadas a partir dos resultados da análise, os dados coletados devem cumprir um conjunto de requisitos que garantam a sua credibilidade [FLORAC e CARLETON, 1999; BARCELLOS, 2009a]. Dessa forma, é importante, após a coleta, realizar a verificação da integridade dos dados, que pode incluir a busca por dados que faltam, a verificação de valores fora dos limites e de comportamentos não usuais [SEI, 2010].

Após a coleta, verificação da integridade dos dados e cálculo das medidas derivadas, o próximo passo é realizar a análise dos dados, que inclui: (i) analisar, interpretar os dados e elaborar conclusões preliminares; (ii) realizar medições e análises adicionais se, com os resultados da análise, isso se mostrar necessário; (iii) preparar os resultados para apresentação aos interessados; (iv) rever os resultados preliminares com os envolvidos mais relevantes visando a realização de ajustes na análise e apresentação dos dados; (v) identificar a necessidade de melhorias no planejamento de medições na organização [SEI, 2010; SOFTEX, 2011b]. O objetivo final da realização de medições é fornecer informações para que a tomada de decisão seja objetiva e baseada em dados. Sendo assim, a análise de dados inclui comparar as medidas obtidas com a expectativa de como elas deveriam ser (valor esperado) e tomar as decisões pertinentes em caso de desvios.

O próximo passo é armazenar os resultados da análise de dados e informações relacionadas às medidas que permitam seu uso futuro, o que deve ser feito de acordo com os procedimentos previamente especificados. Essa atividade envolve, também, tornar o conteúdo armazenado disponível para as pessoas e grupos adequados estabelecer mecanismos para controle de acesso que evitem o uso inadequado das informações armazenadas [SEI, 2010].

Medições são mais facilmente aceitas e são mais efetivas quando seus resultados são comunicados e tornados disponíveis às partes envolvidas [MCGARRY *et al.*, 1999].

Medidas podem evidenciar o rumo dos projetos e prever situações futuras. Podem, também, mostrar o desempenho dos processos e apoiar a

identificação de pontos de melhoria porque permitem o entendimento dos processos existentes e dos fatores de influência [FLORAC e CARLETON, 1999; SEI, 2010; SOFTEX, 2011a; BARRETO e ROCHA, 2010]. Esse conhecimento deve apoiar a tomada de decisão e a implementação de ações corretivas.

Uma questão relevante no contexto da execução de medições em uma organização é o fato de que os objetivos e as necessidades de informação evoluem. Medidas podem se tornar inúteis porque a coleta se mostrou inviável ou porque mudou o contexto da organização, dos processos, dos produtos ou dos projetos. Nesses casos torna-se necessário realizar uma revisão nos objetivos de medição, indicadores e medidas de modo a torná-los, novamente, alinhado às necessidades de negócio e de informação sobre os processos, produtos e projetos [FLORAC e CARLETON, 1999; MCGARRY *et al.*, 1999].

A Figura 3.10 apresenta, como exemplo, um roteiro para elaboração do Relatório de Medição, que apresenta os resultados das análises das medidas.

3.9 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas as principais abordagens para planejamento de medições. A utilização de abordagens baseadas em objetivos de medição, alinhada ao planejamento estratégico e aos objetivos de negócio da organização é um fator crítico para o sucesso de um programa organizacional de medição.

De pouco vale, entretanto, ter-se um bom planejamento se a sua execução não for feita de forma criteriosa e aderente ao plano. Os procedimentos de coleta, armazenamento e verificação da integridade dos dados são, desta forma, essenciais para que os resultados da análise retratem a realidade da organização, de seus processos e produtos. Só assim a medição trará os benefícios esperados, será capaz de apoiar o programa de melhoria de processos da organização e a avaliação do alcance dos objetivos estratégicos e de negócio.

No próximo capítulo será iniciada a discussão sobre o controle estatístico de processos.

	Relatório de Medição			
	Projeto:		Mês Ref.:	
	Responsável:		Empresa:	

Controle de Versão do Documento

Versão	Modificações	Data	Responsável

Projetos Medidos

Projeto	Cliente	Gerente	Fase

Análise das Medidas

Objetivo: <objetivo de medição conforme definido no Plano de Medição>
Questão: <questão relacionada ao conforme definido no Plano de Medição>
Medida: <nome da medida conforme o Plano de Medição>
Intervalo Esperado dos Dados: <intervalo definido no Plano de Medição>
Análise dos Resultados: <incluir na análise gráfico, apreciação dos resultados e informações de contexto pertinentes>
Medida: <nome da medida conforme o Plano de Medição>
Intervalo Esperado dos Dados: <intervalo definido no Plano de Medição>
Análise dos Resultados: <incluir na análise gráfico, apreciação dos resultados e informações de contexto pertinentes>

<repetir para todos os objetivos, questões e medidas do Plano de Medição>

Figura 3.10 – Exemplo de Roteiro para Elaboração do Relatório de Medição.

PARTE II

Controle Estatístico de Processos

Capítulo 4

Conhecimento Básico para o Controle Estatístico de Processos e a Gerência Quantitativa de Projetos

4.1 Introdução

No contexto de modelos de maturidade de processo, tais como o MR-MPS [SOFTEX, 2011a] e o CMMI [SEI, 2010], a medição de software é realizada de diferentes formas, dependendo do nível de maturidade em que a organização se encontra. Nos níveis iniciais, tais como os níveis G a C do MR-MPS e os níveis 2 e 3 do CMMI, é realizada a medição tradicional, que consiste, basicamente, na definição de medidas, realização de estimativas, coleta de dados da execução dos projetos e comparação dos dados coletados com os valores estimados. Nos níveis mais elevados de maturidade, tais como os níveis B e A do MR-MPS e os níveis 4 e 5 do CMMI, a medição tradicional ainda é realizada, mas não é suficiente. Nesses níveis é necessário realizar o controle estatístico dos processos de software para conhecer seu comportamento, determinar o seu desempenho em execuções anteriores e a partir daí prever seu desempenho em projetos correntes e futuros, verificando se são capazes de atender aos objetivos de desempenho e qualidade estabelecidos e identificando ações corretivas e de melhoria quando apropriado [BARCELLOS, 2009a].

O controle estatístico de processos utiliza dados coletados em projetos executados na organização para analisar o comportamento dos processos organizacionais instanciados nos projetos. O objetivo inicial é obter processos estáveis, isto é, processos cujo comportamento seja repetível e, consequentemente, previsível. Processos instáveis devem ter suas causas de instabilidade investigadas e devem ser identificadas e realizadas ações corretivas para sua estabilização. Uma vez estáveis, ações que visam à melhoria da capacidade dos processos podem ser identificadas e realizadas, conduzindo à melhoria contínua dos processos.

O controle estatístico de processos foi originalmente proposto na área de manufatura, visando apoiar a implementação de programas de melhoria contínua

em linhas de produção. Apesar de sua utilização na melhoria de processos não ser novidade para a indústria em geral, no contexto das organizações de software ele pode ser considerado relativamente recente. Assim, é comum que existam dúvidas no momento de sua implementação.

Neste capítulo é apresentada parte do conhecimento básico necessário para que seja possível implementar adequadamente o controle estatístico de processos. Esse conhecimento é complementado pelo conteúdo do Capítulo 5, onde serão apresentados os gráficos de controle. Na seção 4.2 são apresentados alguns aspectos relevantes para que se entenda a importância do controle estatístico de processos. Na seção 4.3 são apresentados os conceitos de estabilidade e capacidade, necessários à análise do comportamento de processos. Na seção 4.4 é abordada a identificação dos subprocessos a serem submetidos ao controle estatístico. Na seção 4.5 discute-se a identificação de medidas adequadas para o controle estatístico. Na seção 4.6 são discutidos aspectos que devem ser considerados para que uma base de medidas seja adequada para o controle estatístico. Na seção 4.7 são realizadas as considerações finais do capítulo.

4.2 O Poder do Controle Estatístico de Processos

Constantemente as organizações se questionam se os resultados por elas esperados estão sendo alcançados. Essa questão pode ser expressa de várias maneiras: se os objetivos estão sendo alcançados, se os clientes estão satisfeitos, se está havendo retorno do investimento, se o desempenho alcançado é suficiente para o crescimento requerido para a sobrevivência e competitividade da organização etc.

Para a maioria das organizações, responder a essas questões de forma objetiva e precisa não é uma tarefa trivial, pois nem sempre os processos da organização são corretamente gerenciados e, com isso, seu desempenho real não é conhecido [FLORAC e CARLETON, 1999]³.

³ Desempenho de processo pode ser definido como uma medida dos resultados atuais que o processo alcançou e pode ser caracterizado por medidas de processo (por exemplo: esforço, prazo e eficiência da remoção de defeitos) e/ou por medidas de produto (por exemplo: confiabilidade e densidade de defeitos) [SEI, 2010].

W. Edwards Deming [DEMING, 1986], reconhecendo a importância da gerência dos processos, inspirou-se nos trabalhos de Walter A. Shewhart [SHEWHART, 1939] acerca de *process-thinking* e popularizou sua abordagem para gerência e melhoria contínua de processos sob o nome de PDCA – *Plan, Do, Check, Act*.

Com o passar do tempo, os conceitos, métodos e práticas associados à gerência de processos e melhoria contínua foram aceitos pela comunidade de software, que percebeu que os princípios do *process-thinking* poderiam ser aplicados em organizações de software a fim de alcançar melhoria da qualidade, produtividade e competitividade.

Gerenciar processos de software envolve definir, medir, controlar e melhorar os processos de trabalho associados ao desenvolvimento, manutenção e suporte de produtos e serviços de software. A gerência efetiva dos processos corrobora para que os produtos e serviços gerados atendam aos requisitos da organização e dos clientes e, conseqüentemente, contribuam para o alcance dos objetivos de negócio da organização [FLORAC e CARLETON, 1999].

A aceitação e utilização do *process-thinking* pelas organizações de software levaram à percepção de que os métodos de medição e análise tradicionais, que comparam os valores realizados com os valores planejados, não são suficientes para determinar o desempenho dos processos e responder objetivamente as questões citadas no primeiro parágrafo desta seção.

Mais uma vez, a comunidade de software reconheceu a utilidade de métodos e práticas oriundos da indústria para resolver questões nas organizações de software. O controle estatístico de processos passou, então, das linhas de produção da manufatura para o desenvolvimento de software [LANTZY, 1992]. Nesse contexto, o controle estatístico de processos pode ser visto como uma evolução do processo de medição.

O controle estatístico de processos envolve a utilização de gráficos de controle e métodos estatísticos específicos para analisar os dados coletados para medidas ao longo dos projetos e fornecer informações sobre o desempenho dos processos.

A utilização de gráficos de controle e métodos estatísticos provê aos engenheiros de software e gerentes de projetos uma visão quantitativa do comportamento dos processos de software. Metaforicamente, os gráficos de controle estão para os gerentes de projeto e engenheiros de software assim como o painel de controle de um automóvel está para seu motorista. O motorista depende do que é mostrado no painel de controle para tomar decisões, tais como: abastecer o carro, colocar água, diminuir a velocidade nas curvas ou parar em uma oficina mecânica quando um indicador no painel revela a presença de problemas. De forma análoga, os gráficos de controle compõem um painel de controle e guiam as decisões dos gerentes de projetos e engenheiros de software, fornecendo o conhecimento necessário sobre o comportamento dos processos.

A principal diferença entre o controle estatístico de processos e a chamada estatística clássica é que esta, tipicamente, utiliza métodos de análise baseados em dados estáticos no tempo. Com isso, na maioria das vezes, independente da ordem em que os dados forem analisados, o resultado da análise será o mesmo. Essas análises são relevantes especialmente quando se deseja comparar quão similares ou diferentes são dois grupos de dados (por exemplo, comparar as densidades de defeitos em diferentes projetos), porém, não são capazes de, sozinhas, revelarem se houve ou não melhoria. Em contrapartida, o controle estatístico de processos combina o rigor da estatística clássica à sensibilidade temporal da melhoria pragmática, onde a ordem temporal dos dados é fator crucial para sua representação e análise. Assim, através da associação de métodos estatísticos com análises cronológicas, o controle estatístico de processos habilita a detecção de mudanças e tendências no comportamento dos processos ao longo do tempo [BENNEYAN *et al.*, 2003].

Além da diferença da abordagem estatística adotada, outra diferença importante entre a medição dita tradicional e o controle estatístico de processos está no fato de que a medição tradicional visa a um acompanhamento periódico (bimestral, mensal, quinzenal etc.) dos valores coletados para as medidas, enquanto que o controle estatístico de processos visa a um acompanhamento mais frequente (às vezes, diário) do comportamento dos processos ao longo dos projetos.

Na medição tradicional, tipicamente, as medidas são coletadas e analisadas após o término do projeto ou de suas fases. Por exemplo, é comum que ao final de uma fase ou do projeto seja analisada a aderência ao prazo que fora planejado para aquela fase ou projeto. A informação obtida com essa análise é importante, no entanto, ela só permite que o gerente tome ações para melhorar a aderência ao prazo em uma próxima execução da fase ou em um novo projeto.

No controle estatístico de processos, as medidas devem ser analisadas frequentemente. Considerando o exemplo citado anteriormente, a aderência ao prazo seria analisada em intervalos menores de tempo (por exemplo: diariamente, semanalmente ou por atividade). Assim, caso a aderência aos prazos não fosse satisfatória, o gerente poderia tomar ações para melhorá-la ainda no contexto do projeto corrente.

Para exemplificar a diferença entre o uso da medição tradicional e do controle estatístico usando a analogia feita anteriormente nesta seção, considere que um motorista tem como objetivo levar uma encomenda de uma cidade A para uma cidade B no prazo de doze horas. Ao longo da viagem, ele observa o painel de controle a fim de evitar que problemas façam seu automóvel parar, o que poderia interferir no alcance ao objetivo estabelecido. Quando o marcador de nível de combustível informa que o automóvel está utilizando a reserva de combustível, o motorista atenta-se para o fato de que deve reabastecer antes que o combustível se esgote e o automóvel pare. Além disso, conhecendo o consumo médio do automóvel, o motorista pode determinar aproximadamente quantos quilômetros o automóvel pode percorrer com o combustível reserva.

Analogamente, um gerente de projetos que utiliza o controle estatístico pode analisar o comportamento dos processos de seu projeto e, caso não seja adequado, ele tem condições de realizar ações para adequá-lo no projeto corrente, a fim de que os objetivos estabelecidos sejam alcançados.

Considere, agora, que o marcador de nível de combustível do automóvel apenas sinalize quando o tanque de combustível está completo e quando está vazio. Nesse caso, quando o combustível terminar, o automóvel irá parar sem avisar previamente o motorista, que terá que realizar ações para fazer o automóvel voltar a funcionar, como, por exemplo, pedir carona até o posto mais

próximo para comprar alguns litros de combustível, voltar ao automóvel para abastecê-lo com o combustível adquirido e levá-lo até o posto para o reabastecimento necessário. Essas ações demandarão mais tempo do que se o reabastecimento tivesse sido realizado antes de o combustível terminar e, com isso, o objetivo de chegar à cidade B em doze horas pode não ser alcançado. Conhecer o local onde o combustível terminou permite que o motorista, em uma nova viagem pelo mesmo trajeto e sob as mesmas condições, pare em um posto e reabasteça o automóvel antes de o combustível terminar. No entanto, o objetivo da viagem anterior já terá sido comprometido.

Analogamente, um gerente de projetos que adota somente a medição tradicional pode ficar limitado a realizar melhorias apenas em projetos futuros, uma vez que, assim como o motorista que só é avisado quando o combustível termina, pontos que precisam de melhoria, usualmente, só são conhecidos no fim dos projetos.

4.3 O Comportamento dos Processos

A utilização do controle estatístico permite conhecer o comportamento dos processos e fazer previsões sobre seu desempenho. O comportamento de um processo é analisado através das medidas a ele associadas.

No que tange o comportamento dos processos, dois conceitos são importantes: *estabilidade* e *capacidade*. Um processo é considerado *estável* se o mesmo é repetível. A estabilidade permite prever o desempenho do processo em execuções futuras e, com isso, apoia a elaboração de planos que sejam alcançáveis. A previsibilidade é a essência do controle estatístico [WHEELER e CHAMBERS, 2010]. Por outro lado, um processo é *capaz* se ele, além de ser estável, alcança os objetivos e metas da organização e do cliente.

Em relação à estabilidade, é importante destacar que é intrínseco aos processos apresentar variações em seu comportamento. Sendo assim, um processo *estável* não é um processo que não apresenta variações e, sim, um processo que apresenta variações aceitáveis, que ocorrem dentro de limites previsíveis, que caracterizam a repetitividade de seu comportamento.

As *variações aceitáveis*, também ditas *variações controladas*, são provocadas pelas chamadas *causas comuns* [SHEWART, 1939]. Elas provocam

desvios dentro de um limite previsto para o comportamento do processo. São variações que pertencem ao processo, ou seja, são o resultado de interações normais dos componentes do processo: pessoas, equipamentos, ambientes e métodos. Um exemplo de causa comum, que provoca variações controladas, pode ser a diferença de produtividade entre os membros de uma equipe relativamente homogênea. Cada membro executa certo processo com uma determinada produtividade, sendo assim, as variações causadas no comportamento desse processo, por essa diferença de produtividade entre seus executores, são previsíveis. A Figura 4.1 ilustra o conceito de variações controladas.

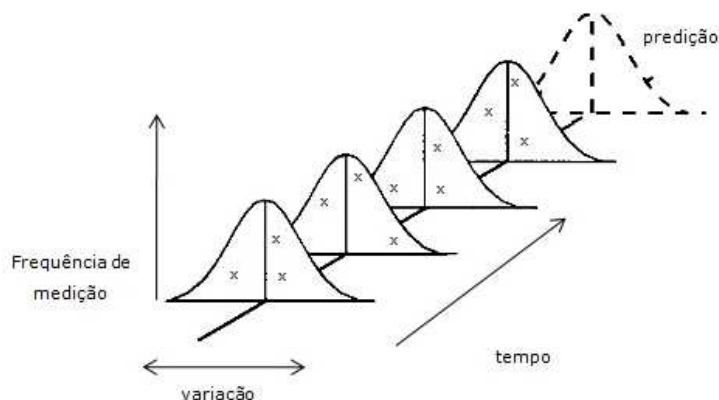


Figura 4.1 – Variações controladas (adaptado de [FLORAC e CARLETON, 1999]).

Por outro lado, as chamadas *causas especiais* [SHEWART, 1939] provocam desvios que excedem os limites de variação aceitável para o comportamento do processo, revelando um processo instável. As causas especiais são eventos que não fazem parte do curso normal do processo e provocam mudança no padrão de variação esperado. Considerando processos de software, a inclusão de um membro inexperiente na equipe poderá alterar o comportamento do processo além do esperado, caracterizando uma causa especial. Dificuldades na utilização de um novo aplicativo de apoio à execução do processo também podem levar a variações não previstas, sendo assim outra causa especial. A Figura 4.2 ilustra o conceito de variações não controladas, provocadas por causas especiais.

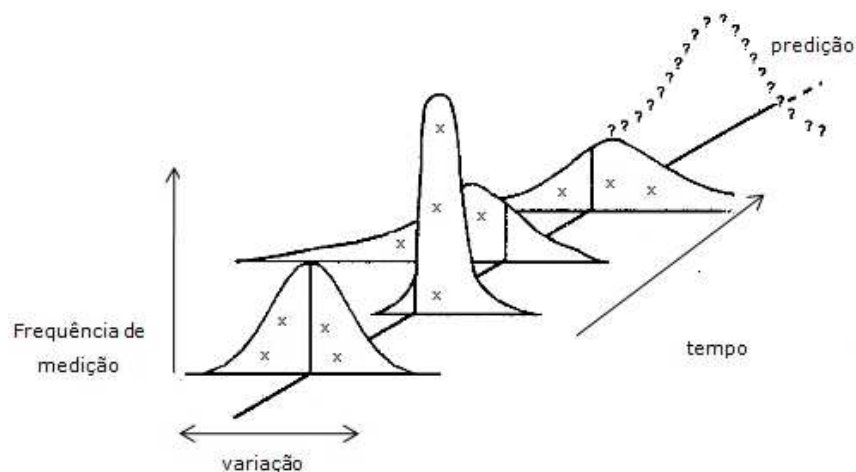


Figura 4.2 – Variações não controladas (adaptado de [FLORAC e CARLETON, 1999]).

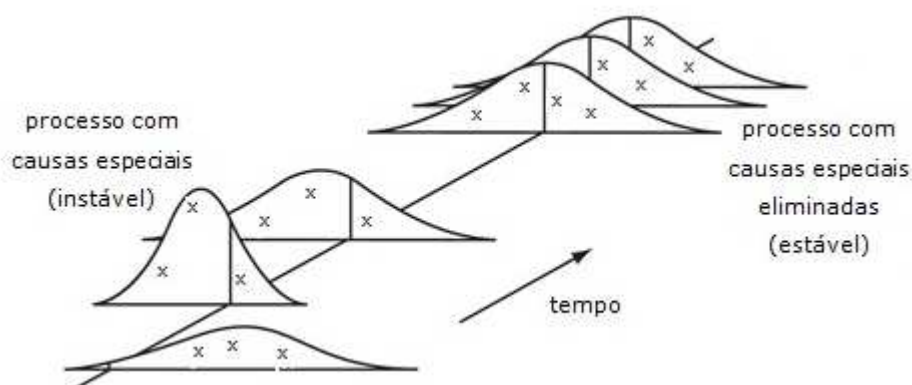


Figura 4.3 – Estabilização de um processo (adaptado de [NEUBAUER, 2011]).

É importante notar que, embora a estabilidade permita a previsibilidade, o fato de um processo ser estável não significa que ele tem um bom desempenho. Por exemplo, suponha que em uma organização o processo *Planejamento de Projetos*, tem seu comportamento analisado por meio do *índice de aderência ao prazo* e do *índice de aderência ao custo*. Suponha, ainda, que nos últimos vinte e quatro meses o *índice de aderência ao prazo* tenha ficado entre 0,41 e 0,43 e o *índice de aderência ao custo* tenha ficado entre 0,51 e 0,52. Apesar de o processo ter se comportado de maneira estável e previsível nos últimos vinte e quatro meses, seu desempenho não é bom.

Uma vez estabilizado, a capacidade do processo deve ser analisada. A capacidade descreve os limites de resultados que se espera que o processo alcance para atingir os objetivos estabelecidos [SEI, 2010]. Caso o processo não seja capaz, ele deve ser alterado através da realização de ações de melhoria que busquem o alcance da capacidade desejada. Melhorar a capacidade de um processo significa

diminuir os limites de variação que são considerados aceitáveis para seu comportamento, ou seja, consiste em tratar as causas comuns.

Considerando o exemplo citado anteriormente, suponha que a organização tenha estabelecido que o índice de aderência às estimativas dos projetos deve estar entre 0,8 e 1. Portanto, o processo *Planejamento de Projetos*, apesar de ser estável, não é capaz de alcançar o desempenho determinado pela organização, precisando ser melhorado.

A capacidade do processo é conhecida como *voz do processo*. Por outro lado, a capacidade desejada para o processo, estabelecida levando-se em consideração os objetivos da organização e do cliente, é chamada de *voz do cliente* [WHEELEER e POLING, 1998]. Obviamente, é desejável que a voz do processo atenda a voz do cliente e as ações de melhoria têm esse propósito. Porém, isso nem sempre é possível.

É preciso considerar que, algumas vezes, a capacidade desejada para o processo não é possível de ser obtida. Nesse caso, os objetivos estabelecidos devem ser revistos, pois não são realistas. Ou seja, algumas vezes é preciso rever a voz do cliente, considerando a voz do processo.

Retornando novamente ao exemplo citado, uma vez que há uma diferença considerável entre o desempenho real (voz do processo) do processo *Planejamento de Projetos* e os resultados para ele esperados (voz do cliente), é provável que não seja possível realizar ações que levem o processo a atingir os valores esperados. Assim, uma boa prática seria realizar a melhoria gradativamente, começando com uma revisão dos resultados esperados para tornar a voz do cliente mais realística e realizando, em seguida, ações de melhoria para mudar o processo, de modo a atender os novos resultados esperados. Uma vez que o processo se torne capaz, um novo desempenho esperado (voz do cliente) pode ser estabelecido e novas melhorias podem ser realizadas.

4.4 Seleção de Subprocessos para o Controle Estatístico

Quando uma organização decide pela implementação do controle estatístico de processos, uma das primeiras definições a serem feitas diz respeito ao escopo no qual o controle estatístico será utilizado. No contexto da melhoria de processos de software, isso significa identificar quais subprocessos da organização serão

submetidos ao controle estatístico. Uma vez que, geralmente, o controle estatístico requer esforço maior do que o despendido na medição tradicional, nem todos os subprocessos serão controlados estatisticamente. Então, quais escolher?

Antes de responder essa questão, é preciso atentar-se para o termo subprocesso. Subprocessos, nesse caso, são componentes de um processo maior. Por exemplo, um processo de desenvolvimento típico de uma organização é composto por subprocessos, tais como, desenvolvimento de requisitos, revisão por pares, teste de integração etc. [SEI, 2010; BARRETO, 2011].

Voltando à questão de quais subprocessos escolher, há duas diretrizes básicas que são úteis. A primeira delas baseia-se na criticidade dos subprocessos [SOFTEX, 2011c; SEI, 2010]. Em outras palavras, devem ser selecionados subprocessos que sejam relevantes (críticos) ao alcance dos objetivos estabelecidos para a organização e para os projetos. Esses subprocessos podem ser identificados a partir de questões como [FERREIRA, 2009]:

Q1. O que é necessário para que o objetivo seja alcançado?

Q2. O que pode contribuir para o fracasso no alcance do objetivo?

Por exemplo, se uma organização tem como um de seus principais objetivos *diminuir o número de defeitos nos produtos entregues ao cliente*, os subprocessos relacionados à garantia da qualidade são necessários para que os defeitos sejam identificados antes que os produtos sejam entregues. Assim, eles são fortes candidatos a serem selecionados para o controle estatístico.

Apesar de parecer uma tarefa simples, nem sempre as organizações conseguem identificar quais subprocessos são críticos para ela. Algumas vezes, todos parecem ser críticos e identificar os mais críticos torna-se um desafio. Outras vezes, as organizações não conseguem relacionar os subprocessos com os objetivos e, nesse caso, todos podem parecer não serem críticos.

Quando há dúvidas sobre quais subprocessos são críticos (ou quais são os mais críticos), a utilização de alguns métodos comumente aplicados na investigação de causas de problemas pode ajudar. Nesse contexto, destacam-se o *diagrama de causa e efeito* (também conhecido como diagrama espinha de peixe ou diagrama Ishikawa) e o *diagrama de Pareto* [WHEELER e CHAMBERS, 2010].

Os diagramas de causa e efeito são utilizados para representar o relacionamento entre um problema (o efeito) e suas possíveis causas. Conhecer as causas de um problema permite a investigação dos subprocessos onde as causas têm origem, o que pode ser bastante útil quando os objetivos da organização estão, de alguma forma, relacionados a algum problema. Por exemplo, suponha que uma organização tenha como um de seus principais objetivos *diminuir os custos com retrabalho*. Seguindo a diretriz apresentada, devem ser identificados os subprocessos que impactam no alcance desse objetivo. Nesse caso, devem-se buscar os subprocessos que provocam retrabalho. Suponha, ainda, que buscando representar as razões que levam ao retrabalho, a organização tenha gerado o diagrama de causa e efeito ilustrado na Figura 4.4.

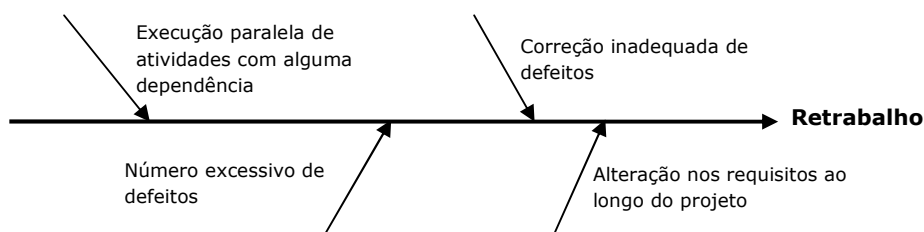


Figura 4.4 – Diagrama de Causa e Efeito para análise das causas de retrabalho.

Tendo sido apontadas as causas do retrabalho, os subprocessos onde elas têm origem podem ser identificados. No entanto, no exemplo dado, mesmo tendo sido gerado um diagrama relativamente simples, foram identificadas quatro causas de retrabalho e pode não ser prático, nem necessário, controlar estatisticamente os subprocessos relacionados a todas as causas apontadas.

Nesse caso, para identificar a causa que impacta mais significativamente no retrabalho, pode-se usar o diagrama de Pareto. A estrutura básica do diagrama de Pareto é a mesma de um histograma, mostrando quantos resultados foram gerados por tipo ou categoria de causa identificada. O nome diagrama de Pareto é devido ao Princípio de Pareto, que afirma que uma quantidade consideravelmente pequena de causas, tipicamente, causará a grande maioria dos problemas. Esse princípio é popularmente conhecido como princípio 80/20 (80% dos problemas se devem a 20% das causas).

Retornando ao exemplo, suponha que tenha sido feita uma análise da quantidade de horas despendidas em retrabalho nos projetos da organização para cada causa identificada, tendo sido construído o diagrama da Figura 4.5.

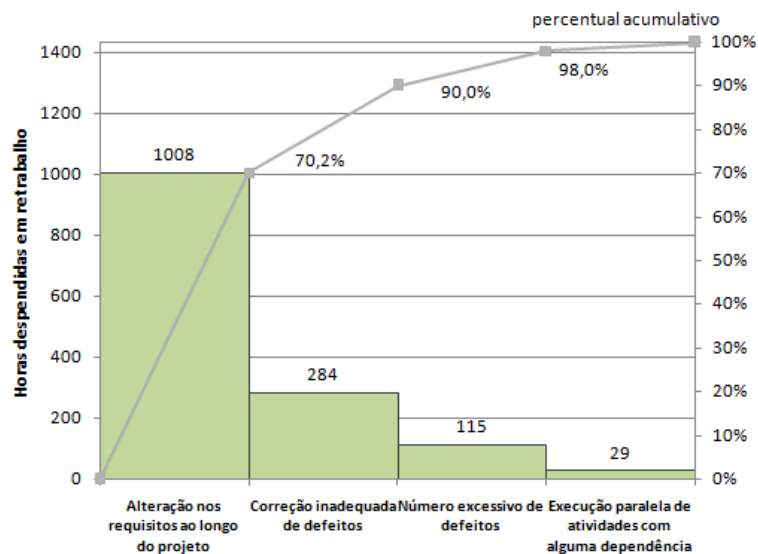


Figura 4.5 – Diagrama de Pareto para análise das causas de retrabalho.

Percebendo-se que a causa que mais impacta na quantidade de retrabalho é *alteração nos requisitos do projeto*, pode-se selecionar para o controle estatístico o subprocesso onde essa causa tem origem, que poderia ser *Levantamento de Requisitos*.

A segunda diretriz básica para a seleção dos subprocessos diz respeito ao seu tamanho e frequência de execução [BARCELLOS, 2009a]. Como dito anteriormente, o uso do termo subprocesso indica que devem ser escolhidas partes do processo. Além disso, recomenda-se que essas partes não sejam muito grandes. Subprocessos longos, tipicamente, são executados uma única vez em cada projeto, o que não favorece a coleta de dados⁴ e a tomada de decisão ao longo de sua execução durante o projeto.

Subprocessos menores e com execuções mais frequentes são bons candidatos ao controle estatístico. Por exemplo, o subprocesso *Inspeção* não é um subprocesso de longa duração e pode ser realizado diversas vezes ao longo de um mesmo projeto, favorecendo a coleta de dados e a tomada de decisão para ações

⁴ O volume de dados coletados para uma medida é um requisito importante para que seja possível aplicar as técnicas do controle estatístico de processos. Essa questão será abordada mais adiante neste livro.

corretivas ou de melhoria no subprocesso, que poderá ter nova execução ainda no mesmo projeto.

Cabe ressaltar que subprocessos muito pequenos também não são adequados ao controle estatístico, pois, assim como os subprocessos muito grandes, eles não permitem a tomada de decisão baseada na análise do comportamento do processo durante sua execução.

Em relação ao número de subprocessos que precisam ser submetidos ao controle estatístico, não há uma resposta exata, pois depende de diversas variáveis, como a experiência da organização com o controle estatístico de processos, os objetivos considerados, os dados disponíveis etc. No entanto, o texto do CMMI [SEI, 2010] sugere que seja selecionado pelo menos um subprocesso relevante por fase do ciclo de vida (atividades relacionadas à engenharia do produto), um subprocesso relacionado à gerência do projeto e um relacionado aos processos de apoio.

Para evitar a seleção de um grande número de subprocessos logo no início da implementação do controle estatístico de processos, uma boa prática é priorizar os subprocessos identificados e selecionar um pequeno conjunto inicial que atenda a recomendação feita no CMMI. Uma vez implementado o controle estatístico para os subprocessos selecionados, a organização irá adquirir experiência e conhecimento e, com isso, gradativamente, novos subprocessos poderão ser adicionados ao conjunto inicial.

Após a escolha dos subprocessos que serão submetidos ao controle estatístico, devem ser identificadas as medidas que serão utilizadas para gerenciar quantitativamente os subprocessos. Essas medidas serão utilizadas para apoiar a análise do alcance dos objetivos estabelecidos e devem satisfazer a um conjunto de requisitos, que serão apresentados na próxima seção.

Vale destacar que caso um subprocesso seja selecionado para o controle estatístico, mas não possua medidas adequadas para tal, essas deverão ser definidas e coletadas para, só então, o subprocesso poder ser submetido ao controle estatístico. Essa restrição faz com que algumas organizações selecionem para o controle estatístico os subprocessos que possuem medidas adequadas, mesmo que eles não sejam críticos. Essa má decisão as leva a despenderem tempo

e recursos para realizar o controle estatístico em subprocessos não significativos, não obtendo, assim, os benefícios providos por essa abordagem.

Na próxima seção são discutidos alguns aspectos importantes para a identificação de medidas adequadas para o controle estatístico.

4.5 Identificação de Medidas Adequadas para o Controle Estatístico

A utilização do controle estatístico de processos na área de software é recente e tem sido impulsionada pelo interesse das organizações em atender os requisitos estabelecidos em modelos como o MR-MPS e o CMMI, a fim de que o nível de capacidade e maturidade dos seus processos seja reconhecido e que isso se torne uma vantagem competitiva.

Apesar de modelos como esses orientarem as organizações sobre *o que é* necessário realizar para satisfazer seus requisitos, ainda há lacunas sobre *como* realizar algumas das ações necessárias para tal.

No contexto da medição de software, alguns problemas que ocorrem desde o início do programa de medição, nos níveis iniciais de maturidade, só são percebidos quando se começa a busca pela alta maturidade e têm início as práticas relacionadas ao controle estatístico de processos.

Organizações que durante a realização das atividades requeridas nos níveis iniciais de maturidade, onde a medição começa a ser exigida, simplesmente se preocupam em atender os requisitos dos modelos, sem vislumbrar os benefícios reais da medição e sua evolução, acabam definindo medidas inúteis ao pensamento estatístico exigido nos níveis superiores. Essas organizações, normalmente, acumulam dados incorretos e não possuem dados suficientes armazenados ou, quando possuem, os têm registrados de maneira inadequada.

Como consequência, essas organizações acabam tendo que despender tempo e recursos para “arrumar a casa” antes de, efetivamente, realizar o controle estatístico de processos. O controle estatístico requer uma boa fundação, isto é, processos caracterizados por medidas válidas e dados de qualidade que possam ser utilizados para analisar o comportamento e a previsibilidade dos processos [BARCELLOS, 2009b].

Uma organização, quando realiza a medição adequadamente e segue um modelo de maturidade, pode começar a se preparar para o controle estatístico de processos pelo menos em um nível de maturidade anterior àquele onde ele é exigido. Nesse caso, a organização deve definir medidas visando à utilização futura pretendida. Porém, quando uma organização não visa ao controle estatístico desde níveis anteriores, é muito provável que tenha que realizar adequações nas medidas definidas e nos dados coletados, que precise definir novas medidas e coletar mais dados para, só então, iniciar as práticas do controle estatístico.

Uma vez selecionados os subprocessos que serão submetidos ao controle estatístico, as medidas que serão utilizadas para analisar seu comportamento e gerenciá-los quantitativamente devem ser identificadas. Assim, o repositório de medidas que contém medidas definidas e dados coletados em projetos executados ao longo dos níveis de maturidade anteriores deve ser analisado para identificar quais medidas podem ser utilizadas para os subprocessos selecionados. Caso as medidas definidas nos níveis anteriores não sejam adequadas, correções devem ser feitas (quando possível) ou novas medidas devem ser definidas.

Buscando auxiliar a identificação de medidas adequadas para o controle estatístico de processos, a seguir é apresentado um conjunto de requisitos que uma medida útil ao controle estatístico deve satisfazer. Os requisitos foram extraídos de um instrumento proposto em [BARCELLOS, 2009a], o qual apoia a avaliação de bases de medidas, visando à utilização no controle estatístico de processos⁵.

O conjunto de requisitos apresentado pode ser utilizado para identificar, dentre as medidas disponíveis na base de medidas de uma organização, quais podem ser utilizadas no controle estatístico. Além disso, também pode ser útil à definição de novas medidas adequadas a esse propósito.

É importante perceber que a realização do controle estatístico de processos

⁵ A avaliação feita pelo instrumento considera quatro itens: estrutura da base de medidas, plano de medição, medidas definidas e dados coletados. Ele é composto por um conjunto de *checklists* que possuem requisitos para a avaliação de cada item. Para cada requisito são identificadas as inadequações possíveis e, para cada uma delas, são sugeridas ações para adequação. Quando um requisito não é atendido, essas ações guiam a correção do item, caso ele seja passível de ser alterado para ser utilizado no controle estatístico de processos.

requer a coleta frequente de dados para as medidas e, algumas vezes, a definição de novas. Assim, é necessário manter a adequação das medidas e dos dados. Nesse sentido, os requisitos apresentados a seguir também podem ser utilizados para apoiar a análise da adequação de novos dados coletados e medidas definidas.

R1. A definição operacional da medida é correta e satisfatória.

Conforme discutido no Capítulo 3, estabelecer definições operacionais adequadas para as medidas é fundamental para que as medições sejam consistentes, os dados coletados sejam válidos e seja possível realizar comparações entre eles.

No contexto do controle estatístico de processos, a qualidade das definições operacionais é muito importante. Para ser possível analisar o comportamento de um processo, deve ser obtido certo volume de dados (maior que o volume usualmente requerido na medição realizada nos níveis iniciais de maturidade) e os dados coletados devem formar grupos homogêneos. Isso requer que os dados sejam coletados de maneira consistente, o que depende diretamente da qualidade das definições operacionais [BARCELLOS *et al.*, 2010].

Uma medida adequada para uso no controle estatístico de processos deve apresentar em sua definição operacional as informações descritas na seção 3.7.

Uma questão importante a ser considerada é que a definição operacional de uma medida deve ser estabelecida de acordo com sua aplicação. Por exemplo, medidas aplicadas no controle estatístico de processos, que visam à análise de desempenho, devem ter em suas definições operacionais procedimentos de análise que incluem técnicas do controle estatístico como, por exemplo, o uso de gráficos de controle. Por outro lado, medidas com aplicação no monitoramento e controle tradicionais, têm em suas definições operacionais procedimentos de análise que incluem técnicas analíticas tradicionais como, por exemplo, gráficos de barras. Ainda, tradicionalmente, medidas aplicadas no controle estatístico têm periodicidade de coleta e de análise menor do que medidas aplicadas no monitoramento e controle tradicionais.

Cabe, ainda, notar que, ao longo do tempo, uma mesma medida pode possuir mais de uma definição operacional, dependendo de sua aplicação. Em uma organização que deseja definir e coletar, desde os níveis iniciais de maturidade,

medidas que possam ser úteis ao controle estatístico no futuro, as definições operacionais das medidas, inicialmente, devem ser orientadas ao monitoramento e controle tradicionais. Porém, para que os dados coletados sejam futuramente úteis ao controle estatístico, as definições operacionais das medidas devem garantir que os dados coletados e armazenados sejam úteis ao controle estatístico de processos.

A seguir são apresentados os exemplos de duas definições operacionais para a medida *precisão da estimativa de tempo da fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema*. Na Tabela 4.1 é apresentada a definição estabelecida considerando a aplicação da medida no monitoramento e controle tradicionais.

Tabela 4.1 – Definição da medida *Precisão da Estimativa de Tempo da Fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema* para aplicação no monitoramento e controle tradicionais.

<i>Nome da Medida</i>	Precisão da Estimativa de Tempo da Fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema
<i>Definição</i>	Medida utilizada para quantificar a precisão da estimativa de duração da fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema.
<i>Mnemônico</i>	PET-EAR
<i>Tipo de Medida</i>	Medida Derivada
<i>Entidade</i>	Fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema
<i>Propriedade</i>	Precisão da estimativa de tempo
<i>Unidade de Medida</i>	-
<i>Tipo de Escala</i>	Absoluta
<i>Valor de Escala</i>	Números reais positivos compreendidos utilizando-se precisão de duas casas decimais.
<i>Intervalo Esperado dos Dados</i>	[0.8, 1.0]
<i>Fórmula de Cálculo de Medida</i>	$PET-EAR = TE-EAR / TR-EAR$ Onde: TR-EAR = tempo real despendido na fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema; TE-EAR = tempo estimado para a fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema.
<i>Procedimento de Medição</i>	Calcular a precisão da estimativa de tempo da fase utilizando a fórmula de cálculo da medida.
<i>Momento da Medição</i>	Ao final da fase, na atividade Registrar Dados para Monitoramento do Projeto.
<i>Periodicidade de Medição</i>	Uma vez em cada execução da fase
<i>Responsável pela Medição</i>	Analista de Sistemas
<i>Procedimento de Análise de Medição</i>	Representar em um histograma os dados coletados para a medida nos projetos da organização. Analisar se há projetos cuja precisão da estimativa destoa significativamente das demais ou de um valor previamente estabelecido pela organização. Em caso afirmativo, conduzir investigação de causas para que, identificadas as causas, sejam determinadas as ações corretivas necessárias.
<i>Momento da Análise de Medição</i>	Atividade Analisar Dados de Monitoramento dos Projetos
<i>Periodicidade de Análise de Medição</i>	Mensal
<i>Responsável pela Análise</i>	Gerente de Qualidade

Na Tabela 4.2 é apresentada a definição operacional da medida para aplicação do controle estatístico de processos. As diferenças entre as definições aparecem em destaque na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Definição da medida *Precisão da Estimativa de Tempo da Fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema* para aplicação no controle estatístico de processos.

<i>Nome da Medida</i>	Precisão da Estimativa de Tempo da Fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema
<i>Definição</i>	Medida utilizada para quantificar a precisão da estimativa de duração da fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema.
<i>Mnemônico</i>	PET-EAR
<i>Tipo de Medida</i>	Medida Derivada
<i>Entidade</i>	Subprocesso Planejamento do Projeto
<i>Propriedade</i>	Precisão da estimativa de tempo
<i>Unidade de Medida</i>	-
<i>Tipo de Escala</i>	Absoluta
<i>Valor de Escala</i>	Números reais positivos, utilizando-se precisão de duas casas decimais.
<i>Intervalo Esperado dos Dados</i>	[0.8, 1.0]
<i>Fórmula de Cálculo de Medida</i>	$PET-EAR = TE-EAR/TR-EAR$ Onde: TR-EAR = tempo real despendido em atividades da fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema no período considerado; TE-EAR = tempo estimado para atividades da fase Especificação e Análise de Requisitos do Sistema no período considerado.
<i>Procedimento de Medição</i>	Calcular a precisão da estimativa de tempo utilizando a fórmula de cálculo da medida.
<i>Momento da Medição</i>	Ao final da semana, na Atividade Registrar Dados para Monitoramento do Projeto
<i>Periodicidade de Medição</i>	Semanal
<i>Responsável pela Medição</i>	Analista de Sistemas
<i>Procedimento de Análise de Medição</i>	• Representar em um gráfico de controle os valores coletados para a medida no projeto. • Analisar o comportamento do processo em relação à <i>baseline</i> de desempenho estabelecida para o processo: (i) Se os valores coletados para a medida encontrarem-se dentro dos limites da <i>baseline</i> de desempenho, o processo apresenta comportamento adequado. (ii) Se houver valores fora dos limites da <i>baseline</i>, o comportamento do processo não está adequado. É necessário investigar as causas da instabilidade no comportamento do processo e identificar ações corretivas, quando pertinente.
<i>Momento da Análise de Medição</i>	Atividade Analisar Desempenho dos Processos do Projeto
<i>Periodicidade de Análise de Medição</i>	Semanal
<i>Responsável pela Análise</i>	Gerente do Projeto

R2. A medida está alinhada a objetivos da organização e dos projetos.

Uma vez que as medidas utilizadas no controle estatístico de processos apoiam a análise do alcance dos objetivos, elas devem estar associadas a pelo menos um objetivo da organização e dos projetos.

R3. Os resultados da análise da medida são relevantes à tomada de decisão para a melhoria de processos.

Os dados coletados para a medida, ao serem analisados, devem fornecer subsídios relevantes para a tomada de decisão no contexto da melhoria de processos da organização ou dos projetos. Medidas que desempenham o papel de indicadores (diretamente associadas aos objetivos e responsáveis por fornecer as informações necessárias para a análise do alcance a esses objetivos) são medidas relevantes à tomada de decisão, bem como suas medidas correlatas.

R4. A medida fornece informações sobre o desempenho de um subprocesso crítico.

A medida deve estar relacionada a um subprocesso crítico e deve ser capaz de fornecer informações sobre seu desempenho. Medidas que registram estimativas, por exemplo, são medidas essencialmente de controle e não descrevem o desempenho dos processos, logo, isoladas, não são aplicáveis ao controle estatístico de processos. Porém, vale ressaltar que medidas que registram estimativas podem ser utilizadas para formar medidas derivadas que descrevam o desempenho de um processo. Por exemplo, a medida *aderência ao cronograma*, obtida pela razão entre as medidas *prazo estimado* e *prazo real*, é uma medida que provê informações sobre o desempenho de um processo.

R5. As medidas correlatas à medida estão identificadas e são válidas para o controle estatístico.

Uma medida que será utilizada no controle estatístico de processos deve ter suas medidas correlatas identificadas. Medidas correlatas são aquelas que, como o próprio nome diz, apresentam algum tipo de relação entre si. Alguns exemplos são medidas com relações de causa e efeito (por exemplo: *nível de experiência do programador* influencia na *produtividade*), medidas utilizadas para compor outras (por exemplo: *número de casos de uso alterados* = *número de casos de uso incluídos*

+ *número de casos de uso excluídos* + *número de casos de uso modificados*) e medidas relacionadas a um mesmo objetivo do Plano de Medição.

A definição de medidas correlatas, necessárias ao entendimento do comportamento dos processos, contribui para o alcance dos objetivos estabelecidos, uma vez que apoia a investigação das causas de variação no comportamento dos processos, auxiliando a identificação das ações corretivas adequadas [CAIVANO, 2005]. Por exemplo, a ocorrência, em um dado período, de uma aderência ao cronograma muito inferior às demais poderia ser explicada por uma alta taxa de alteração de requisitos no mesmo período. Para ser possível identificar esse cenário, além da medida referente à aderência ao cronograma, a medida referente à taxa de alteração de requisitos deve ter sido definida e coletada corretamente.

R6. A medida possui baixo nível de granularidade.

O nível de granularidade de uma medida é determinado por dois aspectos presentes em sua definição operacional: a entidade à qual a medida é associada e sua periodicidade de medição.

Se for considerado que uma medida é coletada uma vez em cada ocorrência da entidade à qual está associada, medidas associadas a entidades menores, como por exemplo, componentes de projeto ou de produto (módulos, artefatos, atividades ou tarefas) têm granularidade menor que as medidas associadas a entidades maiores, como um projeto [KITCHENHAM *et al.*, 2001].

Porém, uma medida pode não ser necessariamente coletada uma vez em cada ocorrência da entidade à qual está associada. A periodicidade de medição, estabelecida em sua definição operacional, determina a frequência na qual a medida deve ser coletada e armazenada, influenciando diretamente no nível de granularidade e no número de valores coletados [FLORAC *et al.*, 2000].

É possível que uma medida associada a uma entidade que, normalmente, caracterizaria alto nível de granularidade, possa ter seu nível de granularidade reduzido ao ter sua periodicidade estabelecida. Por exemplo, a medida *número de erros reportados pelo cliente* pode ser associada à entidade projeto e ter periodicidade de coleta semanal, o que leva à coleta e registro de diversos valores para a medida ao invés de um único valor ao final do projeto.

O nível de granularidade de uma medida útil ao controle estatístico de processos deve permitir o acompanhamento frequente (às vezes, diário) dos processos e projetos. Para isso, a medida deve estar relacionada a entidades menores, como, por exemplo, atividades ou subprocessos de duração relativamente curta, ou deve ter uma coleta frequente.

Algumas medidas, apesar de não apresentarem nível de granularidade baixo, podem ser úteis no controle estatístico como medidas de normalização. Por exemplo, a medida *número de casos de uso do projeto*, sozinha, não é adequada ao controle estatístico de processos. Porém, ela pode ser utilizada para normalizar outras, o que a torna útil ao controle estatístico. Por exemplo, a medida *número de casos de uso alterados* pode ser normalizada pelo número de casos de uso do projeto, a fim de permitir comparações, o que faz com que a medida *número de casos de uso do projeto* seja útil no contexto do controle estatístico.

R7. A medida é passível de normalização (se aplicável).

Algumas vezes, faz-se necessário normalizar uma medida para que seja possível realizar análises e comparações. Por exemplo, não é correto comparar o esforço despendido em projetos sem levar o tamanho desses projetos em consideração. Nesse caso, é preciso normalizar o esforço despendido pelo tamanho dos projetos, para que os dados possam ser analisados em conjunto ou comparados entre si.

Para que uma medida que precisa ser normalizada seja usada no controle estatístico de processos, as medidas necessárias para normalizá-la devem estar disponíveis e serem válidas. Seguindo o exemplo do parágrafo anterior, para normalizar esforço considerando tamanho, é preciso que as medidas de tamanho estejam disponíveis e sejam válidas.

R8. A medida está normalizada corretamente (se aplicável).

A normalização equivocada de uma medida pode mudar o significado dos dados coletados e, conseqüentemente, levar a interpretações errôneas sobre o comportamento dos processos [KITCHENHAM *et al.*, 2007]. Assim, para utilizar no controle estatístico uma medida que já esteja normalizada, é preciso assegurar-se de que sua normalização está correta. Por exemplo, para a medida *esforço de codificação*, normalizada pelo *número de linhas de código fonte*, é preciso

assegurar-se de que seja correto normalizar esforço utilizando o tamanho e, além disso, de que as medidas *número de linhas de código fonte* e *esforço de codificação* sejam referentes à mesma porção de código.

R9. Os critérios para agrupamento dos dados para análise da medida estão definidos.

Para serem submetidos à análise, os dados coletados para as medidas são agrupados em conjuntos. O agrupamento dos dados coletados deve ser realizado buscando-se compor grupos de dados que caracterizem populações⁶. Para isso, é necessário definir os critérios que devem ser considerados para que os dados coletados para uma determinada medida componham grupos adequados para a análise [BALDASSARE *et al.*, 2006].

Uma medida adequada para o controle estatístico de processos tem os critérios de agrupamento de seus dados definidos e eles são capazes de gerar grupos de dados relativamente homogêneos.

Normalmente, os critérios podem ser os mesmos adotados para caracterizar e identificar projetos similares. Porém, caso esses critérios sejam muito amplos, eles não são adequados. Por exemplo, se uma organização caracteriza seus projetos apenas pelo paradigma de desenvolvimento adotado e pelo tipo de cliente (público ou privado), esses critérios são insuficientes para o agrupamento de dados de uma medida para o controle estatístico. Nesse caso, os critérios de caracterização dos projetos devem ser refinados ou um novo conjunto de critérios para determinar o agrupamento dos dados coletados para a medida, ou para um grupo de medidas (por exemplo, para todas as medidas que forem utilizadas no controle estatístico), deve ser definido.

R10. A medida não considera dados agregados.

Os dados coletados para uma medida adequada ao controle estatístico não devem ser referentes a valores agregados, pois estes não permitem uma análise acurada e, uma vez agregados, pode ser difícil, ou impossível, separá-los.

⁶ Uma população é o conjunto de todos os elementos que compartilham características em comum e estão sob investigação [BUSSAB e MORETTIN, 2006 *apud* FÁVERO *et al.*, 2009]. Exemplos: o grupo de pessoas que moram em um determinado bairro e o conjunto de dados coletados para uma medida em projetos com determinadas características em uma organização.

Como exemplo de uma medida que considera dados agregados tem-se a medida *esforço de análise*, que quantifica o esforço despendido na fase de Análise dos projetos em uma organização. O valor coletado para essa medida corresponde à agregação dos dados dos esforços despendidos na fase Análise de todos os projetos concluídos na organização, o que não é útil ao controle estatístico dos processos.

Convém dizer que, em alguns contextos, medidas com dados agregados podem ser úteis. Por exemplo, em uma organização que possui um escritório de projetos, pode ser importante para o gerente ter uma medida que informe o número de horas despendidas semanalmente em manutenções nos projetos. Essa medida, embora agregue valores de todos os projetos, pode ser utilizada no controle estatístico, desde que todos os projetos utilizem o mesmo processo. No entanto, quando uma medida de dados agregados é utilizada, deve ser possível obter os dados desagregados. Assim, no exemplo dado, deve ser possível obter o número de horas despendidas semanalmente em manutenções em cada projeto.

R11. Os dados coletados para a medida têm localização conhecida e acessível.

Para uma medida ser utilizada no controle estatístico de processos, os dados para ela coletados devem estar disponíveis em local (banco de dados, arquivo, planilha etc.) conhecido e acessível, devendo poder ser recuperados.

R12. Há volume de dados suficiente para a medida ser aplicada ao controle estatístico de processos.

Sob o ponto de vista estatístico é preciso que exista um volume razoável de dados adequados para que seja possível utilizar uma medida no controle estatístico de processos. Sugere-se pelo menos vinte observações válidas⁷.

R13. Não há dados perdidos para a medida ou a quantidade de dados perdidos não compromete a análise.

É desejável que não haja valores perdidos para a medida ou, havendo, que sua quantidade não comprometa os resultados da análise. Na análise estatística a ordem temporal dos dados é relevante, sendo assim, a ausência de dados pode

⁷ Dependendo das técnicas que serão utilizadas na análise dos dados, o volume mínimo de observações desejável pode variar de 15 [WHELLER, 1997 *apud* WELLER e CARD, 2008] a 45 [FLORAC e CARLETON, 1999].

revelar um comportamento irreal para o processo. Por exemplo, vários dados sequencialmente perdidos prejudicarão a representação adequada do comportamento do processo.

R14. Os dados coletados são corretos.

Uma medida adequada ao controle estatístico possui dados corretos, capazes de embasar conclusões úteis e verdadeiras sobre o comportamento dos processos.

A coleta e o armazenamento de dados incorretos podem comprometer a confiabilidade das análises. Para diminuir a probabilidade de armazenamento de dados incorretos, o ideal é que a validação dos dados seja realizada assim que eles forem coletados. Caso isso não ocorra, é possível realizar uma verificação dos dados coletados em relação à definição operacional da medida considerando, principalmente: tipo de escala, valores da escala, intervalo esperado dos dados, entidade medida, propriedade medida e periodicidade.

R15. Os dados coletados são consistentes.

Os dados coletados para a medida devem ser consistentes, ou seja, devem ter sido coletados no mesmo momento da execução do processo ao longo dos projetos, sob as mesmas condições e devem compor grupos de dados relativamente homogêneos⁸.

R16. Os dados que descrevem o contexto de coleta da medida estão armazenados.

A análise do comportamento de um processo deve considerar, além dos dados coletados para a medida, o contexto dos projetos e a dinâmica em que os processos foram executados [TARHAN e DEMIRORS, 2006].

A caracterização dos projetos é capaz de fornecer as principais informações de contexto das medições realizadas. No entanto, também é necessário registrar as condições em que as medições foram realizadas, pois elas influenciam na análise, agrupamento e comparação dos valores coletados para as medidas [CARD *et al.*, 2008].

⁸ Quando utilizados nos gráficos de controle, grupos de dados heterogêneos contribuem para a obtenção de limites de controle muito amplos. Gráficos de controle serão discutidos mais adiante.

Os dados coletados para uma medida aplicada no controle estatístico de processos devem estar associados a informações de contexto das medições. Nesse sentido, para cada valor coletado, as seguintes informações devem estar disponíveis: momento em que a medição foi realizada (atividade em que a medição foi realizada e data da medição), executor da medição (seu papel no momento da medição também deve ser conhecido), processo no qual a medição foi realizada, projeto no qual a medição foi realizada, características do projeto no qual a medida foi coletada e condições da medição (dados sobre a execução do processo no momento da coleta, como, por exemplo, a informação de que a medida foi coletada após alteração na legislação que rege o domínio tratado pelo software em desenvolvimento no projeto).

4.6 Repositório de Medidas Adequado para o Controle Estatístico

Os dados da medição devem ser armazenados de forma que possam ser recuperados e utilizados para apoiar a tomada de decisão. É comum organizações comecem a registrar as medidas e os dados coletados em planilhas eletrônicas ou em alguns aplicativos, havendo pouca ou nenhuma integração entre eles [DUMKE e EBERT, 2010].

Quando as organizações dão início às práticas da medição, as planilhas parecem ser capazes de atender suas necessidades, mas à medida que elas amadurecem seus processos e evoluem nas práticas da medição, os problemas de não utilizar um repositório de medidas que envolva tecnologias adequadas (por exemplo, sistemas gerenciadores de bancos de dados) tornam-se cada vez mais expressivos. Por esse motivo, recomenda-se que desde o início seja utilizado um repositório de medidas e que ele possa ser evoluído ao longo do tempo para satisfazer as necessidades da evolução do processo de medição.

As organizações podem desenvolver seus próprios repositórios de medidas ou podem utilizar ferramentas disponíveis no mercado. Alguns aplicativos, como, por exemplo, o MS Project⁹, de apoio à gerência de projetos, permitem o armazenamento de dados para algumas medidas. Há, também, algumas

⁹ <http://www.microsoft.com/project>

ferramentas desenvolvidas por empresas ou universidades visando especificamente apoiar a coleta, armazenamento e recuperação de medições.

O ideal é que o repositório de medidas seja uma base única e centralizada. Caso isso não seja possível, as diferentes fontes que o compõem devem ser integradas. Se a organização utiliza várias ferramentas para coletar e armazenar os dados, isso pode significar integrar as ferramentas ou reunir os dados armazenados nos bancos de dados das várias ferramentas em uma única base de dados.

O repositório de medidas deve ser capaz de armazenar e permitir a recuperação de dados não só da medição propriamente dita. Dados relacionados aos projetos e processos também são relevantes e devem poder ser armazenados e recuperados. Nesse sentido, o repositório de medidas deve ser capaz de armazenar e permitir a recuperação das seguintes informações:

- Critérios de caracterização para os projetos.
- Projetos e suas características.
- Definições dos processos (atividades, subatividades, papéis requeridos, recursos necessários, artefatos requeridos e produzidos e procedimentos adotados) e identificação das diferentes versões das definições.
- Versões das definições dos processos que são utilizadas em cada projeto.

No âmbito da medição propriamente dita, a seguir são apresentadas as principais informações que o repositório de medidas deve ser capaz de armazenar e permitir a recuperação. Algumas das informações (*baselines* de desempenho, modelos de desempenho, desempenho especificado de processo e capacidade de processo) serão abordadas no Capítulo 6.

- Objetivos de negócio da organização relevantes à medição.
- Objetivos de medição e suas relações com os objetivos de negócio.
- Necessidades de informação de cada objetivo.
- Medidas e suas definições operacionais, contendo as informações descritas na seção 3.7.
- Planos de medição da organização e dos projetos.
- Valores coletados nas medições.

- Informações de contexto para cada valor medido, incluindo: projeto onde a medição foi realizada, momento em que a medição foi conduzida (processo, atividade e data), executor da medição e condições da medição.
- Resultados das análises de medições.
- Desempenho especificado para os processos.
- *Baselines* de desempenho dos processos.
- Capacidade dos processos.
- Modelos de desempenho.

O repositório de medidas deve, também, ser capaz de tratar as relações e restrições que as informações envolvem. Por exemplo, a capacidade de um processo é calculada considerando uma determinada *baseline* de desempenho e um certo desempenho especificado, que devem ter sido estabelecidos para o mesmo processo para o qual a capacidade foi calculada e utilizando a mesma medida.

A estrutura que será criada para que o repositório de medidas seja capaz de armazenar e fornecer essas informações é uma decisão de cada organização. Por exemplo, uma organização pode decidir pela aquisição de uma ferramenta que contemple as informações citadas, enquanto outra pode decidir por implementar seu próprio repositório. Nesse caso, também deverão ser implementadas interfaces para entrada e recuperação dos dados.

Em [BARCELLOS, 2009a] foi proposta uma Ontologia de Medição de Software que descreve o conhecimento acerca do domínio medição de software incluindo o controle estatístico de processos. A ontologia apresenta os conceitos, relações e restrições fundamentais a esse domínio e é composta por sete subontologias: Entidades Mensuráveis, Objetivos de Medição, Medidas de Software, Definição Operacional de Medidas, Medição de Software, Resultados da Medição e Comportamento de Processos de Software.

A Ontologia de Medição de Software pode ser utilizada como modelo conceitual de referência para definir a estrutura (classes, relacionamentos e restrições de integridade) de um repositório de medidas adequado ao controle estatístico de processos. De fato, a ontologia pode ser utilizada inicialmente como referência para construir o repositório de medidas para a medição tradicional e,

depois, para evoluir o repositório para que ele atenda às necessidades do controle estatístico de processos.

4.7 Considerações Finais do Capítulo

A aplicação bem sucedida do controle estatístico de processos na manufatura levou à sua utilização em outras áreas, como química, eletrônica, alimentação, negócios, saúde e desenvolvimento de software.

Apesar de recente, a utilização do controle estatístico de processos em organizações de software tem sido impulsionada pela competitividade do mercado, que exige produtos cada vez melhores, em cada vez menos tempo e consumindo o mínimo de recursos possível.

O controle estatístico apoia a melhoria dos processos baseando-se na análise de seu comportamento. Os gráficos de controle utilizados no controle estatístico fornecem uma visão do comportamento dos processos, facilitando a identificação de questões que precisam ser investigadas. Outros métodos, como, por exemplo, o diagrama de causa e efeito e o diagrama de Pareto, podem ser utilizados para apoiar a investigação dessas questões e direcionar as ações necessárias.

A maneira como os métodos são utilizados e o conhecimento organizacional envolvido nas investigações e identificação de ações podem fornecer às organizações um diferencial competitivo. Sendo assim, é importante ressaltar que utilizar o controle estatístico de processos não consiste, simplesmente, em montar gráficos. Os gráficos de controle são um meio, e não um fim. Eles são um instrumento que molda a matéria-prima (os dados) para que as ações de melhoria sejam identificadas.

Para aplicar controle estatístico a processos de software é preciso pensar nele antes de começar a realizar suas práticas. Quanto antes uma organização vislumbrar a realização do controle estatístico de processos menor será o custo de transição da melhoria de processos baseada em medição tradicional para a melhoria de processos através do controle estatístico de processos. Mas, pensar no controle estatístico desde os níveis iniciais da melhoria de processos não significa medir tudo ou qualquer coisa. É preciso identificar os processos da organização que são mais críticos para o alcance dos objetivos técnicos e de negócio e

determinar como medir esses processos corretamente através de medidas significativas.

É comum organizações gerenciarem seus projetos e processos seguindo a “filosofia do retrovisor”, ou seja, olhar para o que passou para fazer melhor da próxima vez. Essa é uma abordagem que funciona, mas tem suas limitações. A utilização do controle estatístico no contexto da melhoria de processos leva à “filosofia do painel de controle”, isto é, olhar para o que está acontecendo no momento para fazer melhor a partir de já.

Capítulo 5

Gráficos de Controle

5.1 Introdução

Conforme visto ao longo deste livro, o processo de medição consiste na definição das medidas necessárias à obtenção de informações para a tomada de decisão, na coleta dos dados para as medidas definidas e na análise dos valores coletados. Para realizar a representação e análise dos dados coletados, são utilizados métodos analíticos que, tipicamente, envolvem gráficos. Nos níveis iniciais de maturidade, os dados são comumente representados em histogramas, diagramas de barras e diagramas de tendências.

O controle estatístico de processos segue as mesmas etapas básicas do processo de medição tradicional, porém utiliza práticas e técnicas diferenciadas. No caso da análise dos dados, as ferramentas gráficas e técnicas estatísticas essenciais são os *gráficos de controle*.

Neste capítulo é apresentado o conhecimento básico necessário para se utilizar os gráficos de controle. Na seção 5.2 é fornecida uma visão geral dos gráficos de controle e na seção 5.3 são apresentados diversos tipos de gráficos de controle. Na seção 5.4 são realizadas as considerações finais do capítulo.

5.2 Gráficos de Controle: O Básico

Gráficos de controle são importantes para o controle estatístico porque são capazes de mostrar as variações no comportamento dos processos e de permitir a análise de sua estabilidade. Esses gráficos associam métodos de controle estatístico e representação gráfica para quantificar o comportamento de processos auxiliando a detectar os *sinais* de variação no comportamento dos processos e a diferenciá-los dos *ruídos*. Os ruídos dizem respeito às variações que são aceitáveis e são intrínsecas aos processos (causas comuns). Já os sinais indicam variações que precisam ser analisadas (causas especiais) e, se possível, eliminadas [FLORAC e CARLETON, 1999].

Existem diversos tipos de gráficos de controle e cada um deles é mais adequado em determinadas situações. O primeiro passo para utilizar um gráfico de controle é selecionar o tipo adequado às medidas, dados e contexto a serem

analisados. Em seguida, os dados devem ser plotados e os limites das variações aceitáveis, chamados limites de controle, calculados.

A maneira como os dados serão plotados, se serão agrupados e como os limites de controle serão calculados são definidos pelo tipo de gráfico de controle que será utilizado. Cada tipo possui um conjunto de métodos quantitativos ou estatísticos associados.

A representação gráfica facilita a percepção de valores fora dos limites esperados, ou seja, a presença de causas especiais. Porém, as causas especiais nem sempre aparecem fora dos limites, por isso, existem métodos de análise estatística que orientam sobre como identificar pontos que merecem atenção nos gráficos de controle, mesmo quando não estão fora dos limites permitidos à variação.

O *layout* básico de um gráfico de controle é ilustrado na Figura 5.1. Tanto a linha central quanto os limites superior e inferior são calculados a partir de um conjunto de valores coletados para as medidas. Os limites superior e inferior ficam a uma distância de três desvios padrão (σ) em relação à linha central¹⁰. A linha central e os limites não podem ser arbitrários, uma vez que são eles que refletem o comportamento atual do processo. Seus valores são obtidos aplicando-se as expressões e constantes definidas pelo tipo de gráfico de controle a ser utilizado.

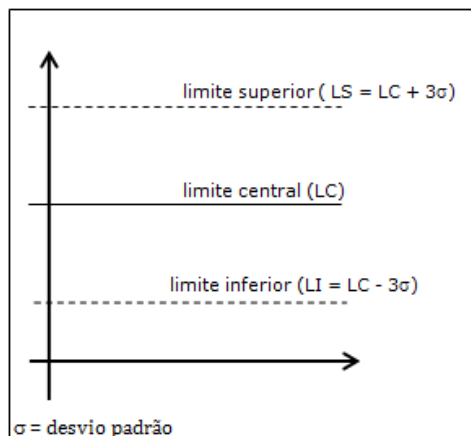


Figura 5.1 – Layout básico de um gráfico de controle.

A Figura 5.2 ilustra um exemplo de aplicação de um gráfico de controle para representar as medidas coletadas em um processo estável, ou seja, onde não há

¹⁰ Estudos estatísticos mostram que em um conjunto de dados normalmente distribuído, aproximadamente 99,73% dos dados se localizam a uma distância de 3σ da linha central [FLORAC e CARLETON, 1999].

causas especiais. O gráfico representa a média diária de horas dedicadas a atividades de suporte por semana em uma determinada organização. Os limites de controle e a linha central são indicados por suas siglas em inglês (UCL = *Upper Control Limit*; CL = *Central Line*; LCL = *Lower Control Limit*). Essa notação será utilizada em todos os gráficos de controle apresentados daqui em diante.

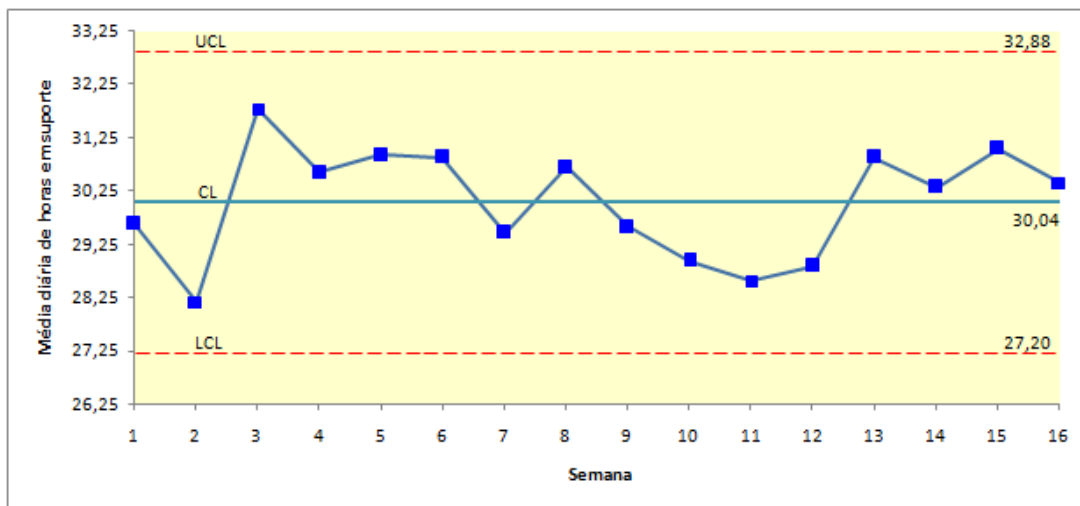


Figura 5.2 – Processo estável.

Na Figura 5.3 é apresentado um gráfico que ilustra um processo cujo comportamento extrapolou os limites de variação aceitáveis, sendo identificados pontos cujas causas de variação (causas especiais) devem ser investigadas. O gráfico representa o número de problemas relatados pelos clientes diariamente à área de suporte de uma organização que não foram resolvidos.

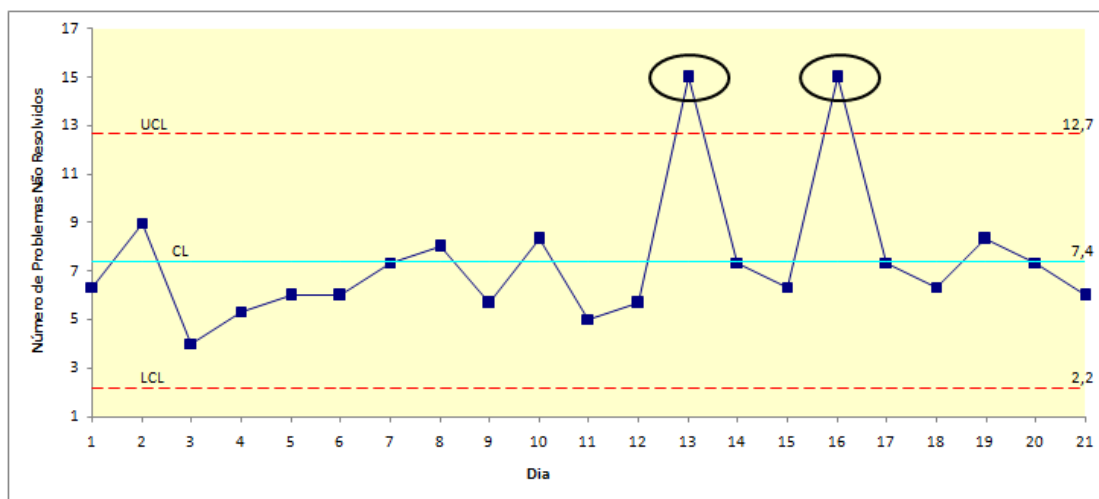


Figura 5.3 – Processo com causas especiais explícitas.

Na Figura 5.3 os pontos que caracterizam a instabilidade do processo estão acima do limite superior de variação permitido. Porém, conforme mencionado anteriormente, os pontos de instabilidade, ou seja, aqueles gerados por causas

especiais, nem sempre aparecem fora dos limites, existindo outros sinais que revelam a instabilidade de um processo, como, por exemplo, uma distribuição não aleatória dos pontos. A presença de padrões na distribuição dos pontos, como, por exemplo, a repetição de ciclos, tendências de crescimento ou decrescimento, mudanças bruscas e agrupamentos, pode ser sinal de que o processo está se comportando de maneira irregular, embora não possua pontos fora dos limites de controle [FLORAC e CARLETON, 1999].

Existem diversos testes que podem ser utilizados para verificar a estabilidade de um processo. Dentre eles, há quatro que se destacam [WHEELER e CHAMBERS, 2010]:

- *Teste 1*: presença de algum ponto fora dos limites de controle 3σ .
- *Teste 2*: presença de pelo menos dois de três valores sucessivos do mesmo lado e a mais de 2σ da linha central (chamada zona C).
- *Teste 3*: presença de pelo menos quatro de cinco valores sucessivos do mesmo lado e a mais de 1σ da linha central (chamada zona B).
- *Teste 4*: presença de oito pontos sucessivos no mesmo lado da linha central.

Embora esses testes venham sendo utilizados há décadas e sejam considerados eficientes, é possível que as situações citadas nos testes 2, 3 e 4 não representem causas especiais. Quando um processo falha em um desses testes, uma investigação deve ser conduzida para verificar se há causas especiais ou se, na verdade, trata-se de ruídos que levaram a um falso alarme de instabilidade. A Figura 5.4 ilustra um processo hipotético instável que apresenta as situações descritas nos quatro testes.

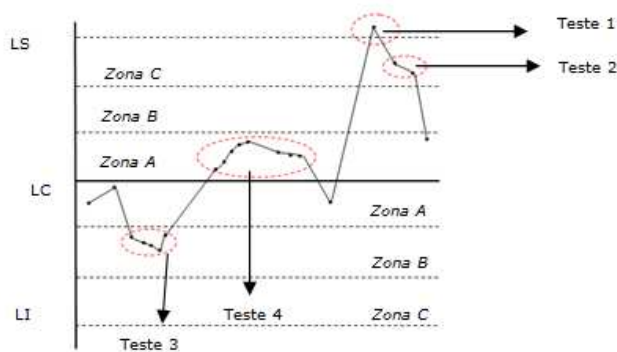


Figura 5.4 – Testes de estabilidade.

Para exemplificar a utilização dos testes de estabilidade, considere o gráfico apresentado na Figura 5.2. Suponha que esse gráfico tenha sido gerado por um gerente que desejava analisar a quantidade de horas semanais dedicadas a atividades de suporte. Para isso, foram registradas as horas de trabalho despendidas com suporte diariamente. Em seguida, foram obtidas as médias diárias de cada semana e o gráfico foi construído.

Percebendo a ausência de pontos fora dos limites de controle, mas desejando se certificar da aparente estabilidade do processo, o gerente decidiu dividir as distâncias dos limites de controle em três zonas (A, B e C) e aplicar todos os testes de estabilidade. A Figura 5.5 apresenta o gráfico com as zonas A, B e C identificadas. Aplicando-se os testes 1, 2, 3 e 4, percebe-se que o processo realmente é estável.

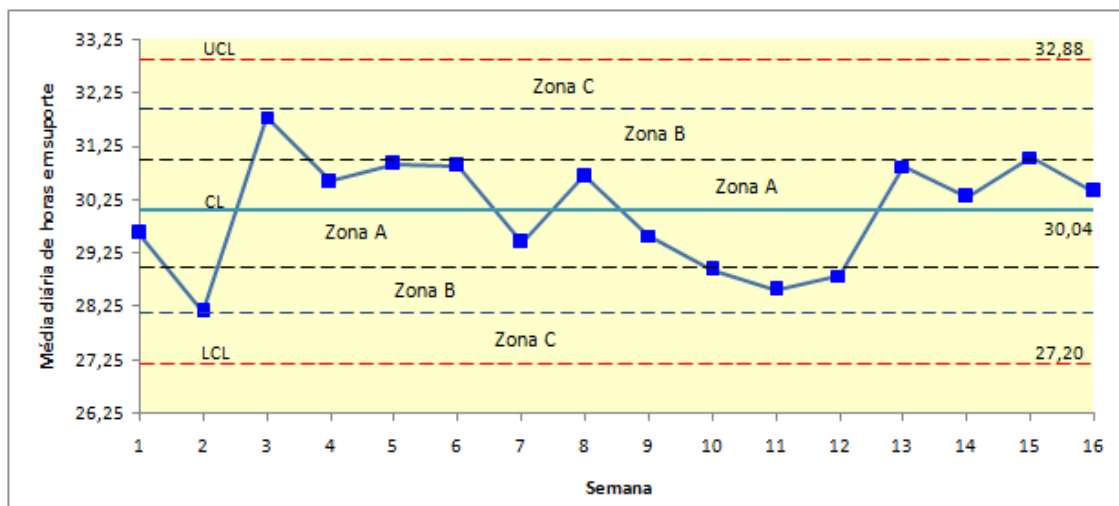


Figura 5.5 – Gráfico com as zonas A, B e C identificadas.

A seguir são apresentados diferentes tipos de gráficos de controle e alguns exemplos de suas aplicações. Combinações de gráficos e aplicações mais sofisticadas do que as que serão apresentadas podem ser realizadas. Algumas discussões nesse sentido encontram-se em [FLORAC e CARLETON, 1999]. Apesar de não tratarem especificamente de processos de software, algumas aplicações também podem ser encontradas em [WHEELER e CHAMBERS, 2010] e [WHEELER, 2000].

5.3 Tipos de Gráficos de Controle

Existem diversos tipos de gráficos de controle e cada um deles é mais adequado em determinadas situações. Todos os tipos de gráficos de controle seguem o *layout* básico mostrado na Figura 5.1.

Cada tipo de gráfico de controle possui um conjunto próprio de expressões matemáticas e constantes que são utilizados para plotar os dados e para calcular os limites de controle. Além disso, para cada gráfico de controle podem ser aplicados determinados testes para verificar se há causas especiais a serem investigadas. Normalmente, são aplicados os testes 1 a 4 apresentados anteriormente. Porém, nem todos esses testes são aplicáveis a todos os tipos de gráficos de controle.

O primeiro passo para escolher o tipo de gráfico de controle a ser utilizado é identificar o tipo de dados que será tratado. Gráficos de controle podem ser aplicados a duas classes diferentes de dados: *dados de variáveis* e *dados de atributos*.

Dados de variáveis, comumente, são medidas de fenômenos contínuos como, por exemplo, esforço, tempo e custo. Dados de atributos, por outro lado, ocorrem quando uma informação é registrada apenas quando uma entidade da população analisada satisfaz ou não um critério ou um conjunto de critérios. Normalmente, indicam contagens discretas. Por exemplo: número de defeitos encontrados, número de membros do projeto que possuem determinada característica etc.

Para identificar a classificação dos dados, não basta saber se os dados são discretos ou contínuos. Além disso, é preciso considerar o contexto em que são coletados e utilizados. Por exemplo, analisar o número total de requisitos é realizar uma contagem, logo seria classificado como dado de atributo. Porém, ao se contar o número total de requisitos, estão sendo contadas todas as entidades em uma população e não apenas ocorrências de entidades que tenham um ou mais atributos específicos. Sendo assim, contagens de entidades que representam o tamanho total de uma população devem ser tratadas como dados de variáveis, pois têm natureza contínua, mesmo que haja instâncias de contagens discretas nelas.

A seguir são apresentados tipos de gráficos de controle para cada tipo de dados. Para prover melhor entendimento, também são apresentados exemplos de

aplicação dos gráficos¹¹. Convém dizer que os exemplos contêm dados hipotéticos, cujo único fim é ilustrar a utilização dos gráficos.

5.3.1 Gráficos de Controle para Dados de Variáveis

Para dados de variáveis serão apresentados cinco tipos de gráficos:

- a) Gráficos X-bar e R (XbarR)
- b) Gráficos X-bar e S (XbarS)
- c) Gráficos *Individuals and Moving Range* (XmR)
- d) Gráficos *Individuals and Median Moving Range* (XMmR)
- e) Gráficos *Moving Average and Moving Range* (mXmR)

a) Gráficos X-bar e R (XbarR)

São adequados para analisar o comportamento do processo através de subagrupamentos de medidas obtidas sob as mesmas condições, em determinados períodos de tempo. O gráfico X-bar (*average*) analisa a média dos valores em cada subgrupo e o gráfico R (*range*) indica a variação interna dos subgrupos. Esse tipo de gráfico se limita a subgrupos formados por até 10 observações.

A análise do comportamento do processo deve ser feita observando-se os dois gráficos. O gráfico X-bar permite analisar a tendência do processo ao longo do tempo. Já o gráfico R permite analisar a variação dentro de cada subgrupo.

A seguir são apresentadas as fórmulas e constantes para o cálculo dos limites de controle nesse tipo de gráfico.

Cálculo dos limites:

X-bar $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	Onde: $\bar{\bar{X}}$ deve ser calculado para cada subgrupo de tamanho n , para cada um dos k subgrupos. $\bar{X}_k = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad \text{e} \quad \bar{\bar{X}}_k = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$
R $UCL_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$ $CL_{\bar{R}} = \bar{R}$ $LCL_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$	Onde: $\bar{R}$ deve ser calculado para cada subgrupo de tamanho n , para cada um dos k subgrupos. $R_k = X_{\max} - X_{\min} \quad \text{e} \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$

¹¹ Os exemplos apresentados foram adaptados de [FLORAC e CARLETON, 1999].

Na Figura 5.6 é possível visualizar as representações de k e n :

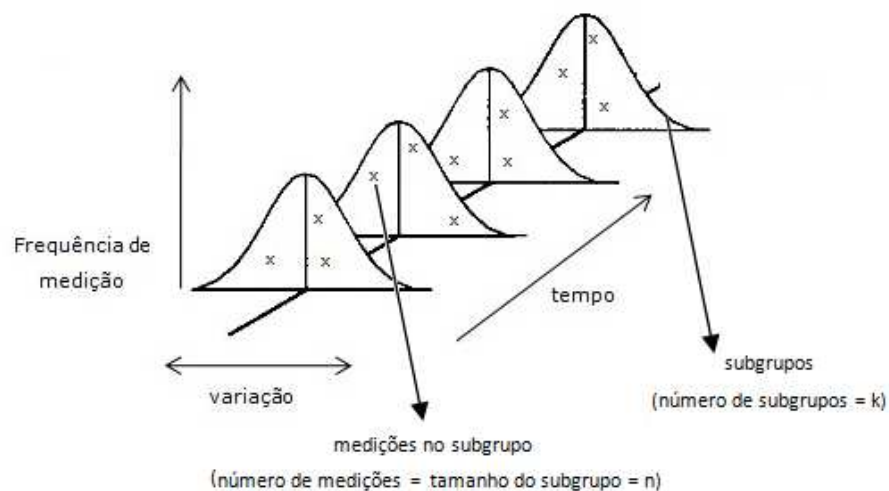


Figura 5.6 – Representação de k e n (adaptado de [WHEELER e CHAMBERS, 2010]).

Os valores das constantes A_2 , D_3 e D_4 presentes nas fórmulas variam de acordo com o tamanho dos subgrupos (n). A Tabela 5.1 apresenta os valores dessas constantes.

Tabela 5.1 – Constantes para cálculo dos limites de controle dos gráficos $\bar{X}$ -bar e R .

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2	1,880	1,023	0,729	0,577	0,483	0,719	0,373	0,337	0,308
D_3	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,189	0,223
D_4	3,268	2,574	2,282	2,114	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

Exemplo: O gerente de um escritório de projetos deseja analisar a quantidade de horas semanais que são despendidas em atividades de manutenção nos projetos. O valor de horas despendidas é registrado diariamente. A Tabela 5.2 apresenta os dados coletados em doze semanas.

Tabela 5.2 – Dados das horas dedicadas a atividades de manutenção nos projetos.

Semana	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1	25,3	21,8	22,8	19,9	21,5
2	22,2	22,5	21,5	19,9	19,7
3	24,4	25,5	22,2	21,5	25,7
4	23,2	22,6	24,1	22,9	22,1
5	20,3	22,9	26,0	23,7	23,2
6	22,2	24,5	24,0	22,8	22,4
7	23,0	20,6	22,1	20,9	24,0
8	22,5	21,7	24,5	22,8	23,7
9	25,0	24,5	21,3	20,9	19,3
10	22,3	23,3	20,9	21,3	20,9
11	21,9	20,9	22,8	22,3	19,3
12	21,6	21,9	22,4	21,8	20,5

Como o gerente deseja uma análise semanal, os dados serão subagrupados em semanas, para serem analisados. Assim, há 12 subgrupos (12 semanas), cada um com cinco observações, uma para cada dia da semana.

Para desenhar os gráficos, os limites de controle devem ser calculados.

Usando as fórmulas $\bar{X}_k = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ e $R_k = |X_{\max} - X_{\min}|$ são calculadas

a média e a variação em cada subgrupo. Uma vez que são 12 subgrupos, o valor de k varia de 1 a 12. O valor de n é 5, pois cada subgrupo é composto por 5 observações. Na Tabela 5.3 os valores da média e da variação de cada subgrupo são apresentados nas duas últimas colunas.

Tabela 5.3 – Dados das horas dedicadas a atividades de suporte.

Semana	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Média	Variação
1	25,3	21,8	22,8	19,9	21,5	22,2	5,4
2	22,2	22,5	21,5	19,9	19,7	21,1	2,8
3	24,4	25,5	22,2	21,5	25,7	23,8	4,2
4	23,2	22,6	24,1	22,9	22,1	22,9	2,0
5	20,3	22,9	26,0	23,7	23,2	23,2	5,7
6	22,2	24,5	24,0	22,8	22,4	23,2	2,3
7	23,0	20,6	22,1	20,9	24,0	22,1	3,4
8	22,5	21,7	24,5	22,8	23,7	23,0	2,8
9	25,0	24,5	21,3	20,9	19,3	22,2	5,8
10	22,3	23,3	20,9	21,3	20,9	21,7	2,4
11	21,9	20,9	22,8	22,3	19,3	21,4	3,5
12	21,6	21,9	22,4	21,8	20,5	21,6	2,0

O próximo passo é calcular a média total e a média da variação, que serão as linhas centrais dos gráficos X-bar e R, respectivamente. Assim:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_{12}}{12} = 22,38 \quad \text{e} \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_{12}}{12} = 3,5$$

Em seguida, deve-se determinar os limites de controle.

Para X-bar:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 22,38 + 0,577 * 3,5 = 24,39$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 22,38 - 0,577 * 3,5 = 20,36$$

Para R:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 2,114 * 3,5 = 7,39$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = \text{indefinido}$$

Calculados os valores dos limites de controle, os gráficos podem ser construídos.

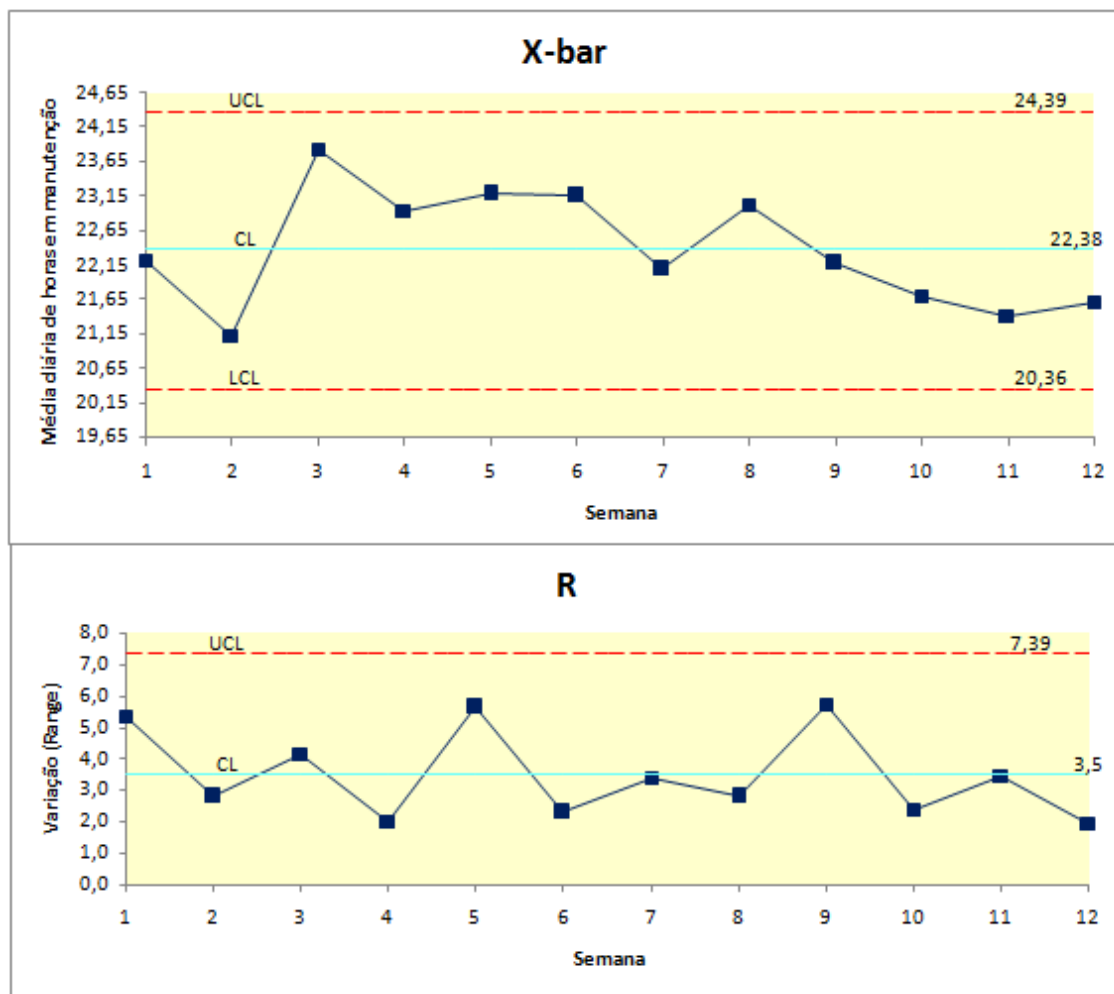


Figura 5.7 – *X-bar* e *R* para média de horas diárias dedicadas semanalmente em atividades de manutenção.

Observando-se os gráficos, pode-se dizer que o comportamento do processo parece ser estável, pois tanto as médias quanto as variações encontram-se dentro dos limites de controle calculados. O gráfico *X-bar* da Figura 5.7 mostra que ao longo das doze semanas, a média de horas despendidas em atividades de manutenção semanalmente comportou-se de maneira estável. O gráfico *R* da Figura 5.7, por sua vez, indica que em cada semana, a variação entre as horas despendidas em atividades de manutenção diariamente, também pareceu estável.

Para verificar a aparente estabilidade, podem ser utilizados os quatro testes apresentados anteriormente. Para isso, é necessário identificar as zonas A, B e C. Uma vez que a distância entre a linha central e os limites é de 3σ , basta calcular o valor do desvio padrão (σ) e indicar as zonas nos gráficos.

$$\text{Para o gráfico } X\text{-bar, o desvio padrão } (\sigma) \text{ é dado por } \frac{A_2 R}{3} = \frac{0,577 * 3,5}{3} = 0,67.$$

A Figura 5.8 apresenta o gráfico com as zonas A, B e C identificadas. Ao aplicar os testes 1, 2, 3 e 4, confirma-se que o processo é estável.

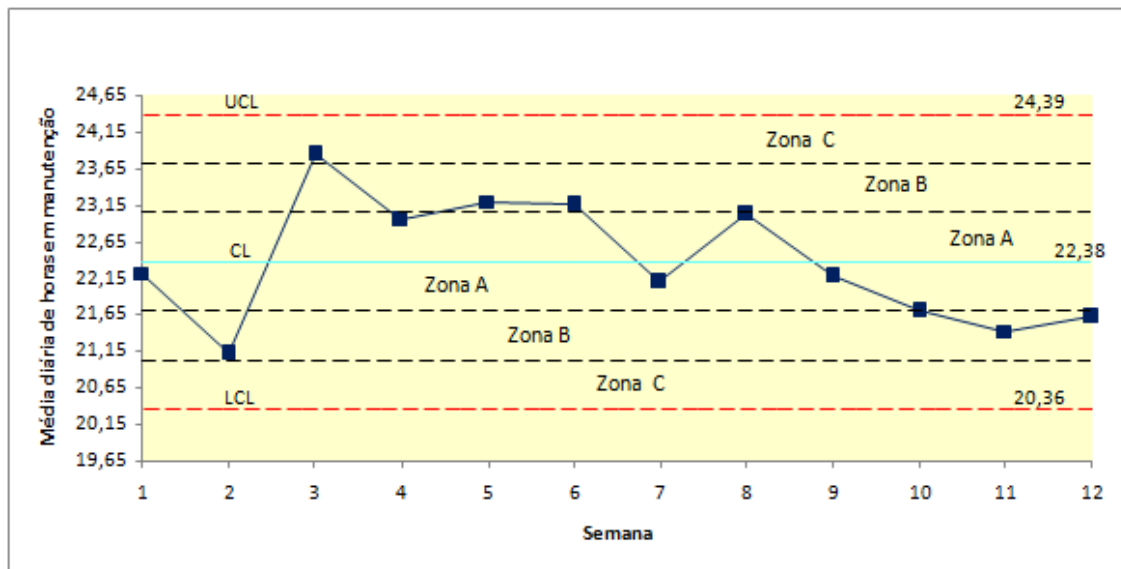


Figura 5.8 – X-bar com as zonas A, B e C identificadas.

Os gráficos X-bar e R possuem a limitação de trabalharem com subgrupos que tenham, no máximo, dez observações. A partir daí, trabalhar com médias pode levar à obtenção de valores não muito adequados para os limites. Para trabalhar com subgrupos que possuam mais observações, podem ser utilizados os gráficos X-bar e S, descritos a seguir.

b) Gráficos X-bar e S (XbarS)

Esses gráficos funcionam como os gráficos X-bar e R, porém permitem trabalhar com subgrupos com mais de dez elementos. A diferença em relação aos gráficos X-bar e R está na forma como a variação de cada subgrupo é calculada. Nos gráficos X-bar e R ela é obtida pela média dos valores de cada subgrupo. Nos gráficos X-bar e S, por sua vez, ela é obtida pelo desvio padrão de cada subgrupo.

Esses gráficos também podem ser utilizados para trabalhar subgrupos com menos de dez elementos. Na verdade, a frequência de utilização dos gráficos X-bar e R diminuiu na medida em que ferramentas automatizadas de apoio aos cálculos foram desenvolvidas. Como os gráficos de controle foram propostos no passado, era mais fácil calcular a média de valores do que o desvio padrão e, como em subgrupos com poucos elementos os resultados de se usar média ou desvio padrão não diferiam muito, era comum optar pelos gráficos X-bar e R para os casos de subgrupos com até dez elementos. Atualmente, como não há mais limitações para

realizar cálculos, a escolha de qual gráfico usar para subgrupos de dados com até dez elementos não precisa mais ser justificada por aquela questão, podendo ser mais flexível.

A seguir são apresentadas as fórmulas e constantes para o cálculo dos limites de controle nesse tipo de gráfico.

Cálculo dos limites:

<i>X-bar</i>	<i>Onde:</i>
$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$	$\bar{\bar{X}}$ deve ser calculado para cada subgrupo de tamanho n , para cada um dos k subgrupos.
$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}_k = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ e $\bar{\bar{X}}_k = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$	
<i>R</i>	<i>Onde:</i>
$UCL_{\bar{S}} = B_4 \bar{S}$	S é o desvio padrão que deve ser calculado para cada subgrupo de tamanho n .
$CL_{\bar{S}} = \bar{S}$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ e $\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} S_i}{k}$
$LCL_{\bar{S}} = B_3 \bar{S}$	

Os valores das constantes A_3 , B_3 e B_4 presentes nas fórmulas variam de acordo com o tamanho dos subgrupos (n). A Tabela 5.4 apresenta os valores dessas constantes para $n \leq 15$. O procedimento de obtenção das constantes para $n > 15$ pode ser encontrado em [FLORAC e CARLETON, 1999].

Tabela 5.4 – Constantes para cálculo dos limites de controle dos gráficos *X-bar* e *S*.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A_3	2,659	1,954	1,628	1,427	1,287	1,182	1,099	1,032	0,975	0,927	0,886	0,850	0,817	0,789
B_3	-	-	-	-	0,030	0,118	0,185	0,239	0,284	0,322	0,354	0,382	0,407	0,428
B_4	3,267	2,568	2,266	2,089	1,970	1,882	1,815	1,761	1,716	1,678	1,646	1,619	1,593	1,572

Exemplo: O gerente de um projeto deseja analisar a taxa de inspeção de código realizada no software do projeto. Essa medida é dada pela razão entre o tamanho do produto inspecionado, em número de linhas de código fonte (SLOC), e o número de horas de inspeção realizadas. O esforço alocado em cada inspeção é de uma pessoa, ou seja, não há mais de uma pessoa trabalhando em uma inspeção ao mesmo tempo. O produto possui cinco *releases* (ou liberações) e, em cada uma delas, foram realizadas treze inspeções.

A Tabela 5.5 apresenta os dados que foram coletados. As linhas *average* e *S* representam a média e o desvio padrão de cada *release*. Para obter esses valores,

foram aplicadas as fórmulas $\bar{X}_k = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ e $S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X}_k)^2}{n-1}}$ para k

variando de 1 a 5, uma vez que são 5 subgrupos, um para cada *release*, e para $n=13$, pois cada subgrupo é formado por 13 observações (taxas de inspeção).

Tabela 5.5 – Dados das taxas de inspeção (SLOC/h) das 5 *releases* de um produto.

Inspeção	Release 1	Release 2	Release 3	Release 4	Release 5
1	137,28	80,00	22,00	14,48	24,00
2	32,40	36,72	22,08	21,68	35,60
3	78,40	22,96	31,60	52,32	65,80
4	39,12	48,00	30,16	22,00	27,20
5	116,56	63,52	63,92	21,20	65,30
6	73,68	50,56	29,68	50,76	30,30
7	37,60	21,36	25,76	60,80	19,56
8	69,44	31,76	8,80	57,89	9,20
9	74,00	63,36	16,72	67,90	54,23
10	20,80	22,16	20,80	57,76	36,10
11	62,08	46,64	45,44	49,87	9,70
12	103,36	10,72	37,52	38,97	24,30
13	59,04	103,60	13,92	16,40	50,47
Média	69,52	46,26	28,34	40,93	34,75
Desvio Padrão	34,07	26,37	14,51	19,20	19,02

Após calculados a média e o desvio padrão, o próximo passo é calcular a média total e o desvio padrão total, que serão a linha central do gráfico de controle.

$$\text{Assim, } \bar{\bar{X}}_k = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_5}{5} = 43,96 \quad \text{e} \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} S_i}{k} = 22,63.$$

Em seguida, deve-se determinar os limites de controle.

Para $\bar{X}$ -bar:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} = 43,96 + 0,85 * 22,63 = 63,20$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} = 43,96 - 0,85 * 22,63 = 24,72$$

Para S :

$$UCL_{\bar{S}} = B_4 \bar{S} = 1,619 * 22,63 = 36,64$$

$$LCL_{\bar{S}} = B_3 \bar{S} = 0,382 * 22,63 = 8,64$$

Calculados os valores dos limites de controle, os gráficos podem ser construídos.

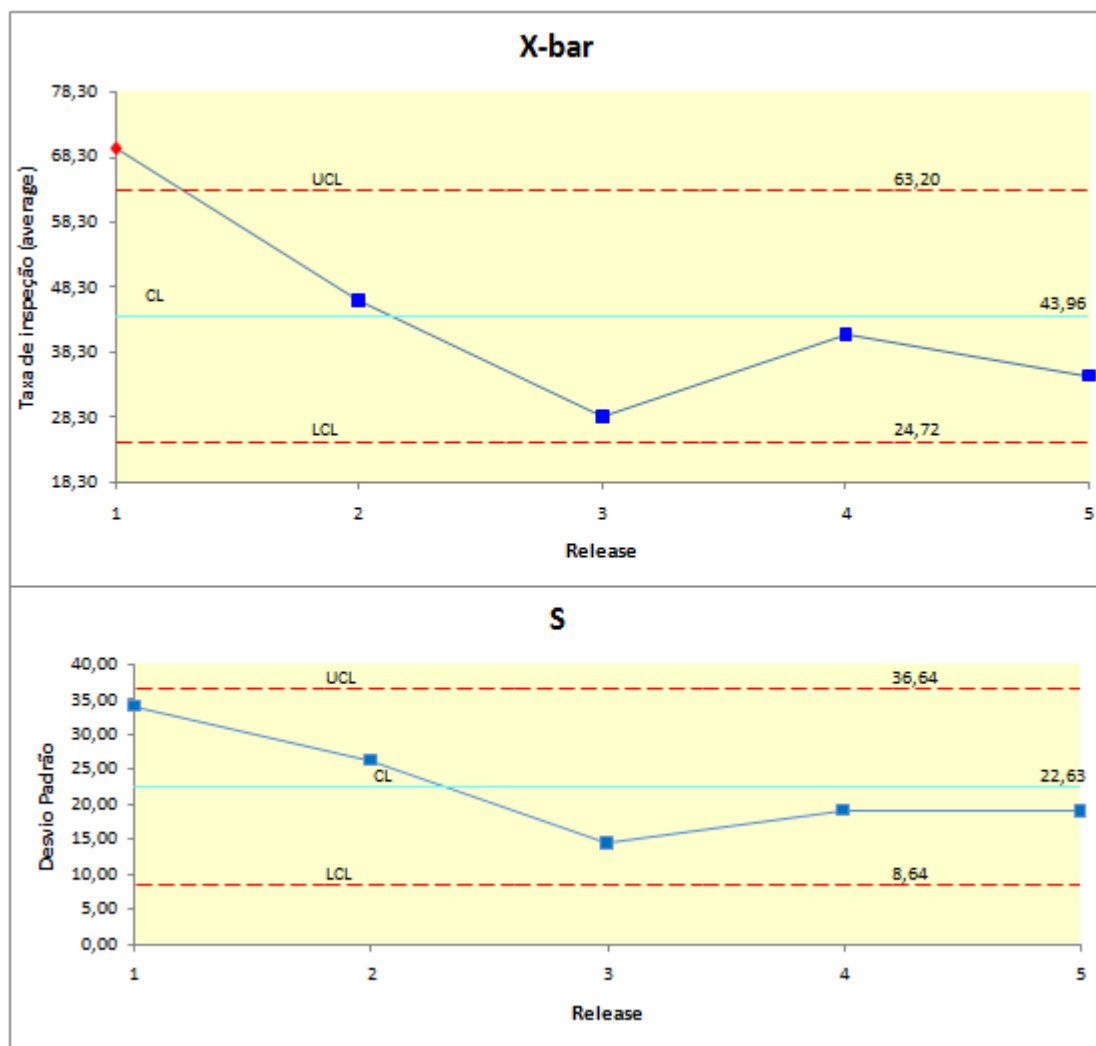


Figura 5.9 – X-bar e S para taxa de inspeção em 5 *releases* de um produto.

Observando-se o gráfico X-bar, percebe-se que o ponto correspondente à *release* 1 está fora dos limites de controle, devendo ser conduzida uma investigação de suas causas. Para realizar essa investigação, deve-se analisar o comportamento interno dos valores do subgrupo 1 (*release* 1), pois o ponto fora do controle no gráfico X-bar indica que no subgrupo 1 a média dos valores das observações foi maior do que as médias dos demais subgrupos, tendo excedido o comportamento esperado. Nesse caso, onde há apenas um (sub)grupo sendo analisado, deve-se utilizar os gráficos XmR, descritos a seguir.

c) Gráficos *Individuals and Moving Range Charts* (XmR)

Esses gráficos são utilizados quando uma mesma variável é medida frequentemente. Sua utilização é muito comum no contexto de processos de software.

O gráfico $\bar{X}$ representa os valores individuais coletados, e não mais as médias entre os valores de cada subgrupo. O gráfico mR (*moving range*), por sua vez, representa a variação de um valor em relação ao valor anterior, chamada variação móvel. Os dois pontos usados para calcular uma variação móvel são chamados de *two-point moving range*.

Nesse tipo de gráfico de controle os limites de controle superior e inferior são ditos limites naturais de processo (*natural process limit – NPL*), pois eles representam a variabilidade associada a medidas individuais e não mais a agrupamentos de medidas.

A representação de valores individuais, ao invés de médias de valores agrupados, permite detectar cinco tipos de situações mais facilmente: (i) *ciclos* – repetições regulares do processo; (ii) *tendências* – movimentos contínuos para cima ou para baixo; (iii) *misturas* – presença de mais de uma distribuição; (iv) *agrupamentos* – medidas aglomeradas em um ponto; e, (v) *relações* entre o padrão geral de agrupamentos e a especificação do processo.

Os testes 2, 3 e 4 apresentados anteriormente para detectar instabilidade no processo não são eficientes quando aplicados em gráficos *moving range* [WHEELER e CHAMBERS, 2010].

A seguir são apresentadas as fórmulas para o cálculo dos limites de controle nesse tipo de gráfico.

Cálculo dos limites:

$\bar{X}$ $UNPL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 2660\overline{mR}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LNPL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 2660\overline{mR}$	Onde: $\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} X_i$ k = número de observações
mR $UCL_R = 3,268\overline{mR}$ $CL_R = \overline{mR}$ $LCL_R = \text{não existe}$	Onde: $\overline{mR} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{i=r} mR_i$ $mR_i = X_{i+1} - X_i \text{ para } 1 \leq i \leq k-1$ $r = k-1$ e k = número de observações

Exemplo: O gerente de um escritório de projetos deseja analisar a quantidade de horas diárias despendidas em atividades de manutenção. Diferente

do exemplo apresentado para o gráfico de controle $\bar{X}$ -bar e R , o gerente não está interessado em analisar a quantidade de horas semanalmente, logo não há subagrupamentos. Na Tabela 5.6 são apresentados os valores coletados em 20 dias de observação.

Tabela 5.6 - Horas diárias despendidas em atividades de manutenção.

<i>Dia</i>	<i>Horas (Xi)</i>	<i>mR</i>
1	50,5	-
2	43,5	7,0
3	45,5	2,0
4	39,8	5,7
5	42,9	3,1
6	44,3	1,4
7	44,9	0,6
8	42,9	2,0
9	39,8	3,1
10	39,3	0,5
11	48,8	9,5
12	51,0	2,2
13	44,3	6,7
14	43,0	1,3
15	51,3	8,3
16	46,3	5,0
17	45,2	1,1
18	48,1	2,9
19	45,7	2,4
20	44,1	1,6

Na Tabela 5.6, a coluna mR indica a variação móvel entre dois valores consecutivos (X_i e X_{i+1}). Esses dados são necessários para calcular a média dos valores individuais e a média das variações móveis, que serão as linhas centrais dos gráficos.

Aplicando-se as fórmulas $\bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} X_i$ e $\overline{mR} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{i=r} mR_i$ e considerando $k = 20$ e $r = 19$, foram obtidas a média dos valores individuais e a média das variações móveis, cujos valores são 45,06 e 3,49, respectivamente.

Calculadas as médias, determinam-se os limites de controle que, como dito anteriormente, nesse tipo de gráfico, são ditos limites naturais de processo.

Para $\bar{X}$:

$$UNPL_{\bar{X}} = \bar{X} + 2660\overline{mR} = 45,06 + 2,660 * 3,49 = 54,34$$

$$LNPL_{\bar{X}} = \bar{X} - 2660\overline{mR} = 45,06 - 2,660 * 3,49 = 35,78$$

Para mR :

$$UCL_R = 3,268\overline{mR} = 3,268 * 3,49 = 11,41$$

Construindo-se os gráficos de controle, tem-se:

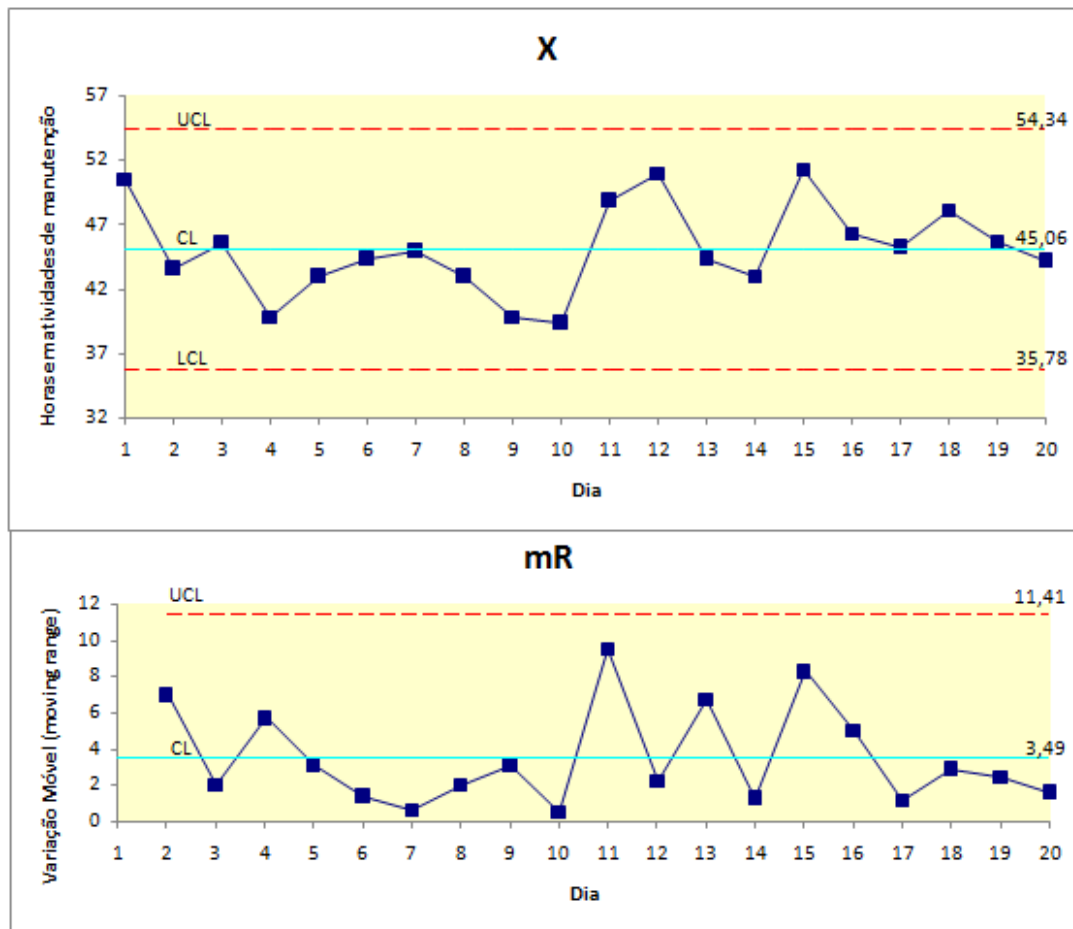


Figura 5.10– Gráficos $\bar{X}$ e mR para horas despendidas em atividades de manutenção.

O gráfico $\bar{X}$ da Figura 5.10 mostra que a quantidade de horas despendidas em atividades de manutenção nos últimos 20 dias tem se comportado de maneira estável. O gráfico mR , por sua vez, indica que as variações entre as horas despendidas em um dado dia e as horas despendidas no dia anterior também apresentam comportamento repetível.

Observe que no gráfico mR os pontos começam a ser plotados a partir do dia 2. Isso ocorre, pois uma vez que são necessários dois valores para que seja possível obter a variação móvel, somente a partir do segundo dia torna-se possível identificar a variação em relação ao dia anterior. Essa característica poderá ser observada também nos outros gráficos *moving range* que serão apresentados mais adiante.

Apesar do comportamento do processo ser estável, é possível perceber que em alguns pontos há uma variação maior que em outros. Por exemplo, pelo gráfico

X é possível notar que em alguns dias (1, 11, 12 e 16) o número de horas despendidas foi maior que nos demais dias. Além disso, como mostra o gráfico mR, a variação de horas despendidas no décimo primeiro dia em relação às horas despendidas no décimo dia é maior que as demais e se destaca no gráfico. Embora essas situações não tenham desestabilizado o comportamento do processo, o gerente poderia investigar o que ocorreu nesses dias que fez com que as horas despendidas em manutenção variassem de maneira mais expressiva.

Os gráficos XmR também podem ser utilizados para dados discretos quando estes se referirem a contagens de entidades que representam o tamanho total de uma população ou seu *status*. Nesse caso, embora os dados sejam discretos, eles caracterizam dados de variáveis. Por exemplo, suponha que um gerente esteja analisando o número de problemas não resolvidos nos projetos, registrado no último relatório semanal emitido. Nesse relatório, estão registrados 30 problemas críticos que não foram resolvidos na referida semana. Suponha, ainda, que o gerente tenha sido contratado há pouco tempo e que não tem muito conhecimento sobre o comportamento dessa medida nos últimos meses. Preocupado com o que parece ser um número muito alto de problemas não resolvidos, o gerente decide analisar o comportamento do processo de resolução de problemas nas últimas 21 semanas, para observar se houve alguma alteração no comportamento do processo ou se os 30 problemas não resolvidos registrados no último relatório refletem um comportamento esperado e usual do processo.

A Tabela 5.7 apresenta os dados das últimas 22 semanas (as 21 semanas anteriores e a semana que o gerente está analisando).

Tabela 5.7 – Número de problemas não resolvidos (NPNR) em 22 semanas.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
NPNR (Xi)	17	25	15	17	18	22	19	16	22	19	25	18	25	22	24	16	19	25	22	22	18	30
mR	-	8	10	2	1	4	3	3	6	3	6	7	7	3	2	8	3	6	3	0	4	12

O primeiro passo para construir os gráficos é calcular as médias dos valores individuais e das variações móveis, para obter os limites centrais dos gráficos.

Assim, para $k = 22$ e $r = 21$, obtém-se $\bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} X_i = 20,73$ e $\overline{mR} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{i=r} mR_i = 4,81$.

O próximo passo é determinar os limites naturais de processo. Então:

Para $\bar{X}$: $UNPL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 2660\overline{mR} = 20,73 + 2,660 * 4,81 = 33,52$
 $LNPL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 2660\overline{mR} = 20,73 - 2,660 * 4,81 = 7,94$

Para mR : $UCL_R = 3,268\overline{mR} = 3,268 * 4,81 = 15,72$

Construindo-se os gráficos de controle, tem-se:

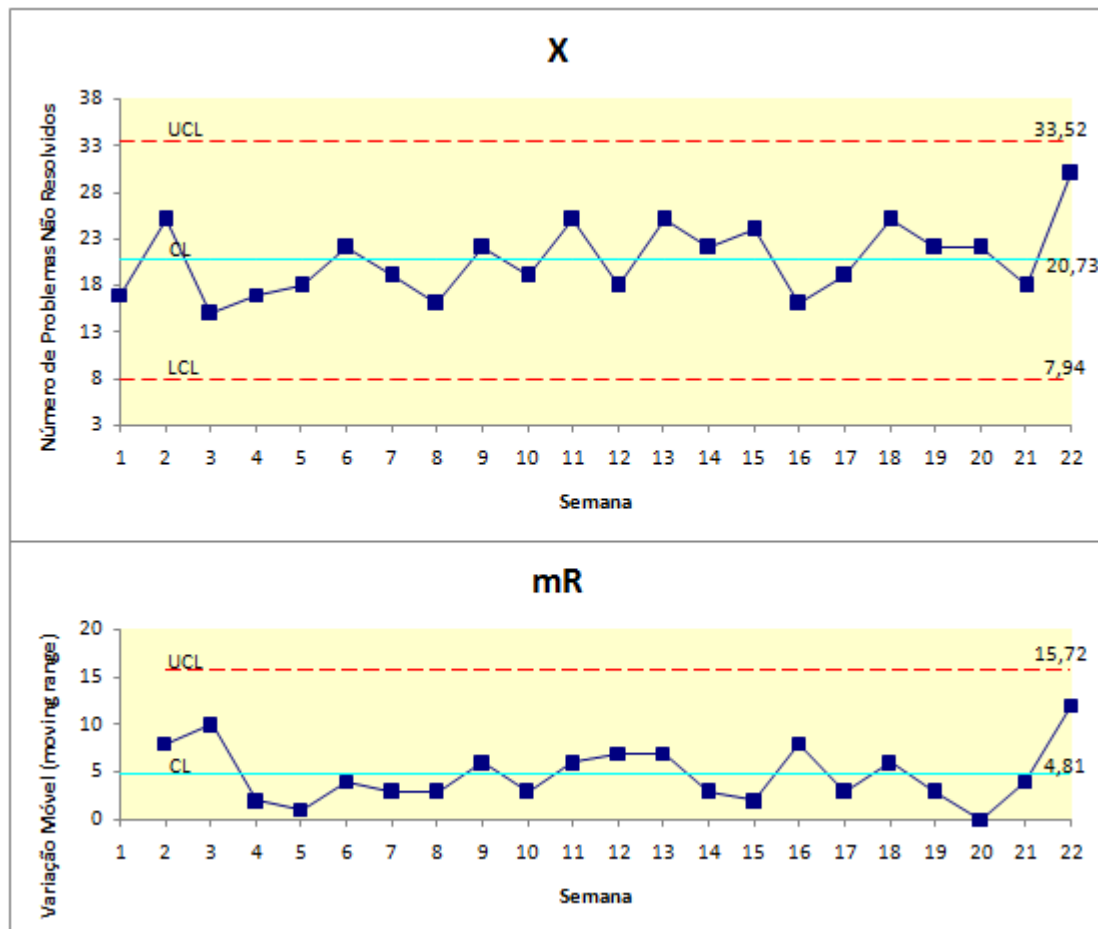


Figura 5.11 – Gráficos $\bar{X}$ e mR para número de problemas não resolvidos.

Analisando-se os gráficos é possível observar que o processo de resolução de problemas, quando analisado pelo número de problemas não resolvidos, mostra-se com comportamento dentro dos limites esperados. Para o gerente, isso significa que os 30 problemas não resolvidos registrados no último relatório semanal não refletem um número diferente do comportamento esperado para o processo, considerando as últimas 22 semanas.

Com esse exemplo há oportunidade de retomar uma afirmação feita quando se falou sobre estabilidade e capacidade neste capítulo (seção 4.5) e se destacou que ter um processo estável não significa que ele tem um bom desempenho. No

exemplo, é possível perceber que o processo tem comportamento repetível, porém, aparentemente, o número de problemas não resolvidos tem sido repetidamente alto. Nesse caso, embora o processo seja estável, ele poderia ser alterado para tentar diminuir o número de problemas não resolvidos.

d) Gráficos *Individuals and Median Moving Range (XMmR)*

Esse tipo de gráfico de controle é similar aos gráficos XmR, porém utiliza a mediana nos cálculos, em substituição à média. A mediana pode ser mais sensível às causas especiais, principalmente quando a variação móvel (*moving range*) possui alguns valores que podem elevar ou diminuir os limites. Nesses casos, utilizar a mediana pode revelar a presença de causas especiais que não apareceriam se fosse utilizada a média.

Convém lembrar que os testes 2, 3 e 4 não devem ser aplicados ao gráfico *moving range*.

Cálculo dos limites:

X	$UNPL_X = \bar{X} + 3,145MmR$ $CL_X = \bar{X}$ $LNPL_X = \bar{X} - 3,145MmR$	Onde:	$\bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} X_i$
MmR	$UCL_R = 3,865MmR$ $CL_R = MmR$ $LCL_R = \text{não existe}$	Para determinar MmR, os valores de cada <i>moving range</i> devem ser colocados em ordem crescente. Se o número de <i>moving ranges</i> (<i>k</i>) for ímpar, a mediana <i>moving range</i> (MmR) estará na posição $[(k-1)/2] + 1$. Se <i>k</i> for par, a mediana <i>moving range</i> será a média dos valores das posições $k/2$ e $k/2 + 1$.	

Exemplo: Um gerente, analisando o número de problemas relatados pelo cliente que não foram resolvidos no último mês, percebe que a média diária de problemas relatados pelo cliente que não foram resolvidos nesse mês foi 12,39. Comparando com as médias diárias dos meses anteriores, o gerente percebe que a atual está quase 50% acima dos valores anteriores. Ele, então, utiliza um gráfico de controle XmR para visualizar a situação, porém nenhuma situação que indique a presença de causas especiais é identificada. O gerente analisa, então, os dados utilizados para gerar os gráficos do último mês e percebe que nos dias 12, 14, 15,

18 e 27 houve uma variação muito maior do que nos demais dias, com isso, ao aplicar a média para construir os gráficos X e mR, os valores das linhas centrais e dos limites de controle foram inflados devido aos dados referentes àqueles dias. Para refinar a investigação de existência de causas especiais, o gerente decide utilizar os gráficos de controle XMmR.

A Tabela 5.8 apresenta os dados diários do último mês e a variação móvel entre os valores de um dia e do dia anterior (mR).

Tabela 5.8 – Número de problemas não resolvidos relatados pelos clientes (PNR) no último mês, com destaque aos dias onde ocorreram as maiores variações.

<i>Dias</i>	<i>PNR (Xi)</i>	<i>mR</i>
1	12	-
2	4	8
3	6	2
4	15	9
5	21	6
6	5	16
7	11	6
8	8	3
9	6	2
10	4	2
11	32	28
12	2	30
13	7	5
14	46	39
15	5	41
16	25	20
17	5	20
18	41	36
19	22	19
20	1	21
21	5	4
22	13	8
23	5	8
24	6	1
25	5	1
26	31	26
27	1	30
28	5	4
29	3	2
30	26	23
31	6	20

O primeiro passo para calcular os limites de controle, é determinar a média dos valores e a mediana da variação móvel, que serão os limites centrais dos gráficos. Aplicando-se a fórmula $\bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} X_i$, para $k = 31$, obtém-se o valor 12,39, que é a média dos valores individuais.

Para obter o valor da mediana da variação móvel, os valores das variações móveis (mR) devem ser dispostos em ordem crescente. Assim:

1	1	2	2	2	2	3	4	4	5	6	6	8	8	8	9	16	19	20	20	20	21	23	23	26	30	30	36	39	41
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Uma vez que o número de valores de variações móveis é par ($k=30$), a mediana será a média dos valores das posições $\frac{k}{2}$ e $\frac{k}{2}+1$. Então:

$$MmR = \frac{(8+9)}{2} = 8,5. \text{ O próximo passo é calcular os limites de controle:}$$

Para $\bar{X}$:

$$UNPL_{\bar{X}} = \bar{X} + 3,145MmR = 12,39 + 3,145 \cdot 8,5 = 39,12$$

$$LNPL_{\bar{X}} = \bar{X} - 3,145MmR = 12,39 - 3,145 \cdot 8,5 = -14,34$$

Para MmR : $UCL_R = 3,865MmR = 3,865 \cdot 8,5 = 32,85$

Calculados os valores dos limites, os gráficos de controle podem ser construídos.

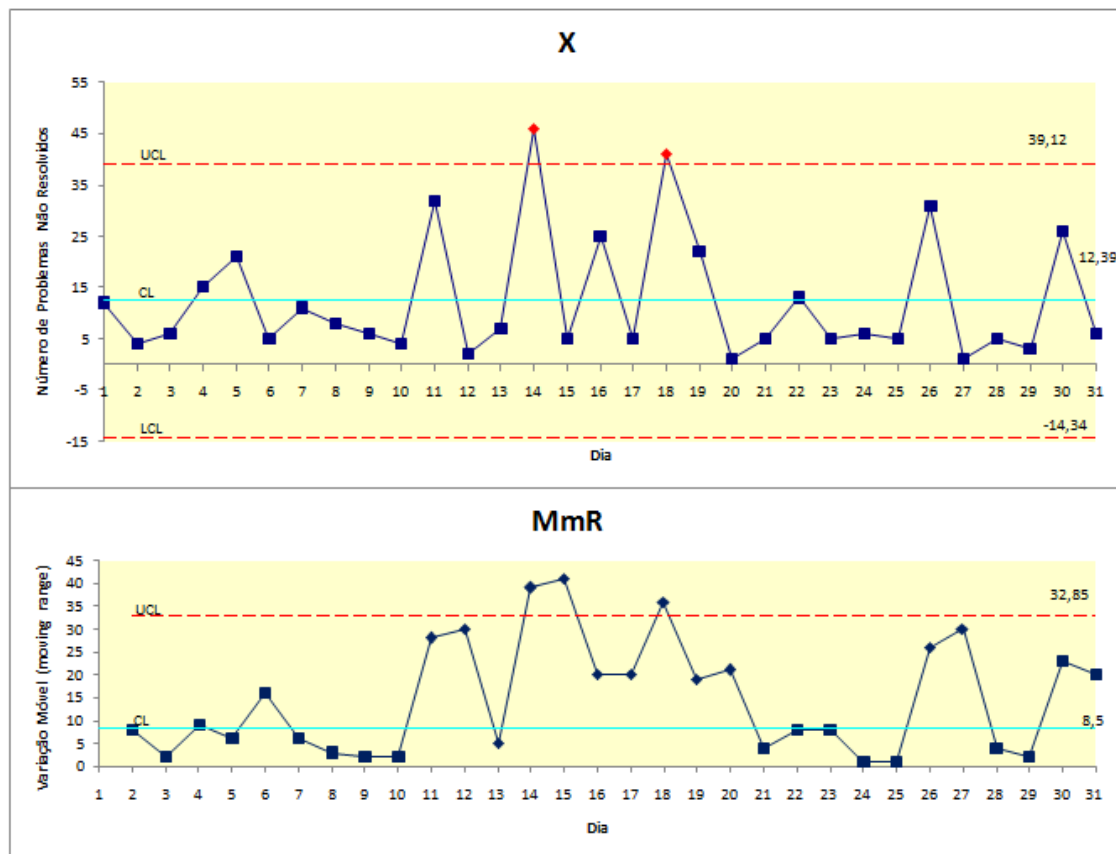


Figura 5.12- Gráficos $\bar{X}$ e MmR para número de problemas não resolvidos relatados pelo cliente.

Analisando-se os gráficos é possível observar que causas especiais foram identificadas quando foi utilizado o gráfico de controle $\bar{X}MmR$. No gráfico $\bar{X}$, percebe-se que o número de problemas registrados nos dias 14 e 18 são maiores do que os limites que caracterizam a estabilidade do processo. Também no gráfico

MmR é possível perceber a indicação de variações irregulares (dias 11 a 20). Os pontos que caracterizam a instabilidade do processo são representados em formato diferente nos gráficos.

Os pontos fora dos limites de controle não foram identificados quando se analisou o comportamento do processo através do gráfico de controle XmR. Isso ocorreu, pois entre as variações móveis há algumas que distanciam-se consideravelmente das demais (vide distribuição dos pontos entre os dias 10 e 21 no gráfico MmR) e elevam os limites de controle quando são calculados baseando-se na média, impossibilitando a detecção de algumas situações de investigação.

e) Gráficos *Moving Average and Moving Range (mXmR)*

Este tipo de gráfico de controle segue a filosofia dos gráficos *moving range* até agora apresentados, porém, além de considerarem a variação móvel (*moving range*), consideram também a média móvel (*moving average*), ou seja, a média entre dois valores consecutivos. Esses gráficos permitem analisar a variação entre as médias e, com isso, focam a avaliação das tendências do desempenho dos processos ao longo do tempo.

Os gráficos mXmR podem ser utilizados para grupos de dados com subgrupos de até dez elementos, assim como o gráfico de controle X-barR.

Cálculo dos limites:

mX $UCL_{mX} = \overline{\overline{mX}} + A_2 \overline{mR}$ $CL_{mX} = \overline{\overline{mX}}$ $LCL_{mX} = \overline{\overline{mX}} - A_2 \overline{mR}$	Onde: $\overline{mX}_k = \frac{X_k + X_{k-1} + \dots + X_{k-n+1}}{n}, \text{ para } k \geq n \geq 3 \text{ e}$ $\overline{mX}_k = \frac{X_k + X_{k-1}}{2}, \text{ para } k \geq n = 2$ $\overline{\overline{mX}} = \frac{\sum_{k=n}^{k=N} \overline{mX}_k}{N - n + 1}$ <i>N</i> = número total de observações individuais <i>k</i> = número de subgrupos <i>n</i> = tamanho do subgrupo
mR $UCL_{\overline{R}} = D_4 \overline{mR}$ $CL_{\overline{R}} = \overline{mR}$ $LCL_{\overline{R}} = \text{não existe}$	Onde: mR deve ser calculado para cada um dos <i>k</i> subgrupos de tamanho <i>n</i>. $mR_k = X_{\max} - X_{\min} \text{ e } \overline{mR} = \frac{mR_1 + mR_2 + \dots + mR_k}{k}$

Os valores das constantes A_2 e D_4 presentes nas fórmulas variam de acordo com o tamanho dos subgrupos (n). Seus valores foram apresentados anteriormente na Tabela 5.1.

Para calcular os limites de controle, o primeiro passo é identificar o número de subgrupos (k) e seu tamanho (n), para que as fórmulas corretas sejam utilizadas. Algumas vezes, no conjunto de dados a ser analisado não há subgrupos explícitos, como havia nos exemplos apresentados para os gráficos de controle $\bar{X}$ e S . Nesses casos, os dados parecem compor um único grupo de dados, sem subgrupos. Quando isso acontece, assim como foi feito nos gráficos *moving ranging* apresentados anteriormente ($\bar{X}_m$ e M_m), para obter a variação móvel, consideram-se dois valores consecutivos e calcula-se a variação entre eles. O mesmo procedimento é adotado para calcular a média móvel. Dessa forma, assume-se que cada par de valores forma um subgrupo de tamanho 2, isto é, $n=2$. Então, para k observações, existem $k-1$ subgrupos compostos por dois pontos (os dois pontos que são considerados para calcular a variação ou média móvel).

Os testes 2, 3 e 4 não são aplicáveis a esse tipo de gráfico.

Exemplo: Um gerente de projetos de software, responsável pelo projeto que trata do desenvolvimento de componentes para reutilização em uma organização, deseja analisar o progresso do desenvolvimento dos componentes. Para isso, ele deve analisar os componentes cujo desenvolvimento foi concluído desde o início do projeto, há dez meses, até o momento atual. Os dados obtidos pelo gerente são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Componentes para reutilização concluídos (mensal e acumulado).

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Componentes concluídos em cada mês (Produção mensal)	15	40	25	25	35	45	40	45	55	50
Produção acumulada	15	55	80	105	140	185	225	270	325	375

O primeiro passo para calcular os limites de controle, é calcular as médias das variações móveis e das médias móveis, que serão as linhas centrais dos gráficos. Para isso, é necessário identificar o número de subgrupos e o número de elementos em cada um deles, para que seja possível utilizar a fórmula correta.

No exemplo não há subgrupos explícitos, logo cada par de valores utilizados para calcular a média e variação móveis forma um subgrupo de tamanho 2, e para k observações, existem $k-1$ subgrupos. Então, nesse exemplo existem 9 subgrupos de tamanho $n=2$.

Utilizando-se a fórmula $\overline{mX}_k = \frac{X_k + X_{k-1}}{2}$, para a produção mensal, são obtidas as médias móveis apresentadas na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Cálculo das médias móveis dos valores da produção mensal.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção mensal	15	40	25	25	35	45	40	45	55	50
<i>mX</i> (moving average)		27,5	32,5	25	30	40	42,5	42,5	50	52,5

Para obter a média das médias móveis, aplica-se a fórmula $\overline{\overline{mX}} = \sum_{k=n}^{k=N} \frac{\overline{mX}_k}{N-n+1}$ considerando $N=10$ (número total de observações) e $n=2$ (tamanho dos subgrupos), e obtém-se o valor 38,06.

A Tabela 5.11 apresenta as variações móveis (*moving range*) dos valores da produção mensal.

Tabela 5.11 – Cálculo das variações móveis dos valores da produção mensal.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção mensal	15	40	25	25	35	45	40	45	55	50
<i>mR</i> (moving range)		25	15	0	10	10	5	5	10	5

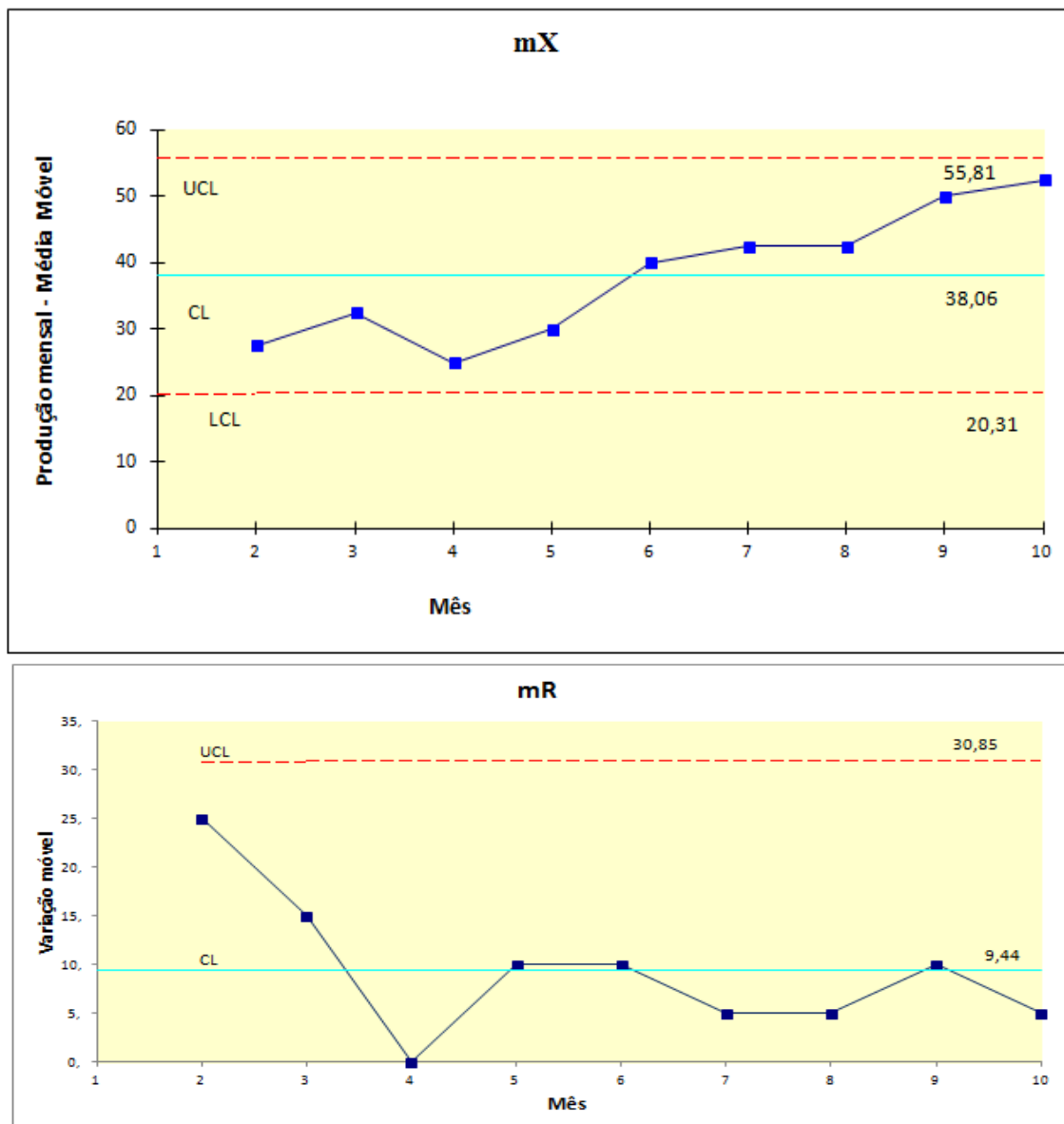
Para calcular a média das variações móveis, aplica-se a fórmula $\overline{mR} = \frac{mR_1 + mR_2 + \dots + mR_k}{k}$, obtendo-se como resultado 9,44.

O próximo passo é calcular os limites de controle, utilizando-se para as constantes os valores da Tabela 5.1, referentes a subgrupo de tamanho 2.

$$\begin{aligned} \text{Para } \overline{mX}: \quad UCL_{\overline{mX}} &= \overline{\overline{mX}} + A_2 \overline{mR} = 38,06 + 1,880 * 9,44 = 55,81 \\ LCL_{\overline{mX}} &= \overline{\overline{mX}} - A_2 \overline{mR} = 38,06 - 1,880 * 9,44 = 20,31 \end{aligned}$$

$$\text{Para } mR: \quad UCL_{\overline{mR}} = D_4 \overline{mR} = 3,268 * 9,44 = 30,85$$

Calculados os limites, é possível elaborar os gráficos de controle.

Figura 5.13 – Gráficos *mX* e *mR* para componentes concluídos.

Analisando-se os gráficos é possível perceber que o gráfico das médias móveis (*mX*) apresenta uma tendência de crescimento de componentes concluídos e que não há causas especiais. O gráfico das variações móveis (*mR*) também mostra comportamento dentro dos limites de controle. Entretanto, não é possível afirmar muito mais que isso. O formato do gráfico de controle não permite, por exemplo, projetar a tendência de quando todos os componentes serão concluídos ou analisar qual quantidade de componentes será concluída até certo mês.

Uma forma de representar as tendências de comportamento dos processos explicitamente é associar os conceitos de média móvel e limites de

controle com gráficos de tendências. Essa combinação pode ser muito útil na detecção de deslocamentos no comportamento do processo.

Considerando o exemplo, para analisar a tendência do comportamento do processo de desenvolvimento de componentes para reutilização, é necessário analisar a produção acumulada. Inicialmente, deve-se calcular a média móvel (*moving average*) para os valores acumulados, conforme mostra a Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Cálculo da média móvel considerando os valores acumulados.

<i>Mês</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Produção acumulada</i>	15	55	80	105	140	185	225	270	325	375
<i>mX (moving average)</i>		35	67,5	92,5	122,5	162,5	205	247,5	297,5	350

Os valores da média móvel devem, então, ser plotados em um gráfico média móvel *versus* tempo, como mostrado na Figura 5.14.

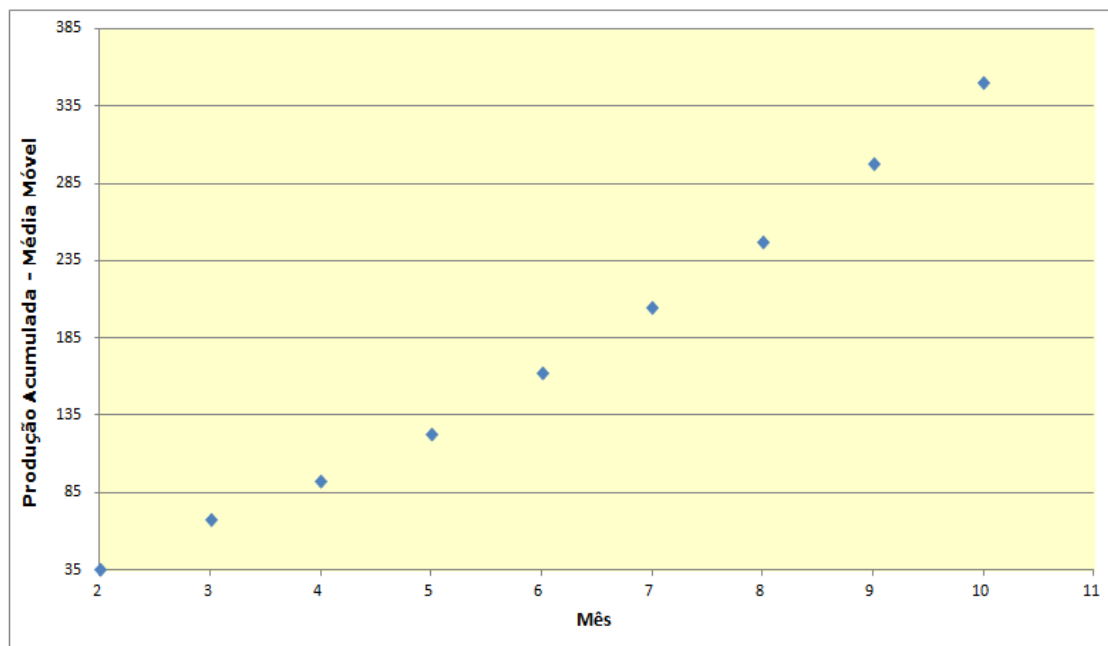


Figura 5.14 – Gráfico média móvel x tempo para a produção acumulada.

O próximo passo é calcular a tendência do processo. Isso pode ser feito por meio da análise de regressão dos valores da média móvel. Alternativamente, uma forma simples de identificar a tendência do processo é dividir os valores das médias móveis plotadas no gráfico em dois grupos e calcular a média de cada um desses grupos. Em seguida, deve-se plotar os valores obtidos no gráfico, cada um na metade de seu grupo, e traçar uma linha unindo-os.

No exemplo, como há nove valores de médias móveis, eles serão divididos em dois grupos, um com cinco valores e um com quatro. O primeiro grupo é

formado pelos valores 35, 67,5, 92,5, 122,5 e 162,5. O segundo grupo é formado pelos valores 205, 247,5, 297,5 e 350. O valor da média do primeiro grupo é 96 e do segundo é 275. Esses valores indicam a coordenada do eixo vertical (média móvel) dos pontos que precisam ser plotados no gráfico para a identificação da tendência do processo. Para identificar a coordenada do eixo horizontal (mês), deve ser calculado o ponto central de cada grupo em relação ao eixo horizontal, sendo 4 (ponto central entre os meses 2 e 6) para o primeiro grupo e 8,5 (ponto central entre os meses 7 e 10) para o segundo. Em seguida, uma linha unindo os dois pontos é traçada, indicando o comportamento do processo, como mostra a Figura 5.15.

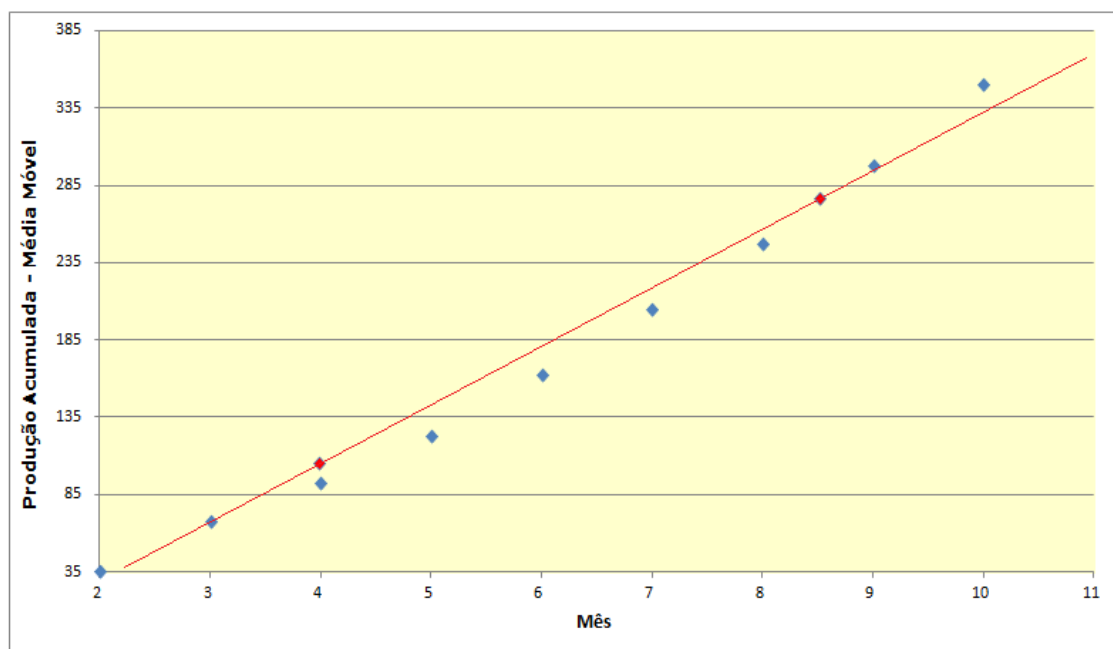


Figura 5.15 – Linha de tendência do comportamento do processo.

Identificada a tendência do processo, limites de controle podem ser inseridos. Isso permitirá verificar se a tendência de comportamento do processo irá ultrapassar os limites de controle ou não e, caso vá ultrapassar, quando isso irá ocorrer. Os limites de controle da tendência são obtidos adicionando-se (limite superior) ou diminuindo-se (limite inferior) da linha de tendência o valor de 3σ calculado para as médias móveis.

No exemplo, conforme apresentado no gráfico mX, o valor de 3σ é 17,75, uma vez que é essa a distância da linha central até os limites de controle. Na Figura 5.16 é apresentado o gráfico de tendência com os limites de controle. A linha sólida

representa a tendência de comportamento do gráfico e as linhas pontilhadas são os limites de controle.

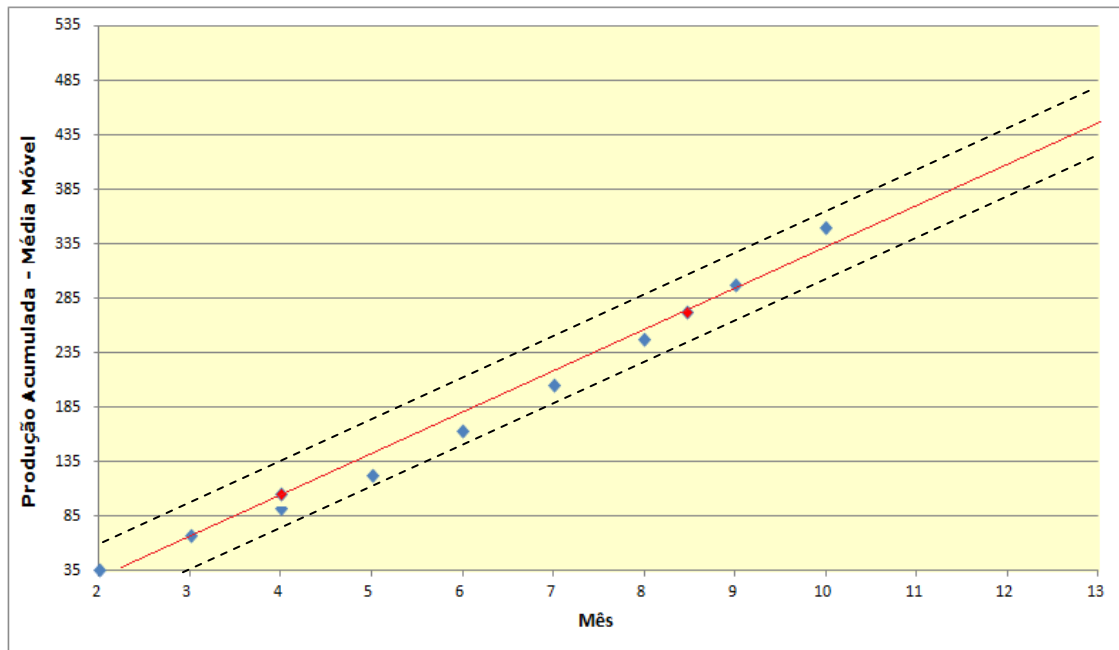


Figura 5.16 – Gráfico de tendência com limites de controle para componentes concluídos.

Analisando-se o gráfico da Figura 5.16 é possível perceber que, se o processo mantiver o comportamento atual, em doze meses terão sido concluídos cerca de 400 componentes. Além disso, se o processo mantiver seu comportamento, a tendência é que não ultrapasse os limites de controle, pois, como ilustra o gráfico, os pontos são internos aos limites calculados com base na tendência do comportamento do processo.

Gráficos desse tipo são úteis não apenas para monitorar a estabilidade do processo, mas também provêm informações sobre o *status* do processo em um projeto, permitindo uma comparação entre o progresso do desenvolvimento e os planos. Os limites de controle servem como um mecanismo de alerta para a gerência do projeto. Mas, os gráficos de tendência, sozinhos, não trabalham com limites, isso só é possível através de sua combinação com outros tipos de gráficos, como os gráficos de controle mXmR aqui apresentados.

A seguir são apresentados tipos de gráficos de controle para dados de atributos.

5.3.2 Gráficos de Controle para Dados de Atributos

Serão apresentados três tipos de gráficos para dados de atributos:

- a) Gráfico C (*C Chart*)
- b) Gráfico U (*U Chart*)
- c) Gráfico Z (*Z Chart*)

Os gráficos XmR e XMmR apresentados anteriormente, também podem ser utilizados para dados de atributos.

a) Gráfico C (*C Chart*)

Esse tipo de gráfico pode ser utilizado quando se deseja contar a ocorrência de eventos em uma mesma área de observação. Por exemplo, pode ser utilizado para representar o número de falhas registradas pelos usuários de uma determinada versão de um sistema ou o número de defeitos encontrados em um ponto de função. Note que, nesses casos, a área de observação na qual os eventos (problemas) são contados é constante, ou seja, o número de falhas registradas sempre será referente a uma mesma versão do sistema e o número de defeitos encontrados sempre será referente a um Ponto por Função.

Para utilizar o gráfico C, a ocorrência de defeitos na área de observação considerada deve ter um número relativamente baixo quando comparado com as oportunidades de ocorrência de defeitos nessa área. Por exemplo, a ocorrência de defeitos em um sistema pode ser vista como algo pouco frequente quando se pensa que, dados o tamanho e a complexidade de um sistema, há inúmeras oportunidades de um defeito ocorrer.

Diferente dos gráficos apresentados anteriormente, os quais possuem dois gráficos para representar os dados, o gráfico C representa os dados em apenas um. O mesmo ocorre com os gráficos U e Z, que serão apresentados adiante.

Cálculo dos limites:

$$\begin{aligned}UCL_c &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\CL_c &= \bar{c} \\LCL_c &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}\end{aligned}$$

Onde:

$$\bar{c} = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número de observações}}$$

Exemplo: Suponha que um gerente de projetos de software deseje analisar a quantidade de erros no sistema reportados pelo cliente diariamente. Os dados obtidos pelo gerente são apresentados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Número de erros no sistema reportados pelo cliente diariamente.

<i>Dia</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Número de erros</i>	1	2	1	3	0	2	2	1	3

Para construir o gráfico, o primeiro passo é calcular o limite central. Assim,

$$\bar{c} = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número de observações}} = \frac{1+2+1+3+0+2+2+1+3}{9} = 1,67.$$

O próximo passo é calcular os limites de controle.

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 1,67 + 3,88 = 5,55$$

$$NPL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 1,67 - 3,88 = 2,21$$

Construindo o gráfico, tem-se:

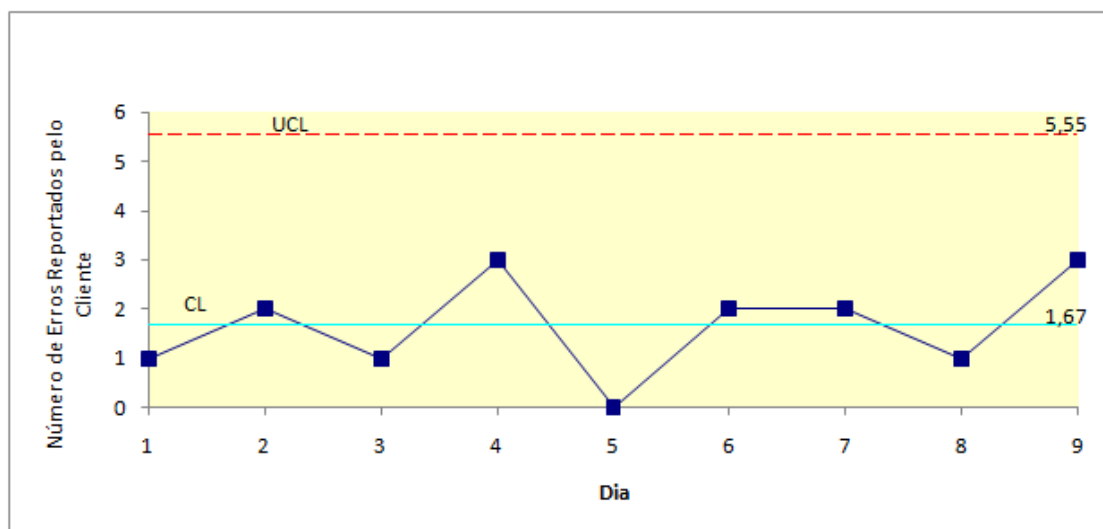


Figura 5.17 – C Chart para número de erros reportados pelo cliente.

Analisando-se o gráfico, percebe-se que o processo é estável. Como o limite de controle inferior é um número negativo e, para número de erros, isso não é possível, considera-se 0 (zero) como valor para o limite de controle inferior.

b) Gráfico U (U Chart)

Esse tipo de gráfico é similar ao gráfico C, mas considera que os eventos podem ser medidos em áreas de observação diferentes. Por exemplo, para analisar a quantidade de defeitos detectados em porções de código de tamanhos diferentes, o gráfico C não pode ser utilizado, pois a área de observação não é constante, uma

vez que os tamanhos das porções de código analisadas são diferentes. Em situações como essa, o gráfico U pode ser aplicado.

No gráfico U, antes de ser realizada a comparação entre os valores coletados, eles devem ser transformados em taxas como, por exemplo, número de defeitos por KSLOC.

Assim como no gráfico C, para utilizar o gráfico U, a ocorrência de defeitos na área de observação considerada deve ser relativamente baixa quando comparada com as oportunidades de ocorrência de defeitos nessa área.

A identificação dos valores no gráfico é realizada como nos demais gráficos anteriormente apresentados, porém, para o gráfico U os limites de controle superior e inferior são calculados para cada observação. Isso pode parecer estranho a princípio, mas justifica-se no fato de que cada observação é feita em uma área de observação diferente, com características próprias. Por exemplo, ao se analisar os defeitos detectados em diferentes módulos, deve-se considerar que cada módulo tem sua própria complexidade e pode ter sido desenvolvido por diferentes equipes.

Cálculo dos limites:

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{u}{a_i}}$$

$$CL_u = \bar{c}$$

$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{u}{a_i}}$$

Onde:

$$\bar{u} = \frac{\sum c_i}{\sum a_i}, \text{ com } i \text{ variando de } 1 \text{ a } k$$

c_i = valor da i-ésima observação

a_i = tamanho da i-ésima área de observação

k = número de observações

Exemplo: Suponha que um gerente deseje acompanhar a quantidade de defeitos detectados nas inspeções realizadas em um sistema. As inspeções são realizadas por caso de uso do sistema. As porções de código referentes aos casos de uso possuem tamanhos diferentes, assim, o tamanho do código do caso de uso deve ser utilizado para normalizar as medidas de defeitos, obtendo-se a taxa de defeitos por KSLOC em cada caso de uso implementado, o que permitirá a análise dos dados. Os dados utilizados pelo gerente são apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Dados das inspeções de código de casos de uso implementados.

Caso de Uso	Nº de defeitos	Tamanho do Código (SLOC)	Defeitos/KSLOC
1	28	645	43,41
2	12	570	21,05
3	5	201	22,39
4	9	553	16,27
5	13	654	19,88
6	6	247	24,29
7	3	168	17,86
8	6	493	12,17
9	18	750	24,00
10	12	486	24,69
11	9	586	15,36
12	9	519	17,34
13	3	187	16,04
14	12	754	15,92
15	12	375	32,00
16	4	468	8,55
17	18	628	28,66
18	9	604	14,90
19	4	225	17,78
20	4	468	8,55
Total	196	9581	-

O primeiro passo para a elaboração do gráfico, é calcular o limite central.

Aplicando-se $\bar{u} = \frac{\sum c_i}{\sum a_i}$, com i variando de 1 a 20, obtém-se

$$\bar{u} = \frac{196}{9,581} = 20,46 \text{ defeitos/KSLOC}.$$

Os limites de controle superior e inferior devem ser calculados para cada ponto, individualmente. Por exemplo, para o primeiro ponto tem-se:

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{a_i}} = 20,46 + 3\sqrt{\frac{20,46}{0,645}} = 37,36$$

$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{a_i}} = 20,46 - 3\sqrt{\frac{20,46}{0,645}} = 3,56$$

O mesmo deve ser feito para os demais pontos. Após determinados os limites de todos os pontos, constrói-se o gráfico, como mostra a Figura 5.20.

Na Figura 5.18 é possível observar que o primeiro ponto registrado encontra-se fora dos limites de controle, indicando instabilidade no processo de inspeção, cuja causa especial deve ser investigada.

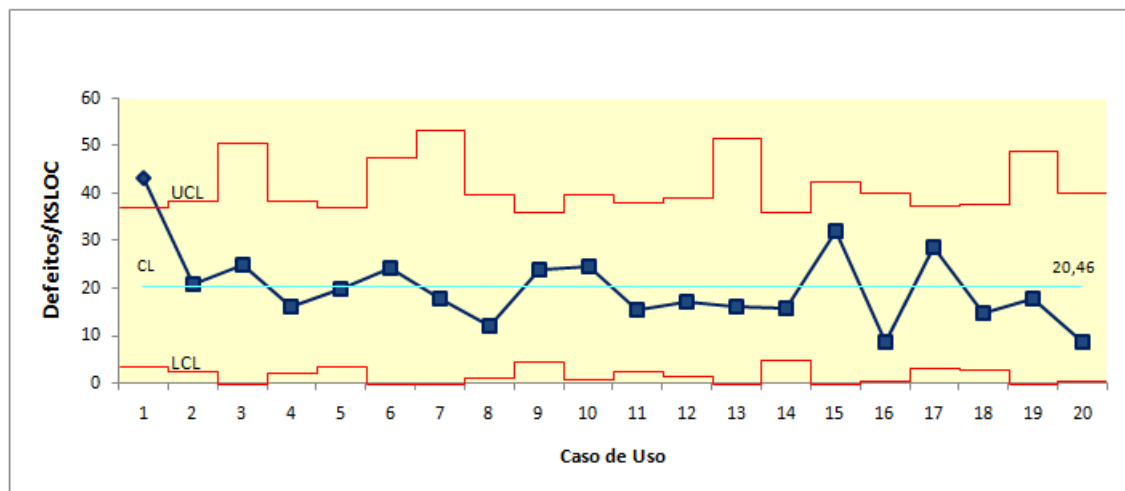


Figura 5.18 – Gráfico U para taxa de defeitos detectados na implementação de casos de uso.

c) Gráfico Z (Z Chart)

Esse tipo de gráfico é utilizado para converter os valores de um gráfico U para a escala baseada no desvio padrão (σ). Em algumas situações, essa conversão pode facilitar a visualização de tendências à instabilidade no comportamento do processo.

Equações para conversão:

$$\sigma u_i = \sqrt{\frac{u}{a_i}}$$

$$Z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\sigma u_i}$$

Com a conversão, os valores são obtidos em unidades sigma, assim, os limites de controle são dados pelos valores zero, para o limite central, e 3 e - 3, para os limites superior e inferior, respectivamente.

Exemplo: Para construir o gráfico Z para o exemplo apresentado no gráfico U, é preciso aplicar a fórmula $Z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\sigma u_i}$ a cada taxa de defeitos/KSLOC, para converter as taxas U em taxas Z.

Para a primeira taxa de defeitos/KSLOC, representada na primeira linha da última coluna da Tabela 5.14, cujo valor é $u_1 = 43,41$, tem-se:

$$\text{Cálculo do valor de } \sigma u \text{ para } u_1: \sigma u_i = \sqrt{\frac{u}{a_i}} = \sqrt{\frac{20,46}{0,645}} = 5,63$$

$$\text{Cálculo do valor de } Z \text{ para } u_1: Z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\sigma_{u_i}} = \frac{43,41 - 20,46}{5,63} = 4,08$$

Repetindo-se esse procedimento para os demais 19 casos de uso, serão obtidas as taxas de defeitos/KSLOC, normalizadas em unidades sigma.

A Figura 5.19 ilustra o gráfico Z para o exemplo, mostrando a causa assinalável acima do limite de controle superior 3. Nesse exemplo, apenas uma causa assinalável foi identificada, assim como sua representação no gráfico U. No entanto, quando há grande variação entre os valores das observações, o gráfico Z mostra-se mais eficiente na detecção de causas especiais do que o gráfico U.

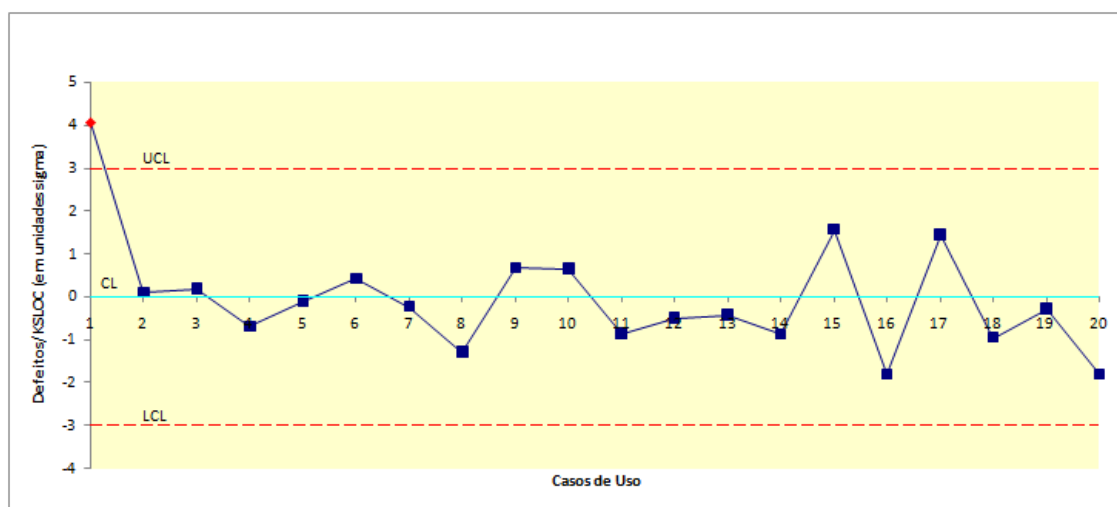


Figura 5.19 – Gráfico Z para defeitos/KSLOC por caso de uso implementado.

Conforme dito anteriormente, os gráficos XmR e XMmR também são aplicáveis a dados de atributos. Esses gráficos poderiam ser utilizados nos exemplos apresentados para os gráficos C e U. Nesses casos, os resultados obtidos seriam, praticamente, os mesmos.

5.4 Considerações Finais do Capítulo

Com tantos tipos de gráficos de controle disponíveis, diante de uma situação, é preciso analisar o tipo de dados que está sendo tratado e o contexto em que a situação está inserida para determinar o tipo de gráfico de controle mais adequado. Vale ressaltar que algumas situações permitirão o uso de mais de um tipo de gráfico. Em caso de dúvidas ou de resultados questionáveis, sempre que possível, deve-se aplicar mais de um tipo de gráfico e comparar os resultados.

Na Tabela 5.15 é apresentado um resumo dos oito tipos de gráficos de controle apresentados neste capítulo.

Tabela 5.15 – Tipos de gráficos de controle (adaptado de [BARCELLOS, 2009c]).

Tipo de Gráfico de Controle	Características	Exemplo de situação onde se aplica
Para Dados de Variáveis		
<i>X-bar e R</i>	Adequado para analisar o comportamento do processo através de subagrupamentos de medidas obtidas, basicamente, sob as mesmas condições, em determinados períodos de tempo. O gráfico <i>X-bar (average)</i> analisa a média dos valores em cada subagrupamento e o gráfico <i>R (range)</i> indica a variação interna dos subgrupos. Se limita a subgrupos formados por até 10 observações.	Um gerente deseja analisar a quantidade de horas semanais que são dedicadas em atividades de manutenção. As horas de trabalho com manutenção são registradas diariamente. Para uma análise semanal, os dados devem ser subagrupados por semana. Cada subgrupo tem 5 observações (uma para cada dia da semana).
<i>X-bar e S</i>	Aplicado nas mesmas situações que <i>XbarR</i> , mas também considera subgrupos com mais de 10 observações.	Um gerente deseja analisar a taxa de inspeção de código das <i>releases</i> de um de seus produtos. O produto tem 5 <i>releases</i> e em cada uma delas foram realizadas 13 inspeções. Como a análise desejada é por <i>release</i> , os dados devem formar 5 subgrupos de 13 observações.
<i>XmR</i>	Adequado para analisar o comportamento de um processo quando uma mesma medida é coletada frequentemente. Nesse tipo de gráfico de controle o gráfico <i>X</i> representa os valores individuais das medidas analisadas e o gráfico <i>mX (moving range)</i> representa a variação móvel existente entre dois valores consecutivos.	Um gerente deseja analisar o esforço diário despendido com manutenção no último mês. Os dados do esforço são registrados diariamente. Nesse caso, o gerente deseja analisar uma única variável (esforço) medida frequentemente, sem necessidade de criar subgrupos.
<i>XMmR</i>	Similar ao <i>XmR</i> , porém para analisar as variações é utilizada a mediana (<i>XmR</i> usa a média), que pode ser mais sensível às causas assinaláveis, principalmente quando a variação móvel (<i>moving range</i>) possui alguns valores que podem elevar ou diminuir os limites desnecessariamente.	Um gerente deseja analisar o esforço diário despendido com manutenção no último mês e observa que, entre os valores coletados, há três que destoam consideravelmente de seus antecessores.
<i>mXmR</i>	Segue a mesma filosofia dos gráficos <i>XmR</i> e <i>XMmR</i> , porém, além de considerar a variação móvel (<i>moving range</i>), considera a média móvel (<i>moving average</i>). É adequado para avaliar as tendências do comportamento dos processos ao longo do tempo, considerando valores acumulados.	Um gerente de projetos de software deseja analisar o progresso do desenvolvimento das unidades de um software. Para isso, mensalmente, devem ser consideradas, acumuladamente, as unidades que foram concluídas desde o início do projeto até o momento atual.

<i>Tipo de Gráfico de Controle</i>	<i>Características</i>	<i>Exemplo de situação onde se aplica</i>
<i>Para Dados de Atributos</i>		
<i>C Chart</i>	Adequado para representar a contagem de eventos em áreas de observação constantes.	Um gerente de projetos de software deseja analisar a quantidade de falhas de um determinado software registradas diariamente.
<i>U Chart</i>	Adequado para representar a contagem de eventos que podem ser medidos em áreas de observação diferentes. Por esse motivo, os limites de controle superior e inferior são calculados para cada observação. Antes de ser realizada a comparação entre os valores coletados, eles devem ser transformados em taxas.	Um gerente de projetos de software deseja analisar a quantidade de defeitos encontrados por módulo em um determinado software, sendo que cada módulo tem um tamanho diferente.
<i>Z Chart</i>	Converte os valores de um <i>U Chart</i> para a escala baseada em sigma. É adequado para visualizar tendências à instabilidade no comportamento do processo por ser mais sensível quando há grandes diferenças entre os valores das observações.	Idem U Chart.
<i>XmR e XMmR</i>	Idem <i>XmR</i> e <i>XMmR</i> para dados variáveis, porém, aplicados a dados atribuídos.	

Capítulo 6

Controle Estatístico de Processos e a Gerência Quantitativa de Projetos na Prática

6.1 Introdução

Nos capítulos 4 e 5 foi apresentado o conhecimento básico necessário para realizar o controle estatístico de processos. Para que uma organização inicie, de fato, o controle estatístico de seus processos, é necessário que os subprocessos que serão submetidos ao controle estatístico tenham sido selecionados, que a base de medidas seja adequada para armazenar e fornecer os dados necessários ao controle estatístico, que as medidas e seus dados sejam adequados ao controle estatístico de processos e que a organização tenha o conhecimento necessário para representar e analisar os dados coletados.

O controle estatístico de processos é realizado em dois níveis: no nível organizacional e no nível dos projetos. No nível organizacional, o desempenho dos processos é analisado considerando dados coletados em diversos projetos da organização e, uma vez estabilizado, o desempenho esperado para o processo é estabelecido. No nível dos projetos, o comportamento dos processos é analisado no contexto de cada projeto, verificando-se se o desempenho do processo no projeto é aderente ao desempenho estabelecido no âmbito organizacional.

Neste capítulo serão tratados aspectos da execução propriamente dita do controle estatístico de processos no contexto da melhoria de processos de software. Na seção 6.2 é abordada a determinação das *baselines* de desempenho, que descrevem os limites de desempenho dos processos estáveis. Na seção 6.3 mostra-se como calcular a capacidade dos processos. Na seção 6.4 é discutida a obtenção de modelos de desempenho de processo. Na seção 6.5 são abordadas a gerência estatística de processos e a gerência quantitativa dos projetos. Na seção 6.6 discute-se a realização de melhorias em processos estáveis e capazes e, finalmente, na seção 6.7 são feitas as últimas considerações do capítulo.

6.2 Definição das *Baselines* de Desempenho

Conforme apresentado no Capítulo 4, um processo estável é um processo repetível e, com isso, pode ter seu desempenho previsto. Quando um processo torna-se estável, uma *baseline* que caracteriza seu comportamento atual pode ser definida. Esse comportamento descreve o desempenho com o qual as próximas execuções do processo serão comparadas, pois é o desempenho que se espera que o processo apresente quando executado.

A *baseline* de um processo estável é descrita por meio de seus limites de controle. Assim, uma vez que o comportamento de um processo seja analisado por meio de gráficos de controle e se mostre estável, os limites de controle calculados e representados no gráfico caracterizam a *baseline* de desempenho daquele processo. Essa *baseline* deve ser associada à definição do processo para a qual foi estabelecida e às medições que foram consideradas no cálculo dos limites. Em outras palavras, para cada *baseline* deve ser possível identificar a definição do processo e as medições consideradas para estabelecê-la. Assim, apesar de, usualmente, a *baseline* ser referenciada apenas como os valores dos limites de controle, deve ficar subentendido que, na verdade, ela é definida pelos limites de controle, pela definição do processo e pelas medições que geraram a distribuição que resultou nos valores calculados.

Apesar de ser possível utilizar gráficos de controle para verificar a presença de causas especiais em um conjunto de dados que tenham a partir de três observações [FLORAC e CARLETON, 1999], para estabelecer a primeira *baseline* de um processo, é desejável que seja utilizado um volume razoável de dados coletados em execuções do processo. Segundo FLORAC e CARLETON (1999), para medidas que dizem respeito a subgrupos, é desejável que haja de 25 a 30 subgrupos. Segundo WHELLER [WHELLER, 1997 *apud* WELLER e CARD, 2008], 15 subgrupos são suficientes. Para medidas que consideram valores individuais, é desejável que haja de 40 a 45 observações [FLORAC e CARLETON, 1999].

Considerando que o volume de dados requerido para estabelecer uma *baseline* é relativamente alto, é comum que no início sejam estabelecidas *baselines* a partir de um volume menor de dados (usualmente, a partir de 20 observações, embora possam ser utilizados menos valores). Essas *baselines* são ditas *trial*

baselines, pois, uma vez que consideram menos dados do que o volume estatisticamente recomendado, há risco de que não representem fielmente o comportamento do processo.

Suponha que um gerente deseje realizar a análise do comportamento do processo *Levantamento de Requisitos* utilizando a medida *taxa de alteração de requisitos*, dada pela razão entre o número de requisitos alterados e o número de requisitos aprovados para o projeto. Para analisar o comportamento desse processo, o gerente selecionou dados coletados em diversos projetos com as mesmas características e os representou em um gráfico de controle, como mostra a Figura 6.1.

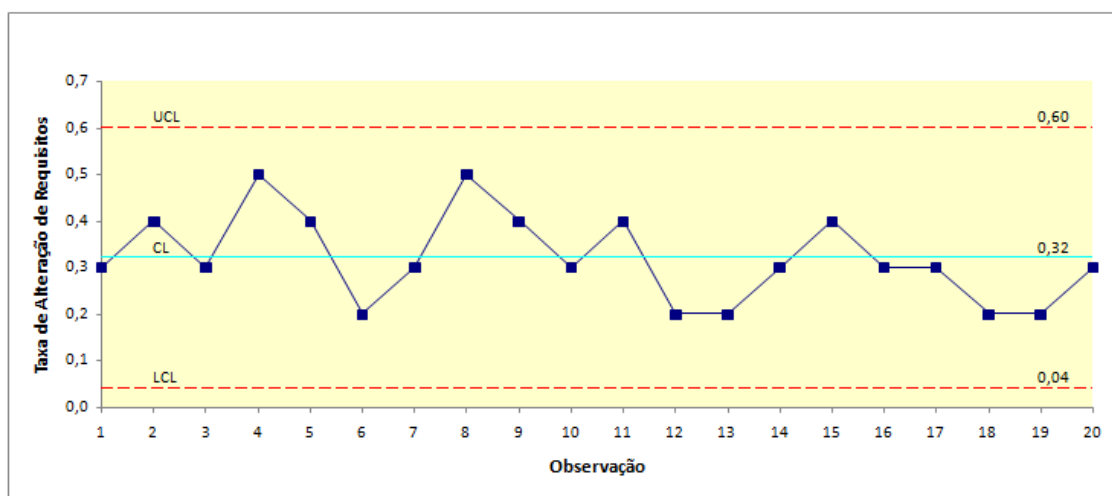


Figura 6.1 – Comportamento do processo *Levantamento de Requisitos* descrito pela medida *taxa de alteração de requisitos*.

Observando-se o gráfico, nota-se que o processo *Levantamento de Requisitos*, quando analisado pela medida *taxa de alteração de requisitos*, apresenta comportamento estável. Assim, uma *baseline* de desempenho pode ser estabelecida, sendo caracterizada pelos valores 0,04 e 0,60. Isso significa que se espera que a execução do processo *Levantamento de Requisitos* nos projetos, resulte em uma *taxa de alteração de requisitos* que estará entre 0,04 e 0,60.

6.2.1 Atualização de Baselines de Desempenho

Ao longo do tempo, as *baselines* estabelecidas para os processos devem ser atualizadas, considerando novos dados das execuções dos processos nos projetos. Mas, nem sempre que novos dados são coletados, a *baseline* deve ser revista.

A primeira condição para atualizar uma *baseline* é que tenha sido coletado volume suficiente de dados. Segundo WHEELER e CHAMBERS [2010] não há um valor exato para esse volume, embora sugira-se pelo menos oito novos dados da execução dos processos. Além disso, é necessário que os novos dados indiquem que houve mudança no comportamento do processo.

Por exemplo, suponha que tenham sido coletados oito novos dados para o processo *Levantamento de Requisitos* do exemplo anterior. Esses dados foram plotados juntamente com os demais e são mostrados no gráfico da Figura 6.2 (observações 21 a 28).

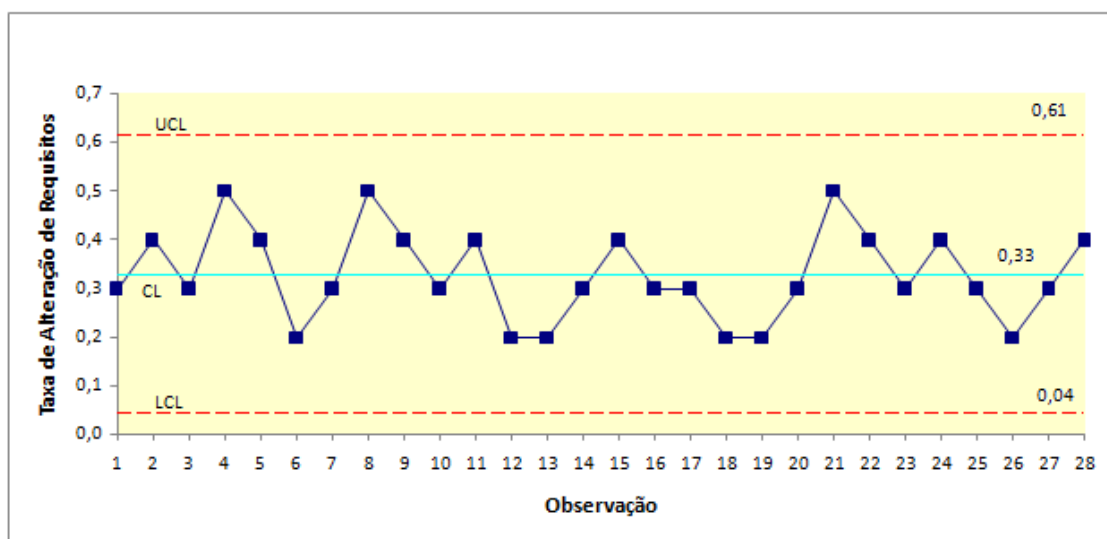


Figura 6.2 – Inclusão de novos valores para a medida *taxa de alteração de requisitos*.

No gráfico da Figura 6.2, os limites de controle foram calculados utilizando os dados de todas as observações. Note que os valores desses limites (0,04 e 0,61) praticamente não diferem dos valores dos limites da *baseline* de desempenho (0,04 e 0,60) e que a distribuição dos novos dados é consistente com a distribuição dos dados iniciais. Isso indica que o processo continua se comportando segundo o desempenho descrito pela *baseline* e que ela não deve ser alterada.

Suponha, agora, que com as várias execuções do processo de levantamento de requisitos nos projetos, os membros das equipes tenham acumulado conhecimento inerente às suas atividades e, com o passar do tempo, a taxa de alteração de requisitos nos projetos tenha diminuído. Na Figura 6.3 é apresentado um gráfico incluindo oito novos dados (observações 29 a 36). Os limites de

controle apresentados foram calculados considerando todos os dados presentes no gráfico.

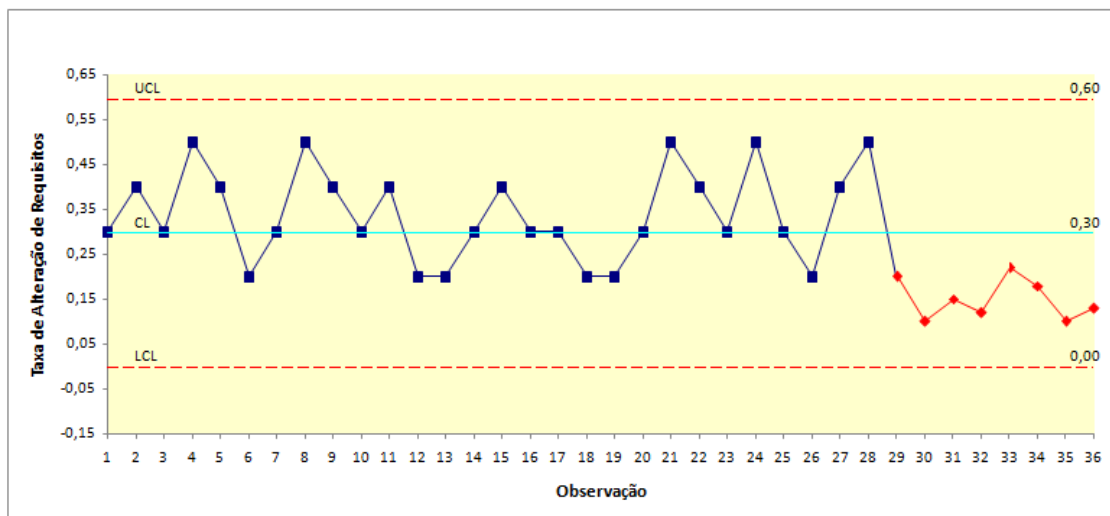


Figura 6.3 – Redução na taxa de alteração de requisitos nas últimas oito observações.

Apesar de não ter havido mudança significativa nos valores dos limites de controle (0 e 0,60), quando comparados com os limites da *baseline* (0,04 e 0,60), a mudança no comportamento do processo nas últimas oito observações é perceptível. Nesse caso, esses valores podem ser utilizados para atualizar a *baseline* do processo.

Cabe aqui uma ressalva: apesar de oito pontos serem considerados suficientes para que seja feita uma revisão da *baseline*, é necessária uma análise do contexto em que esses valores foram coletados para que seja possível identificar se, realmente, o desempenho do processo mudou ou se o processo apresenta múltiplas variações¹². Como no exemplo foi dito que houve melhoria de desempenho devido ao conhecimento acumulado pela equipe, uma nova *baseline* pode ser estabelecida. Caso o gerente ainda não esteja seguro de que o desempenho do processo realmente mudou, ele pode aguardar o registro de novos dados para, só então, recalculer os limites da *baseline*.

A Figura 6.4 apresenta o gráfico de controle para os valores das oito últimas observações do gráfico da Figura 6.3.

De acordo com o novo comportamento do processo, os limites da nova *baseline* de desempenho são 0 e 0,31. Embora no gráfico o limite inferior (-0,01)

¹² Processos com múltiplas variações serão tratados na seção 6.2.2.

esteja representado, assume-se que o limite inferior da *baseline* é zero, uma vez que a taxa de alteração de requisitos é sempre um número positivo.

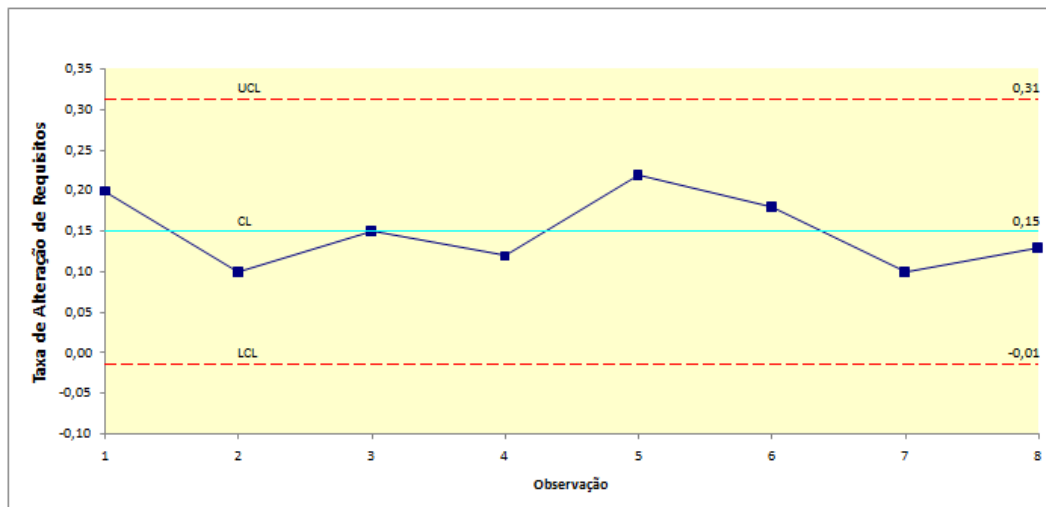


Figura 6.4 – Novo comportamento do processo.

6.2.2 Um Processo, Várias Baselines

Um mesmo processo pode apresentar comportamentos diferentes dependendo do contexto em que é executado. Por exemplo, o processo *Planejamento de Projeto* pode ter desempenhos diferentes quando executado em projetos de tamanhos diferentes. Dessa forma, um mesmo processo pode ter mais de uma *baseline*, cada uma caracterizando o desempenho do processo em um dado contexto.

Suponha que um gerente esteja analisando o comportamento do processo *Inspeção* utilizando a medida *KSLOC/hora de preparação para inspeção*, coletada para cada componente inspecionado. O gerente representou em um gráfico de controle os dados coletados para os últimos 34 componentes inspecionados (Figura 6.5). O gráfico de controle revelou comportamento instável e o gerente notou que os valores coletados para os componentes 13 a 22 apresentavam comportamento diferente dos demais.

Ao investigar as causas do comportamento irregular, o gerente descobriu que os componentes 13 a 22 tinham tamanho superior a 10 KSLOC, enquanto que os demais componentes não ultrapassavam esse tamanho. Assim, o gerente decidiu separar os dados e construir dois gráficos de controle distintos, um para os componentes de até 10 KSLOC e outro para os componentes maiores que 10 KSLOC. Esses gráficos são apresentados nas Figuras 5.6 e 5.7, respectivamente.

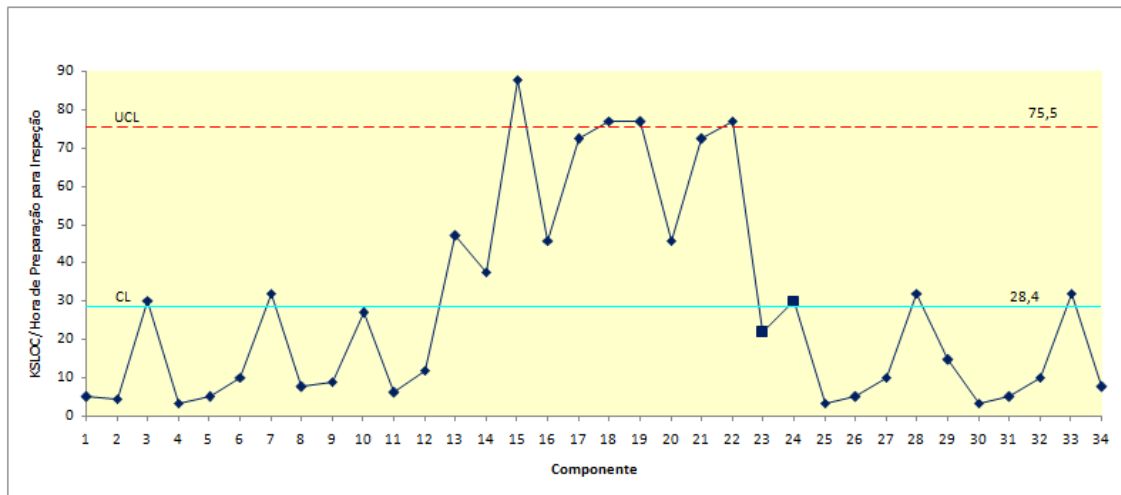


Figura 6.5 – Comportamento do processo Inspeção segundo a medida KSLOC/hora de preparação para inspeção.

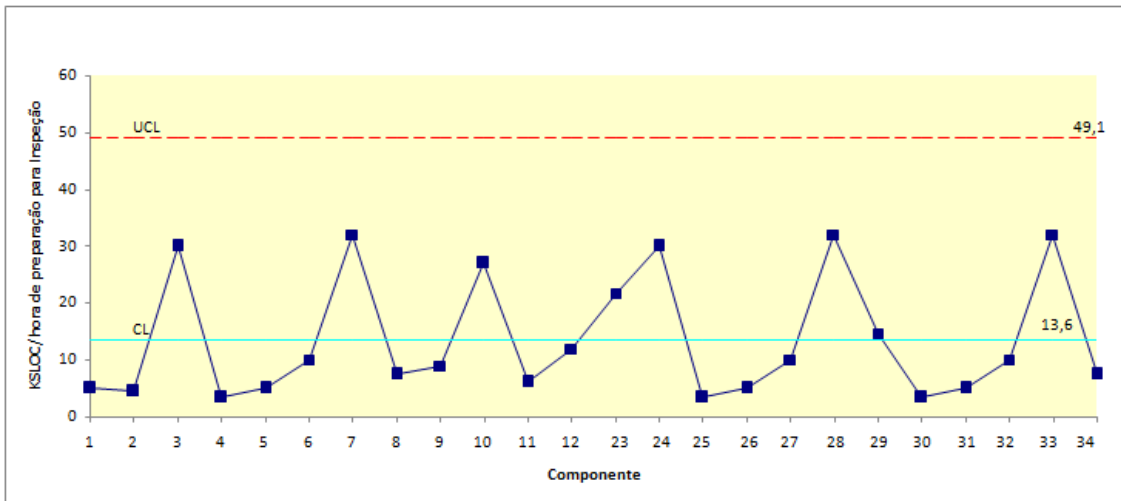


Figura 6.6 – Comportamento do processo Inspeção em componentes de até 10 KSLOC.

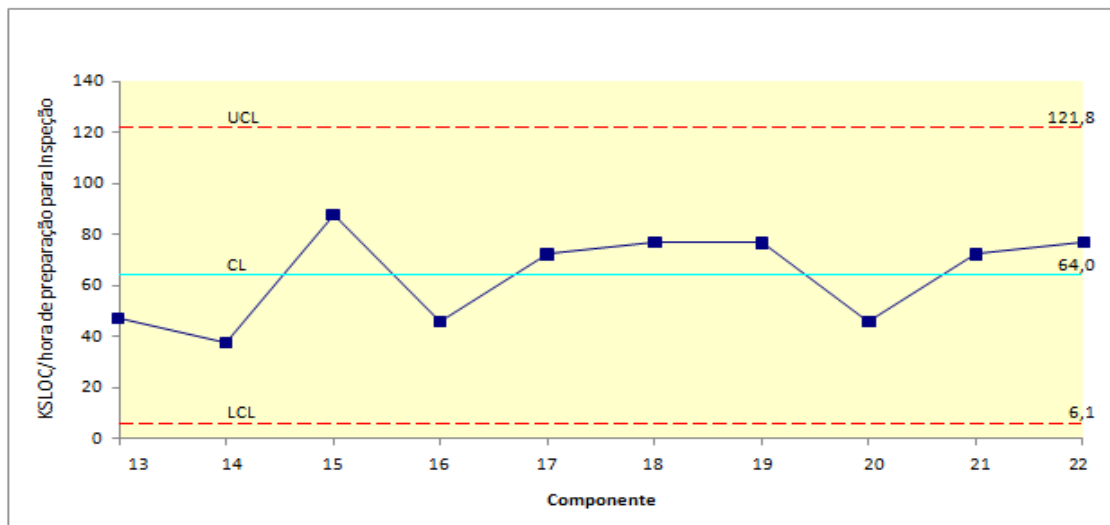


Figura 6.7 – Comportamento do processo Inspeção em componentes maiores que 10 KSLOC.

O comportamento do processo em ambos os casos mostrou-se estável, levando à percepção de que o processo Inspeção comporta-se de maneira diferente, quando analisado pela medida KSLOC/hora de preparação para inspeção, dependendo do tamanho do componente inspecionado. Dessa forma, duas *baselines* devem ser estabelecidas para o processo, uma para cada faixa de tamanho de componente.

6.2.3 Nova Definição de Processo, Nova Baseline

Como dito no início desta seção, quando se estabelece uma *baseline*, ela deve estar associada a uma definição de um processo. A definição de um processo inclui as atividades e subatividades que o compõem, os papéis requeridos, os recursos necessários, os artefatos requeridos (insumos) e produzidos (produtos) e os procedimentos (métodos, técnicas e roteiros) a serem adotados [FALBO, 2005]. Quando a definição do processo muda, seu comportamento tende a mudar. Assim, quando a definição do processo é alterada, o comportamento do processo deve ser novamente analisado para verificar se uma nova *baseline* deve ser estabelecida.

Normalmente, pequenas mudanças na definição de um processo, como, por exemplo, a mudança do *layout* de um dos artefatos produzidos ou a alteração da ordem de algumas atividades, não provocam mudanças significativas em seu comportamento. Nesses casos a *baseline* inicialmente estabelecida pode ser mantida. Porém, mudanças mais expressivas, como a alteração de uma técnica utilizada ou a inclusão de um novo procedimento, podem alterar significativamente o comportamento do processo, exigindo o estabelecimento de novas *baselines*.

Suponha que em uma organização de software, para planejar os projetos, as estimativas sejam realizadas pelos gerentes com base em seu conhecimento e experiência. Com o objetivo de analisar o comportamento do processo *Planejamento do Projeto*, o gerente da área de projetos representou em um gráfico de controle dados coletados para a medida *aderência ao cronograma*. O comportamento do processo mostrou-se estável, tendo sido estabelecida a *baseline* de desempenho do processo, cujos limites foram dados pelos valores 0,3 e 1,1, como mostra a Figura 6.8.

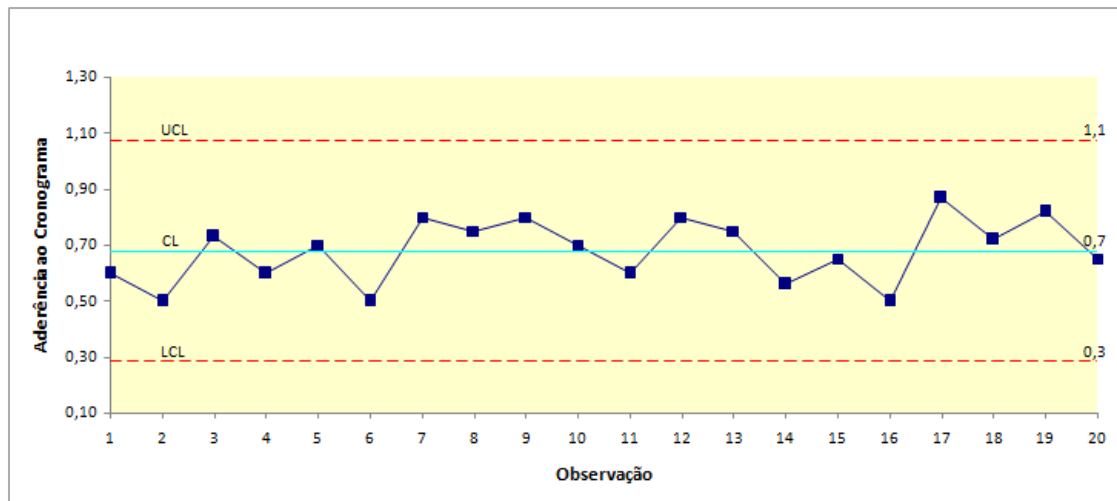


Figura 6.8 – Aderência ao cronograma na primeira definição do processo *Planejamento do Projeto*.

Suponha, agora, que a organização tenha decidido adotar análise de pontos por função para estimar o tamanho dos projetos e utilizá-lo com base para estimar prazos e custos. Não tendo se atentado para a mudança na definição do processo, o gerente da área de software plotou todos os dados coletados nas execuções da nova definição do processo no mesmo gráfico que os dados coletados na definição de processo anterior. O gráfico obtido é apresentado na Figura 6.9.

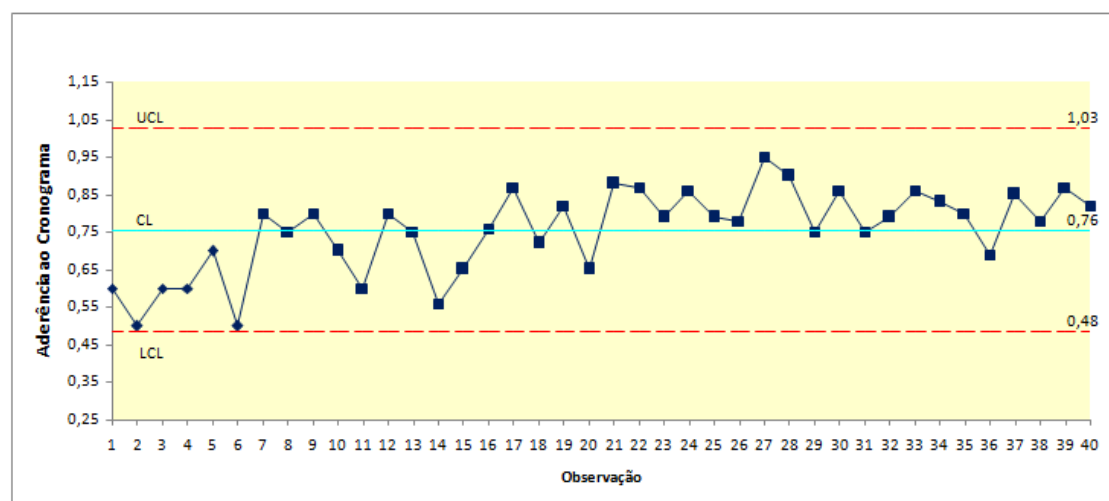


Figura 6.9 – Mudança no comportamento devido à mudança na definição do processo *Planejamento do Projeto*.

Observando o gráfico, o gerente percebeu a mudança no comportamento do processo e, ao buscar suas causas, notou que a mudança se deu a partir do uso da segunda definição do processo. Assim, o gerente selecionou os dados referentes àquela definição e os representou em um novo gráfico de controle (Figura 6.10),

tendo sido estabelecida uma *baseline*, diferente da *baseline* da primeira definição do processo.

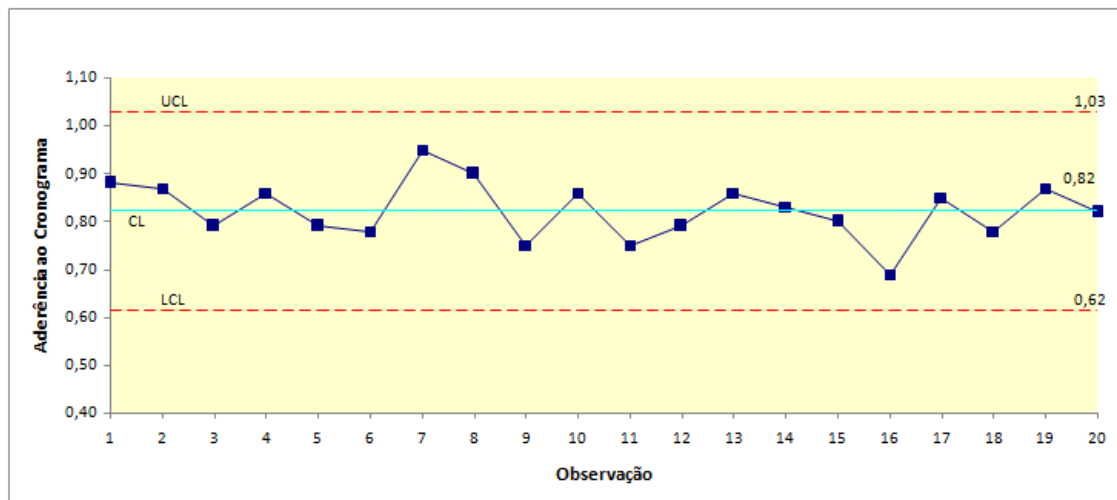


Figura 6.10 – Aderência ao Cronograma na segunda definição do processo *Planejamento do Projeto*.

Note que os valores dos limites das *baselines* calculadas nos gráficos das Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 são diferentes, especialmente, os limites inferiores. Uma vez que a *baseline* de um processo descreve o desempenho que se espera em suas execuções, caso o gerente não estabelecesse uma *baseline* para cada definição do processo, o desempenho que seria esperado para as próximas execuções do processo (dado pelos limites 0,48 e 1,03) não seria condizente com seu desempenho real (dado pelos limites 0,62 e 1,0).

6.3 Determinação da Capacidade

Conforme discutido no Capítulo 4, processos estáveis não são, necessariamente, bons processos. A estabilidade apenas indica que o processo é repetível, não se incumbindo de diferenciar se o que está se repetindo é um bom ou mau desempenho. Para analisar se o desempenho de um processo é bom ou não, a partir do momento que o processo torna-se estável, é necessário verificar se ele é capaz.

Um processo é dito capaz se seu desempenho atende ou excede às expectativas da organização e do cliente, ou seja, se seu desempenho permite alcançar os objetivos técnicos e de negócio para ele estabelecidos. O desempenho do processo, indicado por sua *baseline* de desempenho, é a *voz do processo*, e o

desempenho desejado para o processo, especificado pela organização com base em seus objetivos, é a *voz do cliente*.

Uma maneira simples de analisar a capacidade de um processo estável é utilizar um histograma de frequência que represente os valores coletados para o processo durante um período de estabilidade. No histograma devem ser representados os limites de controle da *baseline* do processo, para caracterizar seu desempenho e representar a voz do processo. Também devem ser representados os limites de especificação, que identificam os valores que se deseja que o processo alcance, representando a voz do cliente.

Representados os limites da *baseline* e de especificação, é possível visualizar a relação entre eles. Limites da *baseline* completamente dentro dos limites de especificação indicam um processo capaz. O contrário indica que o processo não é capaz de alcançar o desempenho esperado. A Figura 6.11 ilustra o *layout* básico do histograma para análise de capacidade de processo. Na figura, USL e LSL indicam, respectivamente, os limites de especificação superior (*Upper Specification Limit*) e inferior (*Lower Specification Limit*), que caracterizam a voz do cliente.

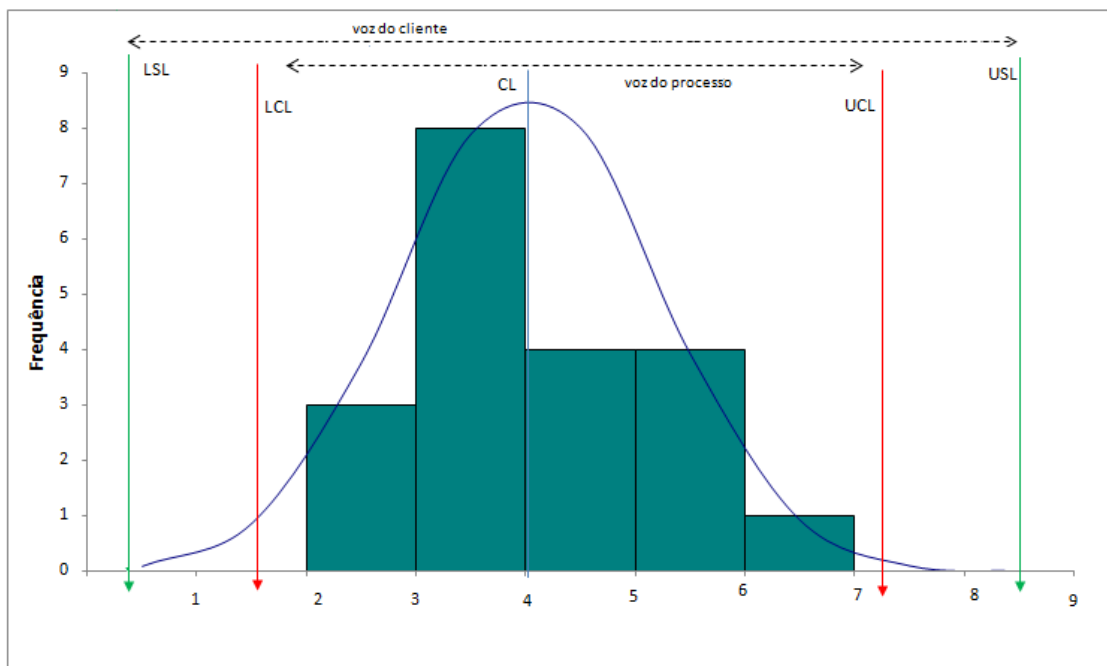


Figura 6.11 - Layout de histograma refletindo a capacidade de processo.

Para exemplificar, considere a seguinte situação: o gerente da área de desenvolvimento de software de uma organização analisou o comportamento do processo *Resolução de Problemas* utilizando a medida *tempo médio para resolução*

de problema, que mede semanalmente o tempo médio decorrido entre o registro de um problema e sua solução. Os dados coletados (listados na Tabela 6.1) foram plotados em um gráfico de controle (Figura 6.12), que mostrou que o processo é estável, tendo sido estabelecida uma *baseline* de desempenho, caracterizada pelos valores dos limites de controle.

Tabela 6.1 – Tempo médio (em horas) para resolução de problema.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TMRP	10,1	8,7	9,1	8,0	8,6	8,9	9,0	8,6	8,0	7,9	9,8	10,2	8,9	8,6	10,3	9,3	9,0	9,6	9,1	8,8

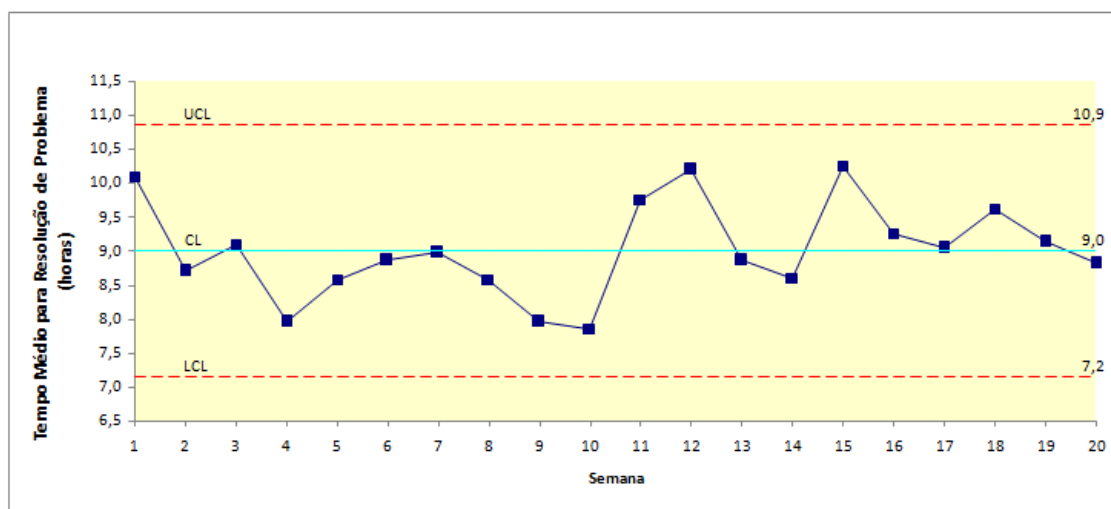


Figura 6.12 – Gráfico de controle para *tempo médio para resolução de problema*.

Suponha, agora, que a organização tenha estabelecido que o tempo médio de resolução de problema deve ser de, no máximo, 12 horas. Além disso, o tempo mínimo não pode ser menor que 4 horas, visto que, por mais simples que seja o problema, a solução adotada deve passar por avaliação de qualidade. Para analisar a capacidade de o processo alcançar esse objetivo, o gerente construiu um histograma para os dados coletados e representou os limites da *baseline* de desempenho do processo (voz do processo), bem como os limites de especificação (voz do cliente). O histograma construído é apresentado na Figura 6.13.

Analisando-se o histograma é possível perceber que o processo é capaz, uma vez que seus limites estão dentro dos limites de especificação estabelecidos.

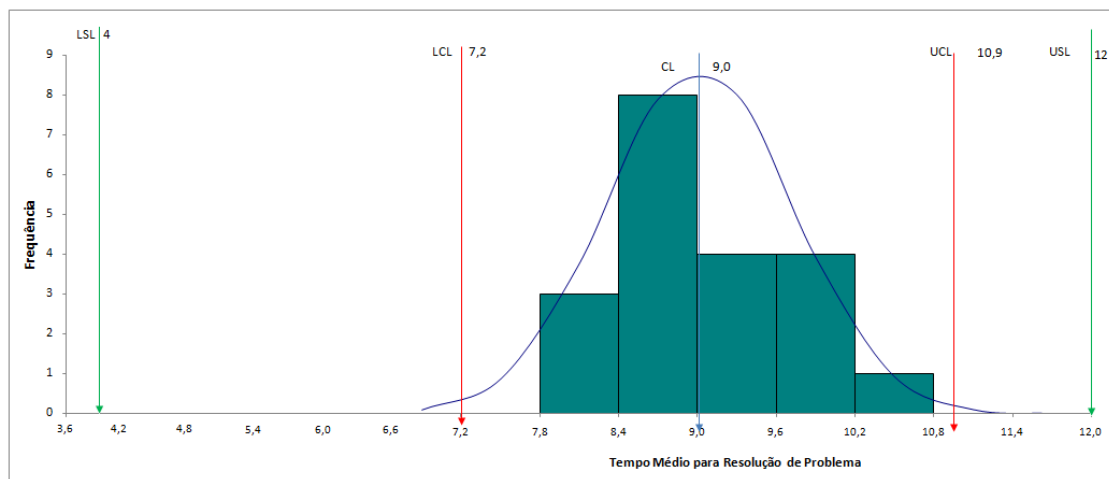


Figura 6.13 – Histograma de capacidade do processo *Resolução de Problemas*.

O uso do histograma para analisar a capacidade facilita a visualização da distribuição dos dados. Em situações onde o comportamento do processo não tenha sido analisado anteriormente em um gráfico de controle, o histograma também permite verificar se o processo estável. Mas, vale reforçar que os gráficos de controle são mais apropriados para esse fim.

Também é possível utilizar os gráficos de controle para analisar graficamente a capacidade do processo. Para isso, os limites de especificação do processo devem ser adicionados, como mostra a Figura 6.14.

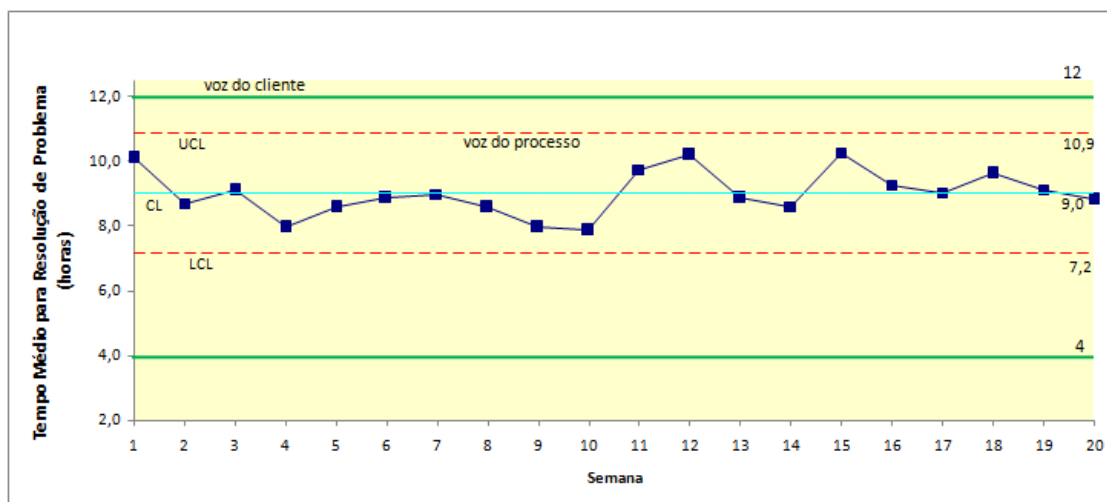


Figura 6.14 – Gráfico de controle com limites de controle e de especificação representados.

A utilização do histograma ou do gráfico de controle permite uma análise visual da capacidade dos processos. Mas, é possível quantificá-la. Para isso, pode

ser utilizado o *índice de capacidade* (C_p), dado pela razão entre as amplitudes dos limites de especificação e limites da *baseline* do processo. Assim: $C_p = \frac{USL - LSL}{UCL - LCL}$.

Quando os limites de especificação têm amplitude maior que os limites naturais, C_p é maior que 1, indicando que o processo é capaz. Em contrapartida, C_p será menor que 1 quando os limites de especificação tiverem amplitude menor que os limites naturais, indicando que o processo não é capaz.

Para o exemplo das Figuras 6.13 e 6.14, tem-se:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{UCL - LCL} = \frac{12 - 4}{10,9 - 7,2} = 2,16.$$

Apesar de ser possível calcular o índice de capacidade de um processo sem representar seu histograma, tal ação não é recomendada, pois pode-se obter um índice de capacidade maior que 1 e, ainda assim, o processo não ser capaz. No exemplo, se os limites de especificação fossem 6 e 10, C_p continuaria sendo maior que 1 ($C_p = 1,08$), porém, ao representar os limites em um histograma, fica visível que parte do comportamento do processo se encontra acima do limite de especificação superior, conforme mostra a Figura 6.15.

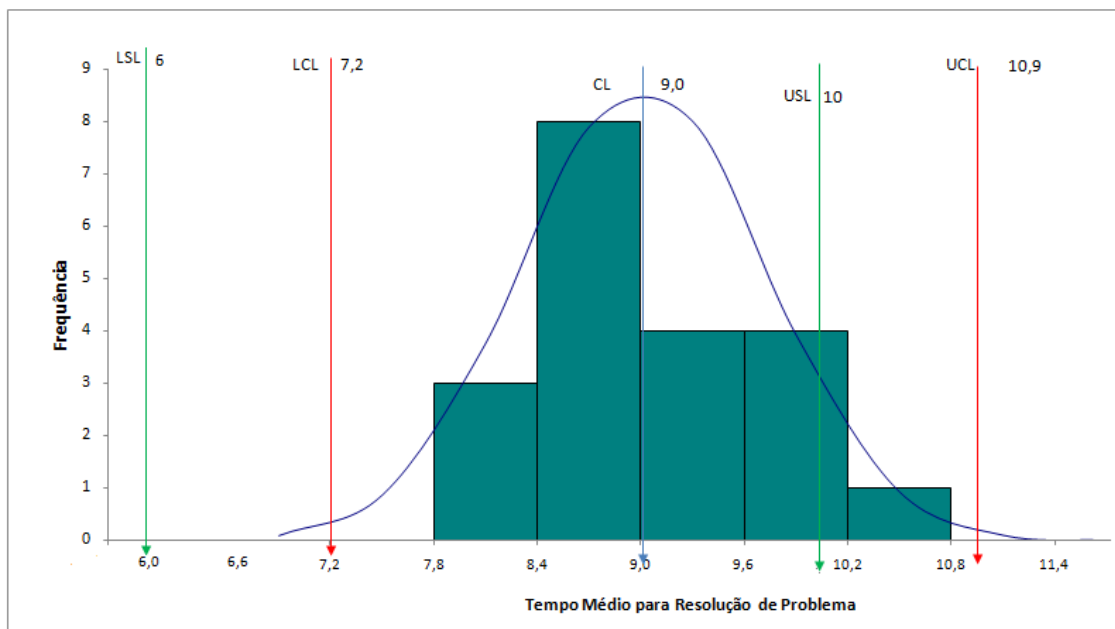


Figura 6.15 – Histograma para processo com $C_p > 1$ e não capaz.

Algumas abordagens de qualidade como, por exemplo, o Six Sigma [SIVIY *et al.*, 2005], incluem a análise visual e utilizam $C_p \geq 2$ para gerar maior confiança de que o desempenho especificado será atendido.

6.4 Obtenção de Modelos de Desempenho

Com base nos dados utilizados para estabelecer as *baselines* de desempenho dos processos, modelos de desempenho podem ser definidos para determinar relações quantitativas entre atributos dos processos, ou seja, entre medidas.

O objetivo dos modelos de desempenho é permitir a previsão de desempenho futuro dos processos a partir das relações existentes entre seus atributos. Assim, modelos de desempenho são utilizados principalmente nas estimativas que servem de base para o planejamento e na monitoração dos projetos [SOFTEX, 2011c].

Modelos de desempenho envolvem variáveis independentes e dependentes. As variáveis dependentes, como o próprio nome diz, têm seus valores alterados dependendo do valor da variável independente. Por exemplo, o valor do esforço despendido em um projeto depende do tamanho do projeto. Nesse caso, tamanho é variável independente e esforço é variável dependente.

No contexto do controle estatístico de processos, modelos de desempenho são estabelecidos apenas para processos estáveis, pois, para estabelecer relações quantitativas entre medidas, elas devem apresentar comportamento repetível. Assim, uma vez estabelecidas *baselines* para os processos, modelos de desempenho podem ser obtidos. Quando novos dados são coletados, os modelos de desempenho podem ser revistos. Caso os novos dados levem à definição de novas *baselines*, um novo modelo de desempenho deve ser estabelecido.

Como exemplo¹³, suponha que em uma organização o gerente de projetos deseje identificar a relação existente entre o tamanho dos casos de uso e o esforço despendido em sua especificação. Considere que o processo *Desenvolvimento de Requisitos* é estável quando analisado pela medida *produtividade de especificação de caso de uso*, que mede o esforço para especificar um ponto de caso de uso. Os dados que foram considerados para estabelecer a *baseline* do processo *Desenvolvimento de Requisitos* são apresentados na Tabela 6.2

Tabela 6.2 – Esforço para especificação de caso de uso e tamanho dos casos de uso .

Caso de Uso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Esforço	31,8	28,6	37,3	30,8	40,4	33,5	37,3	43,1	32,3	37,1	33,8	33,5	34,5	33,0	38,4	33,6	40,1	32,3	42,6	35,6
Tamanho	13	12	14	12	16	14	14	15	12	15	12	14	15	12	15	14	15	12	16	13

¹³ Adaptado de [CAMPOS *et al.*, 2007].

Para obter o modelo de desempenho, os dados devem ser utilizados em uma ferramenta estatística que avalie se há relação entre eles e se é possível representá-la por meio de uma função matemática. Gráficos *Scatter* são adequados para esse propósito. Na Figura 5.16 é apresentado o gráfico *Scatter* para os dados da Tabela 6.2. A função matemática que representa o modelo de desempenho que quantifica a relação entre as medidas esforço de especificação e tamanho do caso de uso é dada por $Esforço = 2,32 * Tamanho + 3,572$.

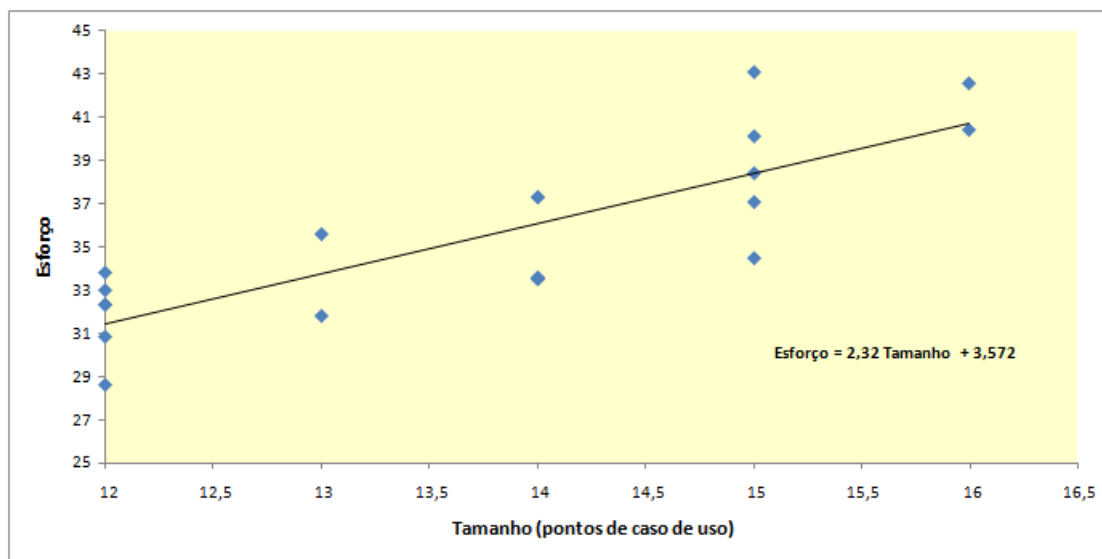


Figura 6.16 – Modelo de desempenho relacionando esforço de especificação e tamanho de caso de uso.

6.5 Gerência Estatística de Processos e Gerência Quantitativa de Projetos

No contexto da melhoria de processos de software, o controle estatístico de processos é realizado nos âmbitos organizacional e dos projetos. No nível organizacional ocorre a *gerência estatística dos processos*, ou seja, o desempenho dos processos é analisado para que seja possível identificar o comportamento esperado para os processos, quando forem executados nos projetos. Nesse nível, os dados coletados ao longo dos projetos são utilizados para descrever o comportamento dos processos da organização. Dados de diversos projetos que tenham o mesmo perfil, ou seja, que sejam similares entre si, são agrupados e são aplicados métodos do controle estatístico para analisar o comportamento dos processos e estabelecer *baselines* e modelos de desempenho.

A Figura 6.17 ilustra a utilização de dados de projetos para iniciar a análise do comportamento dos processos e estabelecimento das primeiras *baselines* e modelos de desempenho.

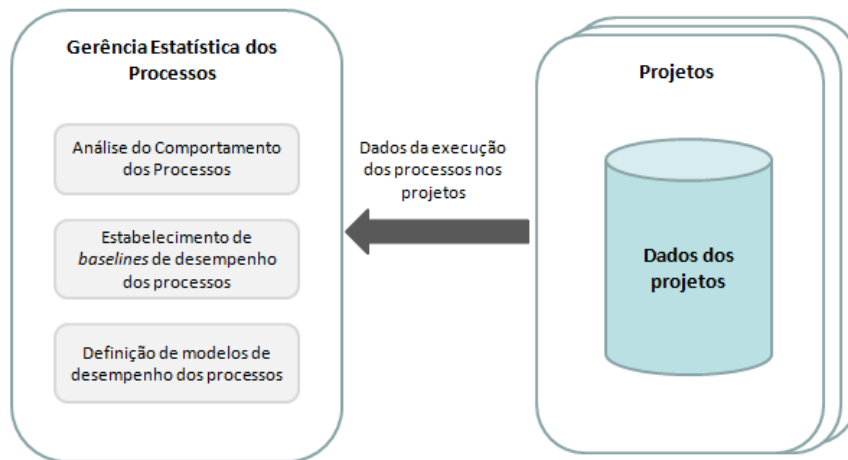


Figura 6.17 – Iniciando a gerência estatística dos processos.

No nível dos projetos ocorre a *gerência quantitativa dos projetos*, que consiste em gerenciar o desempenho dos processos nos projetos, utilizando as *baselines* e modelos de desempenho estabelecidos no nível organizacional. Assim, em cada projeto, o desempenho dos processos no projeto é comparado com o desempenho para ele esperado e, caso não seja condizente, ações corretivas devem ser realizadas. Ainda, o planejamento do projeto pode ser realizado utilizando os modelos de desempenho definidos no nível organizacional.

A Figura 6.18 ilustra a utilização das *baselines* e modelos de desempenho para gerenciar quantitativamente os projetos.

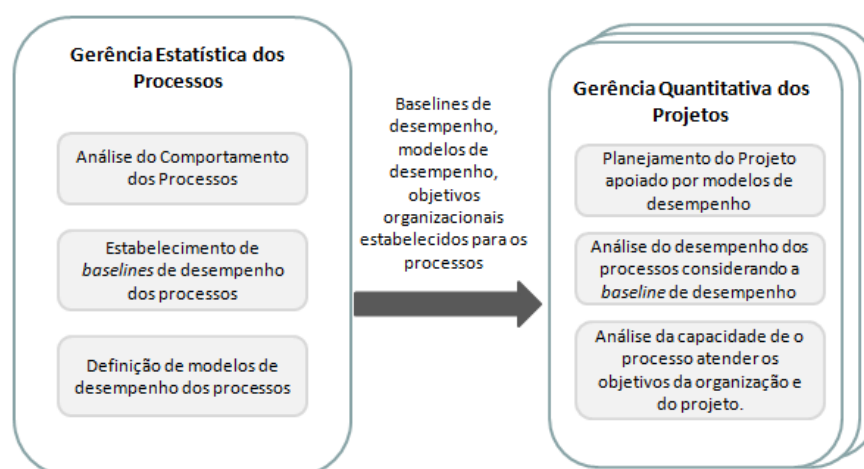


Figura 6.18 – Uso de *baselines* e modelos de desempenho na gerência quantitativa de projetos.

É importante perceber que a relação entre a gerência estatística de processos e a gerência quantitativa de projetos é constante e via de mão dupla, ou seja, a gerência estatística de processos produz resultados que são utilizados como insumos pela gerência quantitativa de projetos e vice-versa. Se por um lado, as *baselines* e modelos de desempenho definidas pela análise de desempenho de processos são utilizados na gerência quantitativa dos projetos, esta, por sua vez, fornece resultados atuais sobre o desempenho dos processos, através dos dados coletados em cada projeto gerenciado quantitativamente, que se tornarão parte dos dados para o refinamento das *baselines* e modelos de desempenho dos processos organizacionais.

A Figura 6.19 ilustra o inter-relacionamento entre a gerência estatística de processos e a gerência quantitativa de projetos.

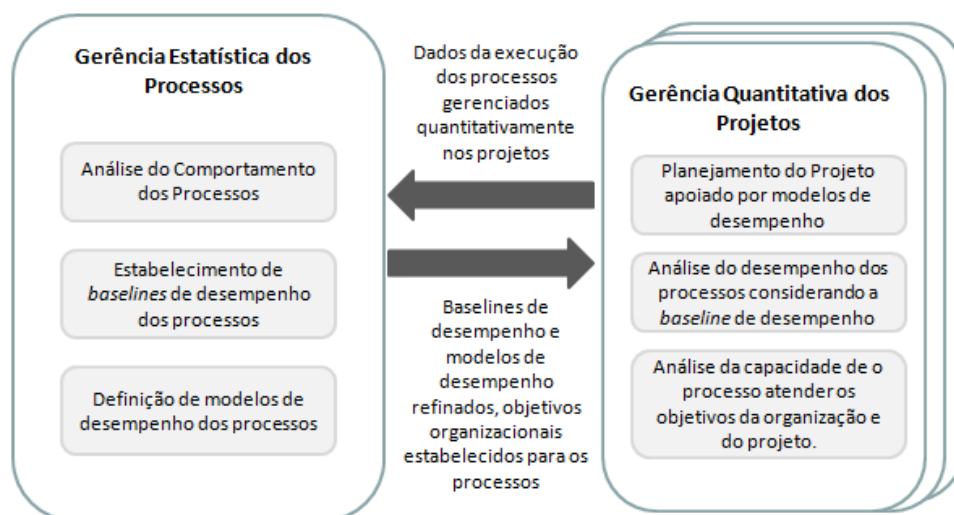


Figura 6.19 - Inter-relacionamento constante entre a gerência estatística de processos e a gerência quantitativa de projetos.

Como exemplo de aplicação da gerência estatística de processos e da gerência quantitativa de projetos, considere que uma organização tenha selecionado o processo de *Testes* para ser submetido ao controle estatístico de processos e que uma das medidas selecionadas para descrever o comportamento desse processo tenha sido *taxa de detecção de defeitos*, dada pelo número de defeitos detectados por ponto de função.

Para iniciar a gerência estatística dos processos, a organização utilizou dados coletados para essa medida em diversos projetos da organização e os representou em um gráfico de controle (Figura 6.20).

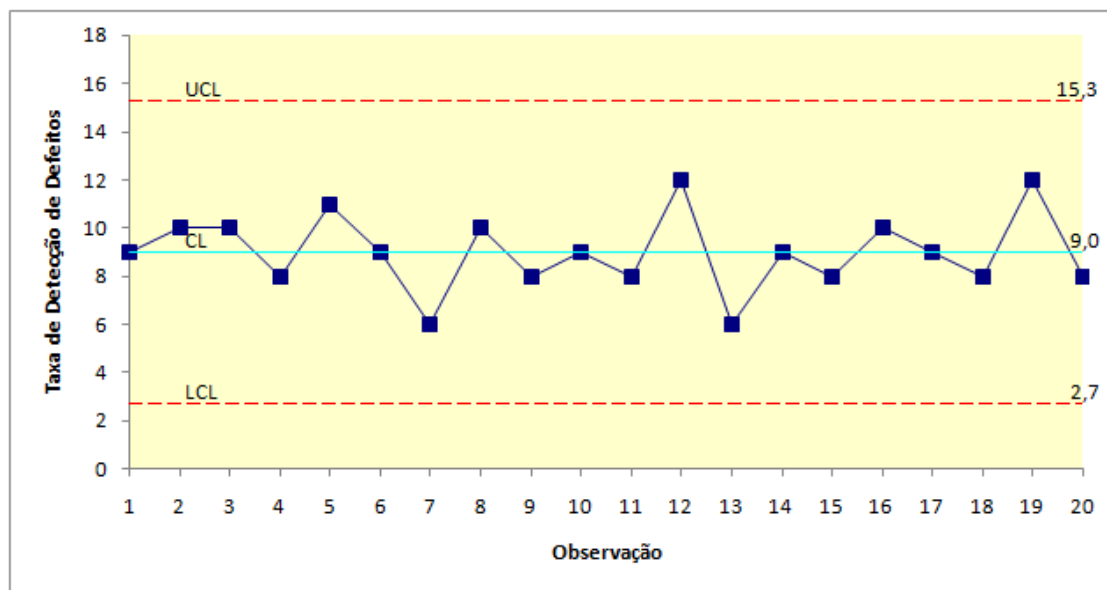


Figura 6.20 – Desempenho do processo *Testes* segundo a medida *taxa de detecção de defeitos*.

Conforme mostra o gráfico da Figura 6.20, o processo *Testes*, quando descrito pela medida *taxa de detecção de defeitos* é estável e os limites de controle apresentados no gráfico caracterizam a *baseline* de desempenho do processo. Assim, espera-se que em um teste sejam detectados de 2,7 a 15,3 defeitos por ponto de função.

Essa primeira parte do exemplo, diz respeito ao que foi ilustrado na Figura 6.17, ou seja, o uso de dados de projetos para estabelecer a *baseline* de desempenho inicial para processo selecionado para o controle estatístico.

Suponha, agora, que um novo projeto esteja sendo iniciado na organização e que o processo de Testes faça parte do processo definido para esse projeto. Para gerenciar o comportamento do processo nesse projeto, o gerente realiza a gerência quantitativa do projeto e verifica se o processo está se comportando conforme esperado. Para isso, o gerente plota os dados da execução do processo em gráficos de controle, usando os limites da *baseline* como limites de controle para os dados.

Suponha, ainda, que na primeira execução do processo no projeto, a taxa de detecção de defeitos tenha sido 12, ou seja, o processo comportou-se como esperado. Na segunda execução, a taxa de detecção de defeitos foi 2, não correspondendo ao desempenho esperado. Nesse caso, o gerente do projeto deve investigar as causas dessa variação e tratá-las. Na Figura 6.21 é apresentado o gráfico com os dados da execução do processo, tendo como limites de controle os

limites da *baseline*. Note que o valor da segunda observação está fora do limite de controle inferior.

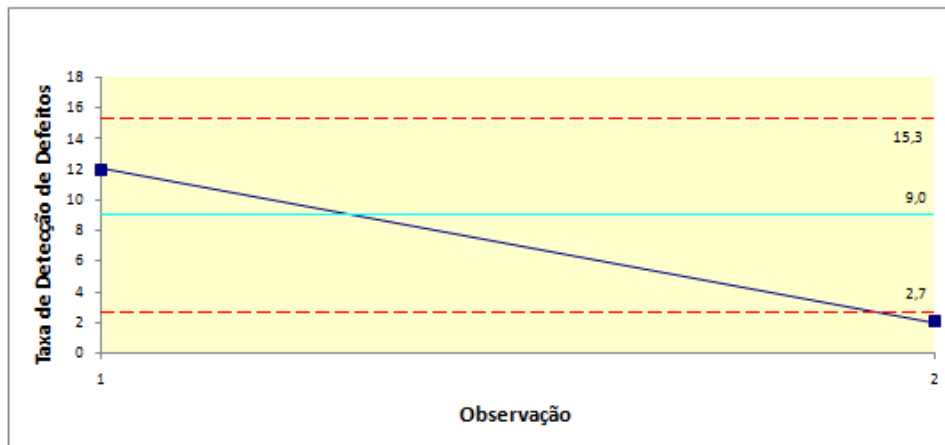


Figura 6.21 – Dados do desempenho do processo *Testes* em um dado projeto.

Essa segunda parte do exemplo, diz respeito ao que foi ilustrado na Figura 6.18, isto é, o uso da *baseline* estabelecida na gerência estatística de processos para gerenciar quantitativamente o projeto.

Resgatando uma discussão que foi realizada no início do Capítulo 4, quando se falou sobre o poder do controle estatístico de processos, uma das vantagens destacadas foi a possibilidade de se perceber desvios de comportamento dos processos tão logo ocorram. No exemplo apresentado, assim que o comportamento do processo de Testes apresentou-se diferente do esperado, o gerente pôde identificar o desvio, propiciando a investigação de causas e adequação do processo ainda durante o curso do projeto. Além disso, caso existisse um modelo de desempenho relacionando a taxa de detecção de defeitos nos testes com a taxa de defeitos escapados (defeitos detectados pelo cliente após receber o produto) e o gerente soubesse o esforço associado à correção de um defeito escapado, ele poderia prever os custos adicionais para o projeto por não se ter uma taxa de detecção de defeitos adequada.

Por fim, considere que, além do projeto citado anteriormente, outros dois projetos tenham sido realizados na organização e seus processos definidos tenham incluído o processo de Testes. Ao longo dos projetos, foram coletados novos dados para a taxa de detecção de defeitos, que podem ser utilizados para refinar a *baseline* de desempenho. A Figura 6.22 mostra a inclusão dos novos valores (observações 21 a 26) ao conjunto de dados inicial.

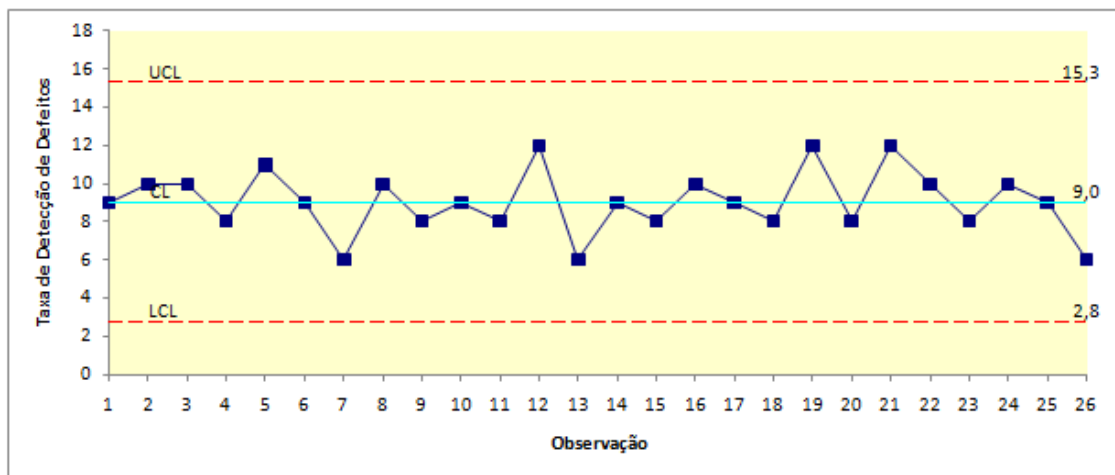


Figura 6.22 – Inclusão de novos dados do processo de Testes.

Conforme discutido na seção 6.2, o refinamento da *baseline* de desempenho a partir de novos dados é realizado quando os limites de controle encontrados considerando os novos dados diferem significativamente dos anteriores ou quando os novos dados mostram alteração no comportamento do processo. No exemplo, os limites resultantes praticamente não diferem dos limites da *baseline* e sabe-se que não houve mudança no processo, então não é necessário refinar a *baseline*.

6.6 Melhoria do Desempenho de Processos Estáveis e Capazes

O controle estatístico de processos apoia a melhoria dos processos através da análise de seu comportamento e identificação de aspectos que precisam ser melhorados. Mas, é importante ressaltar que utilizar o controle estatístico de processos não pode ser uma ação isolada. É desejável que sua utilização seja realizada no contexto de um programa de melhoria de processos, caso contrário, seus resultados tendem a ser pontuais e passageiros.

Todos os processos são executados para produzir resultados. A percepção de que um processo deve ser melhorado, usualmente, tem início quando os resultados por ele alcançados não atendem aos objetivos para ele estabelecidos. No entanto, processos que produzem resultados condizentes com os objetivos também podem ser melhorados, para que atinjam novos e melhores objetivos. Logo, processos podem ser continuamente melhorados.

Quando se fala em melhoria contínua de processos baseada no controle estatístico, deve-se atentar a cinco aspectos [FLORAC e CARLETON, 1999]:

- a) *Desempenho*: para melhorar um processo é preciso conhecer seu desempenho, ou seja, é preciso saber o que o processo está produzindo no momento em relação a qualidade, quantidade, custos e tempo.
- b) *Estabilidade*: conhecido o desempenho, é preciso analisar se ele é previsível, ou seja, se o processo é estável e, se não for, é preciso estabilizá-lo.
- c) *Conformidade*: a estabilidade de um processo é obtida quando seu comportamento é repetível dentro de limites de variação estabelecidos. Para isso, é preciso garantir que o processo seja apoiado suficientemente para que sua execução possa ser repetida por membros distintos da organização. Tal apoio inclui, dentre outros, definição clara e completa das atividades do processo e ferramental de suporte à sua execução.
- d) *Capacidade*: um processo estável não necessariamente é capaz de alcançar os objetivos para ele determinados. Processos não capazes devem ser modificados através da realização de ações de melhoria que apoiem o alcance aos objetivos da organização.
- e) *Melhoria*: processos capazes, que produzem resultados satisfatórios, podem, ainda, ser melhorados para que resultados ainda melhores sejam produzidos.

Em linha com esses aspectos, que indicam que conhecer o desempenho dos processos é o primeiro passo para melhorá-los, FLORAC e CARLETON (1999) propuseram um *framework* para medição do comportamento de processos. Na verdade, o *framework* proposto extrapola o que é sugerido por seu nome, uma vez que, além de contemplar a medição do comportamento dos processos, inclui passos que orientam à melhoria contínua. Esse *framework* pode ser visto como um ciclo para melhoria contínua baseada no controle estatístico de processos. O *framework* é ilustrado na Figura 6.23.

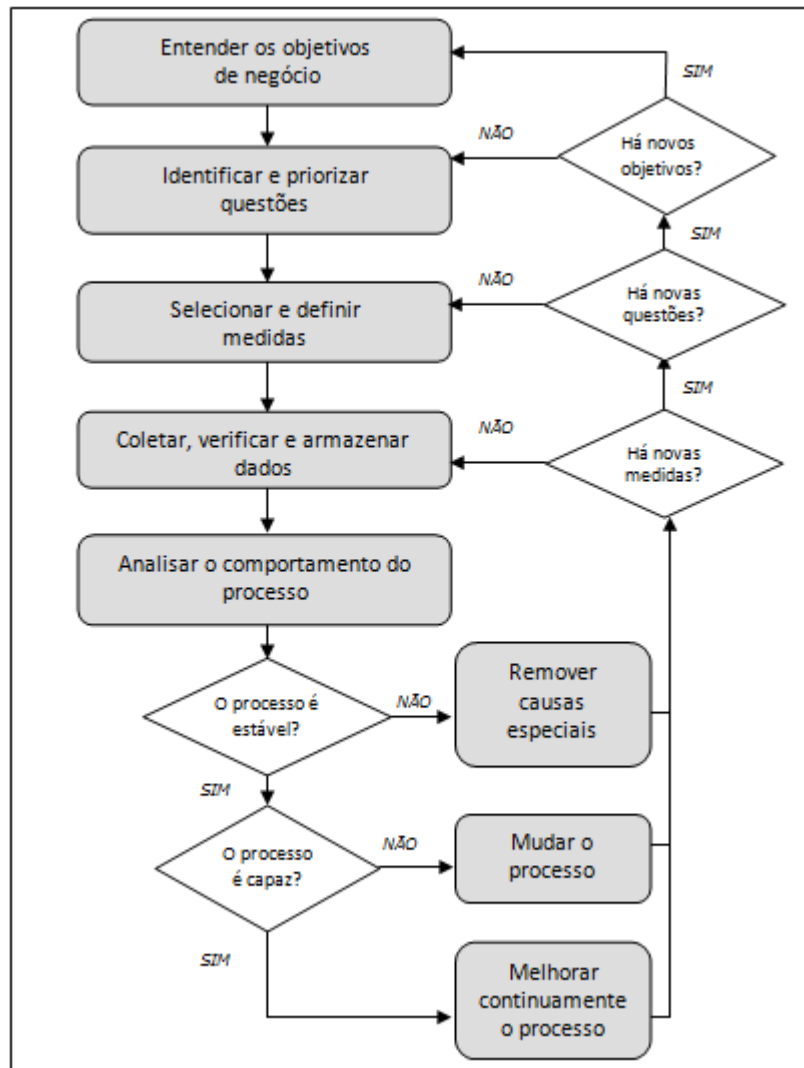


Figura 6.23 – *Framework* para medição do comportamento de processos [FLORAC e CARLETON, 1999].

Conforme dito anteriormente neste livro, o controle estatístico de processos pode ser visto como uma evolução do processo de medição. Observando-se atentamente a Figura 6.23 é possível perceber a relação entre as atividades do *framework* e o processo de medição. As atividades *Entender os objetivos de negócio*, *Identificar e priorizar questões* e *Selecionar e Definir medidas* correspondem ao planejamento da medição. As atividades *Coletar, verificar e armazenar dados* e *Analisar comportamento do processo* correspondem à execução da medição, ou seja, à coleta e análise dos dados. As demais atividades dizem respeito à melhoria de processo propriamente dita.

A seguir, as atividades do *framework* são sucintamente descritas.

- a. *Entender os objetivos de negócio*: consiste em entender como os objetivos de negócio, metas, planos e estratégias da organização se relacionam com os processos de software. Ou seja, consiste na identificação das relações entre processos e objetivos organizacionais.
- b. *Identificar e priorizar questões*: consiste em identificar quais são as necessidades de informação críticas para determinar se o processo será capaz de alcançar os objetivos de negócio estabelecidos.
- c. *Selecionar e definir medidas*: consiste em selecionar e definir as medidas que serão utilizadas para caracterizar o desempenho dos processos.
- d. *Coletar, verificar e armazenar dados*: consiste em coletar os dados para as medidas definidas, verificar se são corretos e armazená-los.
- e. *Analisar o comportamento dos processos*: consiste em utilizar os métodos estatísticos apropriados para representar em gráficos de controle os dados coletados para as medidas, permitindo, assim, a análise do comportamento do processo. A análise do comportamento do processo pode levar a três direções:
 - *Remover causas especiais*: consiste em realizar ações para tratar as causas especiais e tornar o comportamento do processo estável.
 - *Mudar o processo*: consiste em realizar alterações no processo, tratando suas causas comuns, para que ele seja capaz de produzir os resultados necessários ao alcance dos objetivos.
 - *Melhorar continuamente o processo*: consiste em realizar ações que levem o processo a produzir resultados cada vez melhores.

É muito importante entender a natureza contínua da melhoria. Assim, uma vez que os processos estão estáveis e são capazes, o papel do controle estatístico de processos não se encerra. Quando um processo torna-se capaz, um novo ciclo de melhoria pode (e, normalmente, deve) ser iniciado, estabelecendo-se novos objetivos para que o processo possa ser melhorado continuamente.

Muitas organizações, conhecidas pela excelência de seus programas de qualidade, estabelecem limites de variação bastante estreitos para os processos e,

uma vez que estes são alcançados, a organização obtém processos estáveis, capazes e com um grau de variabilidade consideravelmente baixo.

Quanto menor a variação dos processos, menores são as chances de desvios entre os valores planejados e realizados nos projetos, ou seja, maior é a aderência dos projetos aos cronogramas, orçamentos e demais planejamentos estabelecidos.

Quando o processo é alterado para tornar-se estável, capaz ou para sofrer uma melhoria contínua, é estabelecida uma nova definição para o processo, a qual deve ser executada nos projetos da organização, para que novos dados sejam coletados, o comportamento da nova definição do processo seja analisado e o ciclo apresentado no *framework* se repita.

Exemplificando a execução de um ciclo do *framework*, suponha que uma organização esteja recebendo reclamações dos clientes sobre a demora para resolver problemas por eles relatados. Com isso, um de seus objetivos de negócio críticos é *melhorar o suporte aos clientes*. Para monitorar esse objetivo, foi identificada a necessidade de informação *Qual a taxa de problemas reportados pelo cliente não resolvidos?* e foi selecionado o processo *Manutenção*, responsável pela correção de problemas nos sistemas de informação entregues aos clientes, para ter seu comportamento analisado por meio da medida *taxa de problemas não resolvidos*. Para análise do comportamento foi elaborado o gráfico de controle apresentado na Figura 6.24, que revelou instabilidade no comportamento do processo.

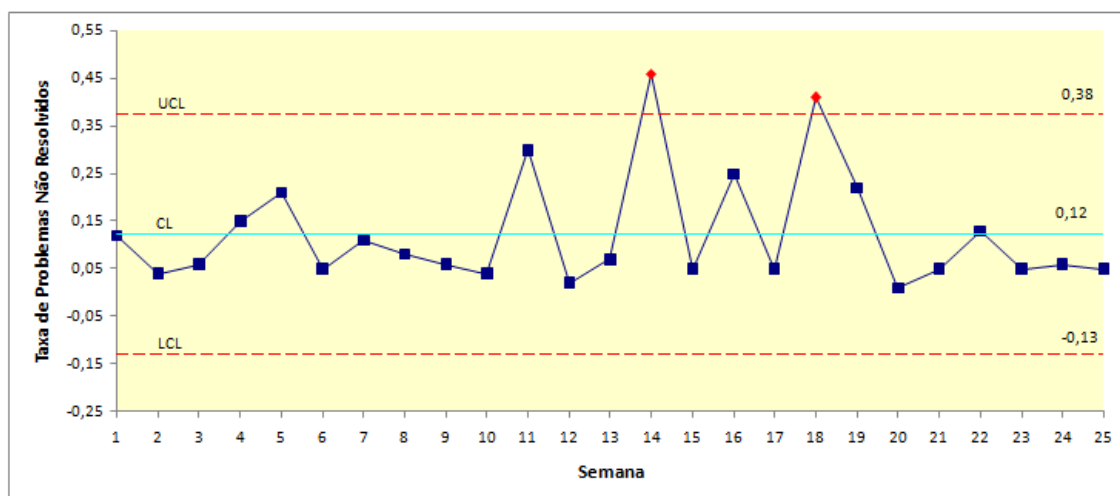


Figura 6.24 – Processo de manutenção instável.

Como o processo é instável, deve ser conduzida uma investigação das causas dos pontos que se encontram fora dos limites de controle, que indicam o comportamento esperado para o processo. Suponha que essa investigação tenha sido conduzida, tendo sido percebido que nas semanas em que a taxa de problemas não resolvidos extrapolou os limites esperados, ocorreu greve no transporte público levando vários funcionários a faltarem o trabalho.

Considerando que essas causas não são inerentes ao processo, ou seja, não há necessidade de mudar o processo para tratá-las, esses pontos podem ser excluídos da análise do comportamento do processo. Com isso, como mostra a Figura 6.25, o comportamento do processo torna-se estável.

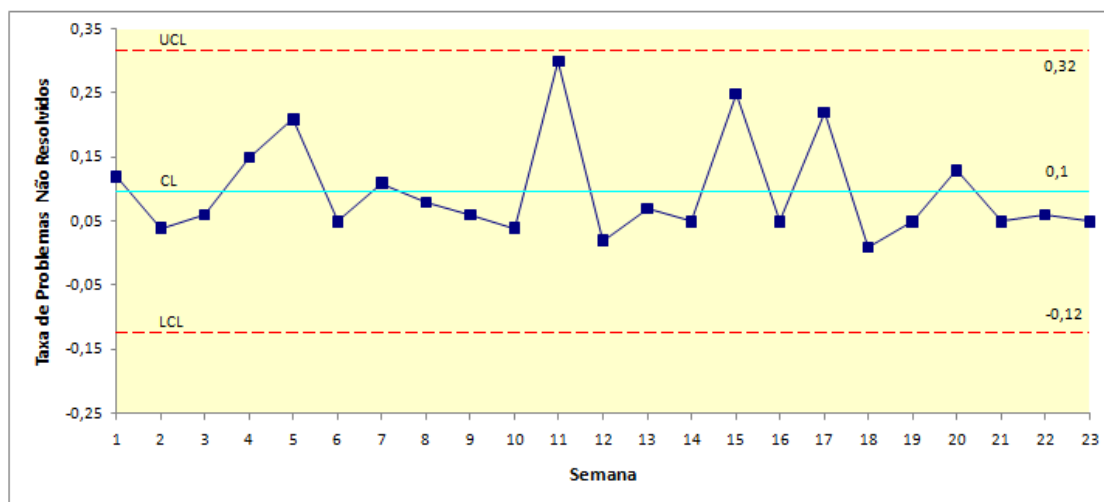


Figura 6.25 – Processo de manutenção estabilizado.

Uma vez estabilizado, a capacidade do processo deve ser analisada. Suponha que a organização tenha estabelecido que a taxa de problemas não resolvidos não deve ultrapassar 0,25. Nesse caso, como mostra a Figura 6.26, o processo não é capaz. Na figura, o limite especificado para o processo (voz do cliente) é representado pela linha sólida verde. A incapacidade do comportamento do processo (voz do processo) atender o limite especificado é bem visível (limite de controle superior é maior que a meta estabelecida), não tendo, por esse motivo, sido realizado o cálculo do índice de capacidade.

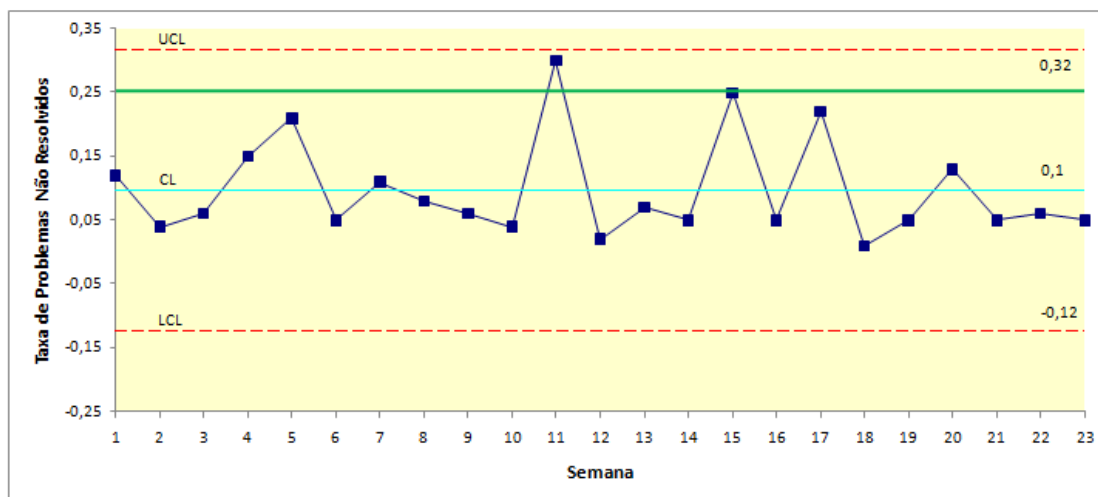


Figura 6.26 – Processo de manutenção não capaz.

Buscando tornar o processo capaz, a organização analisou a definição atual do processo e decidiu realizar algumas alterações para minimizar o tempo de análise da prioridade de um problema e melhorar a distribuição dos problemas entre a equipe de execução das manutenções. Após essa alteração, o processo entrou em execução e foram coletados novos dados para a taxa de problemas não resolvidos. A análise do comportamento da nova definição do processo mostrou que ele tornou-se capaz, como mostra a Figura 6.27.

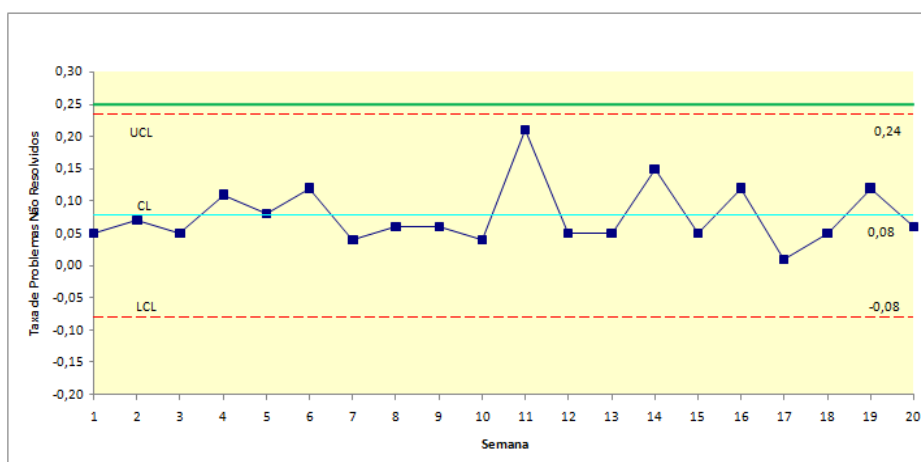


Figura 6.27 – Processo de manutenção capaz.

Suponha, agora, que a organização, em uma ação de melhoria de um processo estável e capaz, tenha decidido diminuir ainda mais a taxa de problemas não resolvidos, tendo estabelecido que ela não deva ultrapassar 0,20. Essa decisão levou a mais uma alteração no processo, que passou a adotar alguns princípios do desenvolvimento ágil nas manutenções maiores. O processo entrou em execução e teve dados de sua execução coletados. Como resultado, a análise do

comportamento do processo mostrou que ele manteve-se capaz e com melhor desempenho (limites mais estreitos), como mostra a Figura 6.28.

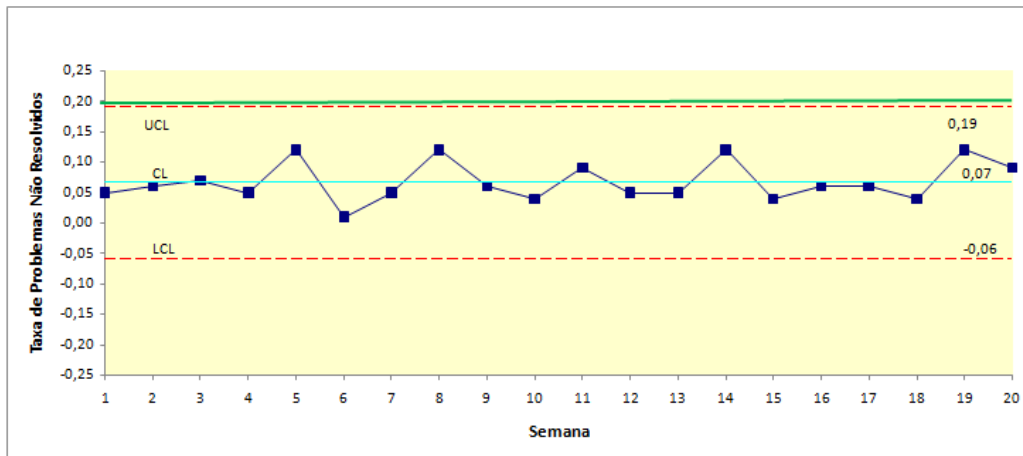


Figura 6.28 – Processo de manutenção após melhoria contínua: estável, capaz e com melhor desempenho (limites mais estreitos).

Vale destacar que alterações nos processos podem levar à desestabilização. Por exemplo, a última alteração realizada no processo de manutenção do exemplo poderia ter resultado em instabilidade e incapacidade. Nesse caso, as causas deveriam ser investigadas e o ciclo se repetiria.

6.6.1 Por onde começar

Mesmo sabendo como melhorar o desempenho dos processos utilizando o controle estatístico, fica, ainda, uma questão: por onde começar?

Processos de software são consideravelmente distintos dos processos da manufatura, onde o controle estatístico de processos teve origem. Implementar as ações que levam à melhoria dos processos de software envolve algumas dificuldades inerentes a essa área. Uma delas é a dificuldade de não poder experimentar uma melhoria antes de implementá-la sem interferir, ou interferindo o mínimo possível, na rotina e produtividade da organização.

Empresas que desenvolvem software raramente conseguem fazer experiências de laboratório para avaliar as propostas de melhoria antes da implementação. Em diversas áreas, para identificar se uma determinada proposta de melhoria será realmente efetiva, são realizadas experiências para garantir que, ao ser implementada a melhoria, os resultados esperados serão obtidos. Por exemplo, uma indústria de veículos faz testes em laboratório antes de incluir um

novo dispositivo de segurança em seus automóveis e disponibilizá-los para a população.

Considerando as particularidades do desenvolvimento de software, a fim de reduzir os riscos e gerenciar consequências inesperadas, as melhorias devem, frequentemente, ser introduzidas por meio de projetos piloto, que permitem avaliar os resultados das modificações antes de implementá-las em toda a organização.

A melhoria baseada no controle estatístico de processos também pode seguir essa linha. Ou seja, uma vez identificadas as necessidades de melhoria para um dado processo, ao invés de alterar o processo e utilizar sua nova definição em todos os projetos correntes, pode ser selecionado um projeto piloto para utilizar a nova definição do processo e fornecer resultados iniciais que permitirão decidir pela implementação ou não da melhoria para a organização como um todo.

6.7 Considerações Finais do Capítulo

Conhecer e controlar o comportamento dos processos é de suma importância para as organizações de software, pois os processos que elas utilizam para produzir seus produtos e serviços têm papel crítico na execução de planos e estratégias que buscam alcançar os objetivos organizacionais. Organizações que são capazes de controlar seus processos estão hábeis a prever a qualidade de seus produtos e serviços, custos, cronogramas e melhorar a eficiência, eficácia e rentabilidade de suas operações técnicas e de negócios.

Controlar o desempenho dos processos é garantir que os processos sejam previsíveis, atendam às necessidades dos clientes e possam ser melhorados continuamente. Além disso, é garantir que haja estabilidade e que as tendências identificadas sejam válidas para toda a organização em todos os projetos.

O conhecimento e controle do comportamento dos processos têm início em atividades de medição. A medição é capaz de fornecer as informações necessárias para alcançar os objetivos técnicos e de negócio, identificando problemas e tendências, o que dá o embasamento necessário às tomadas de decisão, principalmente àquelas que dizem respeito à melhoria de desempenho dos processos.

No contexto da melhoria de processos de software, o controle estatístico de processos ocorre nos níveis organizacional e dos projetos. No nível organizacional são estabelecidos *baselines* e modelos de desempenho dos processos, que são utilizados, no nível dos projetos, pela gerência quantitativa, a qual analisa o comportamento dos processos no projeto, verificando se estão em linha com as *baselines* estabelecidas.

A melhoria de processos de software baseada no controle estatístico dos processos é um ciclo contínuo, no qual a análise do comportamento dos processos pode levar a três direções: remover as causas assinaláveis para tornar o processo estável; mudar o processo para que o mesmo seja capaz de atender os objetivos do cliente e da organização; e melhorar continuamente o processo, quando este é capaz.

A utilização do controle estatístico de processos em organizações de software requer criteriosidade. Para as tarefas operacionais, há diversos aplicativos disponíveis no mercado que apoiam a construção dos gráficos de controle e a realização dos cálculos, a partir de um conjunto de dados de entrada. Alguns exemplos desses aplicativos são o Minitab¹⁴ e o Excel (considerando a utilização de QI Macros¹⁵ para apoio ao controle estatístico de processos).

Mas, é indispensável entender que analisar o comportamento de um processo não consiste apenas em colocar os dados coletados para as medidas em um aplicativo e, simplesmente, obter os resultados desejados. Os aplicativos, sozinhos, não são capazes de analisar o contexto dos dados utilizados. Essa é uma tarefa que requer intervenção humana e conhecimento organizacional. A utilização dos métodos não apropriados ou uma interpretação equivocada pode revelar um comportamento irreal para os processos e, conseqüentemente, contribuir para a realização de ações inadequadas e o estabelecimento de metas não factíveis.

¹⁴ <http://www.minitab.com>

¹⁵ <http://www.qimacros.com/Macros.html>

PARTE III

Medição e Melhoria de Processos de Software

Capítulo 7

Medidas para Monitoração dos Processos no MR-MPS

7.1 Introdução

Modelos de maturidade, como o MR-MPS [SOFTEX, 2009a] e o CMMI [SEI, 2010], são cada vez mais utilizados por organizações de software que objetivam investir em qualidade de software. Esses modelos apresentam um conjunto de boas práticas de Engenharia de Software organizadas em diferentes níveis de maturidade, de forma a direcionar de maneira ordenada os esforços das organizações na melhoria de seus processos de software. Níveis de maturidade estabelecem patamares de evolução de processos, caracterizando estágios de melhoria da implementação de processos na organização. O nível de maturidade em que se encontra uma organização permite prever o seu desempenho futuro ao executar um ou mais processos [SEI, 2010].

Acredita-se que com o uso desses modelos de maturidade as organizações possam produzir softwares melhores, com menores custos, estimativas mais precisas e maior satisfação das equipes e dos clientes. Como dito em capítulos anteriores, práticas de medição de software são uma presença constante tanto no MR-MPS como no CMMI desde seus níveis iniciais: no nível F do MR-MPS há o processo Medição e no nível 2 do CMMI há a área de processo Medição e Análise.

No MR-MPS, conforme discutido no Capítulo 2, o processo Medição [SOFTEX, 2011a] pressupõe que as organizações definam medidas a partir de seus objetivos organizacionais e as utilizem para tomada de decisão. Esse processo tem um papel importante em implementações de melhoria de processo de software por estar por trás de aspectos importantes na evolução aos níveis de maturidade subsequentes que culminam nos níveis de alta maturidade (A e B). No entanto, mesmo atendendo aos requisitos previstos pelos modelos, uma organização pode não atingir todo o potencial possível. Implementações deficientes desse processo podem ter impacto indesejado no futuro e na continuidade dos programas de melhoria das organizações.

A medição pode ser utilizada como um importante instrumento para o conhecimento do comportamento dos processos de software e também para a monitoração da execução desses processos. A partir do nível F do MR-MPS devem ser definidas medidas referentes a cada um dos processos implementados no nível de maturidade ao qual a organização está aderente. Essa exigência é decorrente do RAP 4 (*Medidas são planejadas e coletadas para monitoração da execução do processo e ajustes são realizados*) [SOFTEX, 2011a].

As Seções 7.2 a 7.8 discutem exemplos de medidas que podem ser aplicadas nas organizações durante a implementação de cada um dos níveis do MR-MPS (de G a A, respectivamente) e seus processos. São discutidas brevemente as características principais de cada nível de maturidade e os pontos mais importantes de cada um de seus processos. São apresentadas, também, algumas medidas que podem ser utilizadas para monitorar a execução de cada um dos processos em questão. A Seção 7.9 apresenta as considerações finais do capítulo.

Neste capítulo utiliza-se o termo ‘medida’ em detrimento do termo ‘indicador’ apenas para simplificação (afinal, todo indicador também é uma medida), a discussão das diferenças de significado entre eles pode ser vista no Capítulo 2.

Não é objetivo desse capítulo discutir cada um dos processos e níveis do MR-MPS em detalhes (para isso, deve-se ler os Guias de Implementação do MR-MPS, disponíveis em www.softex.br/mpsbr), porém para contextualizar o uso e importância das medidas apresentadas são discutidos brevemente os elementos críticos de cada processo e cada nível¹⁶. O conjunto de medidas aqui apresentadas não contém as únicas possíveis de serem implementadas. Cada organização deve avaliar criticamente as mais relevantes para o seu contexto e fazer as adaptações necessárias, além de definir outras medidas conforme pertinente.

7.2 Medição no Nível G do MR-MPS

É preciso olhar os níveis de maturidade do MR-MPS (assim como de outros modelos de maturidade, como o CMMI), como um caminho para a institucionalização da melhoria de processos de software de uma maneira

¹⁶Dada a compatibilidade entre o MR-MPS e o CMMI-DEV, acredita-se que essas observações também sejam válidas e úteis para organizações que implementam o CMMI-DEV.

abrangente. Muitas vezes, ao se falar sobre melhoria de processos de software no contexto de modelos de maturidade, se confunde a adoção pura dos requisitos desses modelos (representados pelos resultados esperados, no MR-MPS, ou práticas, no CMMI-DEV) desses modelos com a melhoria dos processos. O objetivo final da adoção de um modelo de maturidade deveria ser a melhoria contínua dos processos. Quando se inicia a implementação de um nível de maturidade em uma organização, não basta apenas evidenciar o cumprimento dos requisitos exigidos para garantir a institucionalização dos processos a médio e longo prazo. É preciso entender os objetivos e os motivos de cada um desses requisitos e interpretá-los à luz da realidade dos projetos e das organizações.

O fato de se implementar um requisito específico (por exemplo, a criação de um cronograma no contexto de um projeto de desenvolvimento) transcende o fato de se ter um documento onde sejam descritas as atividades do projeto, responsabilidades e datas e prazos estimados e reais. O objetivo da institucionalização de um documento desse tipo é possibilitar o planejamento e controle das atividades necessárias para se desenvolver o software. Um cronograma pode ser evidenciado de diferentes formas, por exemplo, em um arquivo do MS-Project, um arquivo do MS-Word, um conjunto de *post its* em um quadro ou um conjunto de tarefas relacionadas cadastradas em uma ferramenta de controle de requisições (*issue track systems*). A melhor forma de implementar tal cronograma depende das necessidades dos projetos que o utilizarão e das características das organizações em que os projetos serão executados. Pode ser simples criar um arquivo no MS-Word com as informações comumente encontradas em um cronograma. Mas, se ele não for de fácil criação, utilização e manutenção, estará fatalmente fadado a não ser utilizado de fato ou a ser substituído por controles paralelos e não oficiais. Pode, também, não ser adequado para possíveis evoluções almejadas na forma de gerenciar os projetos. Isso pode colocar em risco os investimentos futuros em melhoria de processo de software da organização.

Outra questão pertinente é que a evolução nos níveis de maturidade dos modelos deve ser vista de uma forma contínua, fluída, e não discreta, em saltos, apesar da sua estrutura de níveis. Os níveis foram definidos de maneira a agrupar processos com características e objetivos similares e, também, para possibilitar o

ganho contínuo de maturidade das organizações. Dessa forma, uma boa prática é adiantar a implementação de alguns aspectos importantes dos níveis subsequentes para que se possa avaliar a viabilidade de algumas ideias, tratar possíveis pontos de melhoria já identificados, mas não presentes no nível em questão, ou procurar facilitar a implantação de aspectos chave dos níveis posteriores antecipadamente com uma solução mais simples.

Nenhuma prática de medição de software é prevista ou mesmo esperada no nível G do MR-MPS. No entanto, pode-se utilizar os esforços necessários para a implementação desse nível de maturidade para começar a identificar elementos relevantes dos processos que o compõe (Gerência de Projetos e Gerência de Requisitos) de forma a aproveitá-los quando da implantação do processo Medição no nível F.

A característica fundamental do nível G do MR-MPS é possibilitar às organizações o controle mínimo necessário para a condução de um projeto de software. Esse controle é necessário para que o projeto possa ser gerenciado adequadamente. Dessa forma, foram escolhidos os processo Gerência de Projetos e Gerência de Requisitos para compô-lo. O primeiro processo está relacionado ao planejamento do projeto baseado no uso de estimativas de tamanho, esforço e custo e das atividades necessárias para produzir o produto esperado pelo cliente do projeto e à monitoração efetiva do projeto com base nos planos elaborados e nos eventos que ocorrem durante a sua execução. O segundo processo está relacionado ao controle de escopo do projeto (e de suas evoluções) e à garantia de um nível suficiente de qualidade para a especificação dos requisitos que deverão ser construídos e entregues.

Dessa forma, pode-se incluir durante a monitoração do projeto a avaliação quantitativa de aspectos relacionados à gerência de projetos e de requisitos. Essa avaliação quantitativa, apesar de não precisar seguir o formalismo previsto pelo processo Medição do nível F do MR-MPS, pode representar o embrião da medição na organização e, potencialmente, possibilitar desde os níveis inferiores a prática da medição de software. A próxima seção discute algumas medidas que podem ser úteis para esse propósito.

O objetivo desta seção, assim como de todo o capítulo, não é ser exaustivo na identificação de medidas úteis e válidas, mas apenas identificar pontos críticos que possam ser úteis durante a identificação das medidas a serem utilizadas por uma determinada organização. Convém lembrar, também, que medir por medir é, no mínimo, um desperdício de tempo e esforço. Assim como o *framework* do GQM e o próprio processo Medição do MR-MPS pontificam, o alinhamento das medidas a serem coletadas e analisadas com objetivos de negócio ou estratégicos da organização é importante e necessário. Caso contrário, as medidas serão inócuas e não trarão benefícios aos envolvidos.

Uma questão importante da definição de boas medidas para a monitoração da execução dos processos de software é a identificação dos elementos e fatores críticos associados a cada um dos processos envolvidos. No nível G, como dito anteriormente, a questão principal sendo tratada pelo MR-MPS é o controle para a condução de um projeto de software. Uma forma, então, de identificar medidas que podem ser associadas a Gerência de Projetos e Gerência de Requisitos é a identificação de seus elementos críticos e de atributos que permitam mensurá-los. Além disso, também é importante identificar fatores, como eventos internos e externos aos projetos, que influenciem na execução destes processos.

7.2.1 - Medidas relacionadas a Gerência de Projetos

O processo Gerência de Projetos tem por propósito ‘estabelecer e manter planos que definem as atividades, recursos e responsabilidades do projeto, bem como prover informações sobre o andamento do projeto que permitam a realização de correções quando houver desvios significativos no desempenho do projeto’ [SOFTEX, 2011a]. Possui um conjunto extenso de resultados esperados, sendo alguns relacionados a possibilitar que o gerente do projeto tenha mecanismos suficientes e necessários para estimar o esforço e o custo do projeto. Para que isso seja possível, o primeiro passo é a estimativa do tamanho do projetos.

Uma medida de tamanho representa, em última instância, a quantidade de funcionalidades previstas ou existentes (dependendo se é uma estimativa elaborada antes do software ser construído, no primeiro caso, ou uma contagem a partir do software já construído, no segundo caso) em um produto de software.

Exemplos de medidas de tamanho bastante utilizadas são Pontos por Função (PF), Pontos por Casos de Uso (PCU) e quantidade de linhas de código (SLOC ou KSLOC, sendo 1KSLOC = 1000 SLOC).

O uso de uma ou outra depende das características dos projetos. Há situações em que essas medidas não se aplicam, por exemplo, pode ser difícil estimar o tamanho de nova versão de um produto legado em uma organização se as especificações disponíveis não são claras em termos de entradas, saídas ou interfaces (que possibilitariam o uso de Pontos por Função) ou na forma de casos de uso (que possibilitariam o uso de Pontos por Casos de Uso). Nesses casos, pode-se, por exemplo, definir uma nova medida de tamanho própria para o sistema em questão que meça a complexidade de tarefas simples como incluir um novo botão de consulta, alterar um relatório simples, incluir um cadastro complexo. A cada uma dessas tarefas pode-se associar números e chegar à conclusão que uma nova versão do produto equivale a um valor de X pontos de complexidade da organização Y (X PCY). Se a classificação de cada tarefa é bem definida e explicada, se o método de contagem permite classificar cada tarefa dentro de uma das classificações existentes e o peso relativo de cada classificação de tarefa é bem distribuído, em teoria, essa nova medida PCY é equivalente a métodos mais estabelecidos como o PF ou PCU.

Medidas de tamanho são consideradas a base para realizar as estimativas de esforço, tempo e custos dos projetos. A partir da medida de tamanho, pode-se aplicar um fator de esforço necessário para produzir uma unidade da medida de tamanho (por exemplo, 10 homens/hora são necessários para codificar 1 PF) e, então, estimar o esforço total necessário para se concluir o projeto em questão. A partir da informação do custo associado a cada hora de trabalho de cada uma das pessoas envolvidas no projeto, pode-se ter o custo estimado total do projeto em relação à mão de obra.

Exemplos de medidas úteis para monitorar essa etapa do planejamento do projeto podem ser vistas na Tabela 7.1.

Apesar de os exemplos acima serem relacionados à comparação dos valores estimados no início do projeto com aqueles reais obtidos ao final do projeto, tais medidas podem ser adaptadas para serem coletadas e analisadas em pontos

predeterminados durante a execução do projeto, por exemplo, em marcos e/ou pontos de controle. Da mesma forma, as medidas também podem ser adaptadas para analisar o desempenho em atividades e tarefas. Outros exemplos de medidas neste capítulo também seguem o mesmo padrão.

Tabela 7.1 – Medidas associadas a Gerência de Projetos - planejamento do projeto.

1	Precisão da estimativa de tamanho do projeto <i>Estimativa de tamanho do projeto medido durante a especificação de requisitos / Tamanho real do projeto medido após a finalização da construção</i> Para esta medida, quanto menor o erro, melhor. Erros grandes podem significar estimativas mal realizadas, falta de controle do projeto (com requisitos sendo tornados mais complexos sem o conhecimento do gerente do projeto ou controle adequado), incapacidade das pessoas de realizarem a contagem de tamanho adequada durante as fases iniciais do projeto (por problemas de treinamento e capacitação ou pelo nível de detalhamento das descrições das funcionalidades insuficiente para uma estimativa adequada) etc. Caso haja alterações no escopo do projeto ao longo do tempo, a estimativa de tamanho deve ser revista para mais ou para menos de acordo com o escopo de cada mudança aprovada.
2	Precisão da estimativa de tempo do projeto <i>Estimativa do número de dias a serem gastos no projeto de acordo com o primeiro cronograma elaborado / Tempo real gasto em dias calculado após o término do projeto</i> Para esta medida, quanto menor o erro, melhor. Erros grandes podem significar estimativas mal realizadas, falta de monitoração adequada do projeto (com desvios ao longo da execução do projeto não sendo adequadamente identificados e corrigidos) etc. Períodos de interrupção do projeto, com suspensão de atividades, podem precisar ser desconsiderados em algumas situações.
3	Precisão da estimativa de esforço do projeto <i>Estimativa inicial do número de horas a serem gastas no projeto / Número real de horas gastas calculado após o término do projeto</i> Para esta medida, quanto menor o erro, melhor. Erros grandes podem significar estimativas mal realizadas, falta de monitoração adequada do projeto (com desvios ao longo da execução do projeto não sendo adequadamente identificados e corrigidos) etc. Alterações de escopo podem causar distorções nos valores calculados e, portanto, devem ser relatadas e tratadas adequadamente para fazer ajustes pertinentes nos valores coletados.
4	Precisão da estimativa de custo do projeto <i>Estimativa inicial do custo de pessoal a serem gastos no projeto / Custo total relativo a pessoal calculado após o término do projeto</i> Para esta medida, quanto menor o erro, melhor. Erros grandes podem significar estimativas mal realizadas, falta de monitoração adequada do projeto (com desvios ao longo da execução do projeto não sendo adequadamente identificados e corrigidos) etc. Deve-se ter cuidado para diferenciar os custos associados com mão de obra (cuja variação pode ser decorrente de falhas no método de estimativa de tempo e/ou esforço utilizado) com os custos associados a outros elementos como infraestrutura ou viagens (cujos erros podem ter outras origens). Misturar as informações pode levar a análises e ações equivocadas. Desvios também podem ser ocasionados, por exemplo, por aumento de salário ao longo do projeto. Informações de contexto (assim como em quaisquer outras medidas) são importantes para uma análise adequada dos valores obtidos. Esta medida não é aplicável em todos os casos. Muitas vezes, por exemplo, não é de responsabilidade da gerência do projeto o controle do custo do projeto. Além disso, em algumas organizações o controle do custo do projeto é feito de forma indireta por meio do esforço associado com a execução das atividades. Caso relevante, devem ser consideradas variações decorrentes de depreciação de material, flutuações cambiais (quando parte do custo estiver atrelado a moedas estrangeiras) ou alteração em índices de reajustes.

De nada vale um plano de projeto bem elaborado se não há um esforço para mantê-lo atualizado e adequado ao projeto enquanto ele é conduzido. A

monitoração do projeto deve acontecer periodicamente e em marcos e pontos de controle ao longo do projeto. Registros das monitorações, dos problemas encontrados e das ações tomadas para resolvê-los devem ser produzidos e armazenados. A Tabela 7.2 apresenta medidas relacionadas à monitoração do projeto.

Tabela 7.2 – Medidas associadas a Gerência de Projetos - monitoração do projeto.

1	<i>Taxa de ações decorrentes de monitorações pendentes</i> <i>Número de ações decorrentes de monitoração do projeto ainda não resolvidas / Número total de ações decorrentes de monitoração do projeto</i> A existência de muitas ações decorrentes da monitoração de um projeto em aberto pode ser indicativo de falta de atualização adequada dos planos e das próprias ações de monitoração, da incapacidade de o gerente resolver as ações (indicando possivelmente a necessidade de apoio ou intervenção de pessoas em nível hierárquico mais alto), ou, até mesmo, um sinalizador de que riscos não previstos para o projeto podem estar acontecendo ou próximos de acontecer (indicando ameaça para o cumprimento das metas estabelecidas para o projeto)
2	<i>Esforço gasto na monitoração do projeto</i> <i>Número de horas gastas pelo gerente do projeto realizando revisões no planejamento do projeto</i> Um esforço pequeno empregado na monitoração do projeto pode ser um indicativo de falta de controle por parte do gerente do projeto e, potencialmente, pode ser a causa de problemas relacionados ao possível fracasso do projeto ou não cumprimento das metas estabelecidas. Variações desta medida podem incluir também as horas dos participantes de reuniões com a equipe e não apenas o gasto pelo gerente do projeto.

Medidas associadas a Gerência de Riscos, também aplicáveis a Gerência de Projetos, são discutidas na Seção 7.6.3.

7.2.2 - Medidas relacionadas a Gerência de Requisitos

O processo Gerência de Requisitos tem por propósito ‘gerenciar os requisitos do produto e dos componentes do produto do projeto e identificar inconsistências entre os requisitos, os planos do projeto e os produtos de trabalho do projeto’ [SOFTEX, 2011a]. Os elementos principais do processo Gerência de Requisitos são o adequado entendimento dos requisitos pela equipe do projeto e pelos clientes e o controle do escopo do projeto através da gerência das mudanças dos requisitos ao longo do projeto.

O entendimento dos requisitos pode ser mensurado a partir da qualidade das especificações realizadas. Esse é um dos fatores críticos que deveriam ser medidos em relação a esse processo. Atributos de qualidade comumente aplicáveis a requisitos (apesar de, infelizmente, não serem tão aplicados na grande maioria dos projetos) são: clareza (o quanto o requisito é compreensível), completeza (o quanto a especificação está completa), omissão (se há elementos necessários para

a compreensão do requisito que não foram fornecidos), inconsistência (se há informações conflitantes na descrição de um requisito ou na informação relacionada a itens descritos em outros requisitos), rastreável (se é possível identificar a origem do requisito ou a sua decomposição em outros elementos de análise, projeto ou código) e ambiguidade (se há informação que pode levar a mais de uma interpretação).

Independentemente da origem dos problemas identificados nos requisitos, eles não deveriam ter acontecido, pois o natural seria imaginar que os requisitos tivessem sido especificados e descritos com qualidade adequada. Os defeitos podem ser identificados tanto pela equipe interna do projeto quanto pelo cliente (ou fornecedor ou avaliador de requisitos). A documentação do projeto não deveria ser enviada ao cliente sem antes ter sido atestada a sua qualidade. Por isso, é indicada a existência de avaliações tanto internas quanto externas ao projeto. O fato de o cliente encontrar muitos defeitos na especificação de requisitos também pode interferir na sua percepção da qualidade do produto, por esse motivo, em geral, deseja-se que as avaliações internas encontrem o maior número de defeitos possível.

O custo adicional por uma má qualidade na especificação de requisitos (seja qual for a sua origem), em geral, não é assumido pelo cliente e deve ser absorvido pelo projeto. Dessa forma, um grande número de defeitos nas especificações de requisitos ocasiona gasto excessivo de retrabalho e de tempo para completar o projeto e, conseqüentemente, aumento de custo para o projeto.

Outro evento que pode interferir na qualidade dos requisitos é a alteração dos requisitos ao longo do projeto. Alterações de requisitos, por mais que sejam adequadamente gerenciadas ao longo da duração dos projetos, são eventos não previstos e, muitas vezes, não desejados. A quantificação do efeito das alterações de requisitos no esforço total do projeto é importante para mensurar o real impacto no andamento do projeto e, também, pode ser importante informação de contexto para justificar o aumento do prazo de entrega do projeto ou, até mesmo, a diminuição da qualidade final do produto.

Para simplificação, nesta seção é utilizado de forma genérica o termo 'especificação de requisitos'. Os requisitos podem abranger um conjunto extenso

de nomenclaturas e produtos de trabalho, como, por exemplo, documento de visão, modelo de análise, requisitos funcionais etc.

A Tabela 7.3 apresenta medidas relacionadas à gerência de requisitos de um projeto.

Tabela 7.3 – Medidas associadas a Gerência de Requisitos.

1	Densidade de defeitos identificados na avaliação interna de requisitos <i>Número de defeitos identificados pela equipe na especificação de requisitos / Tamanho do projeto</i>
	A identificação dos defeitos pode ser feita por aqueles que irão desenvolver/codificar os requisitos ou por meio de uma revisão por pares. Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na especificação de requisitos e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por tipo (por exemplo, omissão, ambiguidade etc.) ou complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto). A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas.
2	Densidade de defeitos identificados na avaliação externa de requisitos <i>Número de defeitos identificados pelo cliente na especificação de requisitos / Tamanho do projeto</i>
	Esta medida é similar à anterior com a diferença da origem da identificação dos defeitos, aqui pelo cliente do projeto.
3	Esforço de retrabalho para especificação de requisitos <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados na especificação de requisitos</i>
	Os gastos com os acertos na especificação de requisitos deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Um valor alto para o índice de retrabalho é um possível indicativo de má qualidade da especificação e, conseqüentemente, desperdício de tempo, dinheiro e esforço. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para elaboração da primeira versão da especificação de requisitos (que foi avaliada). As análises também devem ser adaptadas a estes cenários. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.
4	Percentual de esforço para levantamento de requisitos <i>Número de horas gastas para levantamento de requisitos / Número de horas gastas para elaborar a especificação de requisitos</i>
	Esta medida pode ser útil para ser correlacionada com a densidade de defeitos identificados e também com o esforço de retrabalho para corrigir tais defeitos. Uma das possíveis causas da má qualidade da especificação de requisitos pode ser a insuficiência de informações obtidas no levantamento de requisitos que, por sua vez, pode ser ocasionada pelo número de horas de entrevistas insuficiente.
5	Volatilidade de Requisitos <i>(Número de requisitos alterados + Número de requisitos incluídos + Número de requisitos excluídos) / Número total de requisitos</i>
	Esta medida permite identificar o quanto o escopo do projeto (em relação a requisitos) é modificado ao longo do projeto, uma vez que os requisitos tenham sido aprovados. Um valor apurado muito alto pode indicar que o escopo do projeto foi mal definido, que não há um entendimento adequado dos requisitos ou que não está claro o que o cliente deseja. De

	qualquer forma, valores altos dessa medida podem indicar problemas potenciais para o projeto. Uma variação desta medida pode utilizar também o tamanho de cada requisito em vez do número de requisitos.
6	Percentual de esforço adicional devido à alteração de requisitos <i>Número de horas gastas no projeto decorrentes de atividades relacionadas às alterações de requisitos ocorridas / Número total de horas gastas no projeto</i> Valores muito altos desta medida podem disparar a necessidade de um controle mais efetivo do escopo do projeto ou de uma participação mais efetiva e ativa dos clientes durante a fase de levantamento, avaliação e aprovação dos requisitos. Esta medida pode ser útil de ser avaliada junto com outra que mensure a variação de tamanho do projeto em decorrência de alterações de requisitos. A partir da análise dessas medidas em conjunto pode ser possível avaliar o impacto das alterações de requisitos na produtividade da equipe.

Das medidas apresentadas nesta seção, tecnicamente, apenas as duas últimas são específicas ao processo Gerência de Requisitos, as demais estão associadas diretamente a aspectos importantes dos processos de nível D do MR-MPS: Verificação, Validação e Desenvolvimento de Requisitos. No entanto, elas são apresentadas aqui devido à sua utilidade geral e por tratarem de aspectos importantes que, se negligenciados, podem ter efeito sobre os requisitos e o sucesso do projeto. Variações dessas medidas também poderão ser encontradas na Seção 7.5, quando os processos de nível D são discutidos.

7.3 Medição no Nível F do MR-MPS

A característica principal do nível F do MR-MPS é a gerência e os mecanismos de apoio necessários para que essa gerência seja efetiva na organização. Gerenciar um projeto não consiste apenas em elaborar planos para a execução das tarefas que culminarão na entrega de um produto de software a um cliente e em garantir que tal plano seja seguido. Um conjunto de atividades de apoio é útil e necessário para que a gerência dos projetos aconteça de maneira efetiva e que os produtos de software construídos tenham uma qualidade adequada para os seus propósitos. Devido a isso, além dos processos que compõem o nível G, o nível F contém também os processos de apoio Garantia da Qualidade, Gerência de Configuração e Medição. Aspectos mais elaborados da gerência são garantidos pela inclusão de processos específicos para a Gerência do Portfólio de Projetos da organização e para a gerência de Aquisição no contexto da execução de um projeto de software.

A partir desse nível, a implementação do processo Medição passa a ser obrigatória e deve atender a todos os requisitos previstos no Guia Geral [SOFTEX,

2011a]. Além disso, a monitoração da execução de cada um dos processos do modelo de referência deve ser realizada com base na definição, coleta e análise de medidas específicas.

Para que as medidas sejam adequadamente identificadas a partir dos objetivos organizacionais e planejadas quanto à forma de coleta e análise, devem ser seguidas boas práticas associadas ao processo de Medição discutidas no Capítulo 3 deste livro.

7.3.1 - Medidas relacionadas a Aquisição

O processo Aquisição tem por propósito ‘gerenciar a aquisição de produtos que satisfaçam às necessidades expressas pelo adquirente’ [SOFTEX, 2011a]. Apesar de o texto do propósito e de seus resultados esperados citarem apenas produtos, a aquisição de serviços também está incluída no escopo desse processo desde que os serviços sejam entregues como parte do produto final ao cliente.

O objetivo desse processo é formalizar a aquisição de produtos e serviços adquiridos de terceiros (por exemplo, a compra de componente de software ou peça de hardware importante para a conclusão do projeto ou a terceirização de parte do desenvolvimento) que sejam críticos para o projeto e sob os quais o gerente do projeto não tem controle direto sobre as tarefas realizadas pelo fornecedor. Dessa forma, são elementos críticos para o projeto a qualidade final do produto ou serviço entregue pelo fornecedor, o impacto das entregas para o cronograma e orçamento do projeto e a satisfação geral em relação ao fornecedor.

A Tabela 7.4 apresenta medidas relacionadas à aquisição de produtos e serviços.

Tabela 7.4 – Medidas associadas a Aquisição.

1	<i>Número de problemas identificados quando do aceite do produto adquirido</i> Esta medida pode dar informações importantes sobre a qualidade final do produto (ou serviço) adquirido do fornecedor. Em geral, os problemas são identificados durante a avaliação realizada para aceite do produto e/ou durante a incorporação do produto ao projeto, sendo o ideal que sejam identificados no momento do aceite. Um valor alto associado a esta medida é indicativo que a qualidade do produto entregue é insatisfatória.
2	<i>Número de problemas identificados quando da incorporação do produto adquirido ao projeto</i> Um valor alto associado a esta medida pode ser um indicativo de que os procedimentos para aceite do produto adquirido não foram conduzidos de maneira adequada e precisariam ser revistos ou que a especificação do produto a ser adquirido não foi feita da maneira adequada e negligenciou aspectos importantes.
3	<i>Taxa de desvio de cronograma das entregas acordadas com o fornecedor</i> <i>Número de dias para a entrega / Número de dias estimado para a entrega</i> Atrasos no cronograma de entregas do fornecedor podem ter um impacto negativo para o

	projeto e, portanto, devem ser evitados, principalmente se o produto (ou serviço) adquirido estiver no caminho crítico do projeto.
4	<i>Taxa de desvio de custo do acordo com o fornecedor</i> <i>Custo do produto adquirido / Custo estimado do produto adquirido</i> Caso a aquisição não seja feita com um custo total predeterminado é importante avaliar o impacto de um aumento do custo da aquisição para o orçamento total do projeto. Variações muito grandes podem tornar o projeto inviável.
5	<i>Satisfação em relação ao fornecedor</i> Um aspecto importante a se observar é a satisfação geral em relação ao trabalho desenvolvido pelo fornecedor. Uma forma de avaliar a satisfação é por meio da análise do desempenho do fornecedor nas medidas discutidas anteriormente. Também pode-se realizar uma reavaliação da pontuação de alguns dos critérios que levaram à escolha desse fornecedor. Valores baixos desta medida podem levar a organização a rever futuras contratações desse mesmo fornecedor. Além disso, a partir da análise desta medida pode-se modificar a lista de possíveis fornecedores prioritários dos projetos ou, até mesmo, dos critérios utilizados para selecioná-los.

7.3.2 - Medidas relacionadas a Garantia da Qualidade

O processo Garantia da Qualidade tem por propósito ‘assegurar que os produtos de trabalho e a execução dos processos estejam em conformidade com os planos, procedimentos e padrões estabelecidos’ [SOFTEX, 2011a].

Um profissional da equipe de garantia de qualidade é o guardião dos processos e deve zelar para que todos sejam seguidos adequadamente. As atividades básicas desse profissional são realizar avaliações de qualidade dos produtos previstos pelo processo (ou seja, se os documentos estão aderentes aos padrões da organização e as informações presentes neles são consistentes, íntegras e completas) e avaliações de aderência aos processos (ou seja, se todas as tarefas e atividades previstas estão sendo seguidas adequadamente e na ordem estabelecida). Além disso, é responsabilidade da área de garantia da qualidade assegurar que as não conformidades identificadas sejam registradas e acompanhadas até a sua conclusão. Para que isso ocorra, é necessário apoio dos níveis hierárquicos superiores na organização, incluindo-se aí os patrocinadores da iniciativa de melhoria de processos. Caso esse apoio não exista, a área de garantia da qualidade perde poder, o que ameaça todos os esforços em prol da melhoria de processos.

Como o efeito mais visível do trabalho da equipe de garantia da qualidade é a identificação de não conformidades, é natural que as medidas mais utilizadas para dar visibilidade a isso estejam relacionadas ao número de não conformidades encontradas durante as avaliações de qualidade. Um número muito grande de não conformidades pode indicar a deficiência dos projetos da organização em vários

aspectos, como, pessoas burlando os processos indiscriminadamente, falta de treinamento adequado dos profissionais, critérios não condizentes com as necessidades da organização, processos e/ou modelos de documentos (*templates*) pouco claros e detalhados etc. Não parece razoável considerar, no entanto, todas as avaliações de qualidade realizadas em conjunto, de forma indiscriminada. Para análises mais efetivas deve-se considerar a estratificação das medidas em diferentes tipos de forma a facilitar e detalhar a análise das informações. Por exemplo, definir medidas que estejam relacionadas individualmente a tipo de artefato/produto avaliado, processo avaliado, fase ou etapa do processo de desenvolvimento avaliado, tipo de avaliação realizada (se de produto ou de processo), criticidade do problema etc.

A Tabela 7.5 apresenta medidas relacionadas à garantia da qualidade de processo e de produto.

Tabela 7.5 – Medidas associadas a Garantia da Qualidade.

1	<i>Taxa de não conformidade em avaliações de qualidade no documento de requisitos</i> <i>Número de não conformidades identificadas em avaliações de qualidade no documento de requisitos / Número total de critérios observados</i>
	Mesmo valores baixos apurados para a medida também podem ser motivo de preocupação. A existência de poucas não conformidades nesse cenário pode indicar uma falha dos procedimentos de garantia da qualidade em assegurar uma correta execução dos processos. No início de um programa de melhoria é aceitável que as pessoas cometam erros devido à pouca familiaridade com os processos. Com o passar do tempo, espera-se que os processos sejam institucionalizados e, portanto, que os problemas tendam a não serem mais gerados. Essa medida se refere especificamente ao documento de requisitos (que pode englobar as especificações de requisitos, glossário, matriz de rastreabilidade etc.) por ser, como já dito anteriormente, um dos mais importantes de qualquer projeto. Obviamente, essa medida pode ser adaptada para levar em consideração outros produtos de trabalho previsto pelos processos. Esta medida considera apenas as avaliações de qualidade relacionadas ao 'produto de trabalho' documento de requisitos e não ao conjunto de atividades e/ou tarefas necessários para gerá-lo. Infelizmente, um problema bastante comum é a incapacidade de as organizações diferenciarem critérios de avaliação de produto de critérios de avaliação de processo. Nesses casos, além de a efetividade das avaliações poder ser comprometida, a análise das medidas de não conformidade pode ser deturpada. As organizações devem avaliar a possibilidade de ter medidas diferentes para analisar as não conformidades decorrentes de avaliações de produto e de processo. Variações desta medida incluem a estratificação dos valores apurados em categorias (por exemplo, fase ou etapa do processo de desenvolvimento avaliado, criticidade do problema etc.) de forma a facilitar e detalhar a análise das informações. Alguns dos produtos de trabalho avaliados são dependentes do tamanho do projeto (principalmente os relacionados às atividades de engenharia, por exemplo, documento de requisitos, casos de testes etc.). Dessa forma, uma variação desta medida pode considerar, também, a normalização dos valores pelo tamanho do projeto. É importante destacar que a efetividade dessa medida está relacionada à qualidade da avaliação realizada. Se, por exemplo, a avaliação for superficial, essa medida não terá utilidade nem significará nada. Outra distorção nesta medida pode ser ocasionada pelo número baixo de critérios considerados na avaliação. Deve-se, portanto, procurar que haja um número adequado de critérios para avaliar os aspectos críticos do produto de trabalho em questão e

	que estes critérios sejam os mais objetivos e explícitos possíveis.
2	<i>Taxa de não conformidade em avaliações de aderência ao processo</i> <i>Gerência de Requisitos</i> <i>Número de não conformidades identificadas na avaliação de aderência ao processo Gerência de Requisitos / Número total de critérios observados</i> Esta medida considera apenas as avaliações de qualidade relacionadas à verificação de aderência ao processo Gerência de Requisitos e não à forma e conteúdo dos produtos de trabalho relacionados, como o documento de requisitos ou os registros do controle de alteração de requisitos. A análise desta medida pode ser realizada de forma similar à anterior, referente às avaliações de produto. Obviamente, essa medida também pode ser adaptada para levar em consideração outros processos utilizados pela organização.
3	<i>Esforço de retrabalho para corrigir problemas identificados em avaliações de qualidade</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os problemas identificados em avaliações de qualidade</i> Esta medida, apesar de útil, muitas vezes é de difícil coleta. No entanto, o esforço de retrabalho é sempre uma informação importante para analisar o custo associado com a não realização de uma atividade da maneira adequada em um primeiro momento. Em geral, o custo de retrabalho não é esperado ou desejado e, portanto, deseja-se que seja o menor possível. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para elaboração da primeira versão da documentação avaliada. As análises também devem ser adaptadas a estes cenários. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.
4	<i>Número de não conformidades identificadas na auditoria independente de qualidade</i> Valores altos desta medida podem indicar falhas na execução do trabalho realizado pela equipe de qualidade. Ações devem ser tomadas para analisar a razão dos problemas encontrados que pode ser, por exemplo, por falta de treinamento ou capacitação adequada dos responsáveis pela execução das atividades de garantia da qualidade, ineficiência em cumprir os planos estabelecidos ou uma perda de prioridade da execução das atividades relacionadas à garantia da qualidade. É importante destacar que a efetividade dessa medida está relacionada à qualidade da auditoria independente realizada. Se, por exemplo, a avaliação for superficial, essa medida não terá utilidade nem significará nada.
5	<i>Taxa de não conformidades escalonadas</i> <i>Número de não conformidades escalonadas / Número total de não conformidades</i> A necessidade de escalonamento de uma ação corretiva está associada à não resolução de uma não conformidade aberta. Dessa forma, um valor elevado para esta medida pode ser indicativo de falta de empenho dos colaboradores da organização ou de falta de apoio e comprometimento dos envolvidos para o sucesso da iniciativa de melhoria de processos.
6	<i>Taxa de não conformidades escalonadas sem resolução</i> <i>Número de não conformidades escalonadas que não foram resolvidas / Número total de não conformidades escalonadas</i> A necessidade de escalonamento das ações corretivas é uma característica indesejada durante a condução de um programa de melhoria de processos, porém o mecanismo é fundamental para reforçar a importância das ações tomadas pela área de garantia da qualidade para a organização como um todo. Dessa forma, pior que um elevado número de não conformidades não resolvidas é a falta de apoio dos níveis hierárquicos superiores em reforçar o papel da área de qualidade, a necessidade de resolução dos problemas encontrados e a importância do programa de melhoria de processos da organização. Valores altos desta medida podem indicar uma falta de prioridade e apoio do programa de melhoria de processos na organização. A curto prazo, isso pode fazer com que problemas graves não sejam corrigidos adequadamente. A médio e longo prazos, isso pode fazer com que a iniciativa de melhoria seja abandonada.

Deve-se reforçar que a efetividade das medidas relacionadas à qualidade é dependente do rigor e profundidade com que as avaliações são realizadas. Se, por

exemplo, a avaliação for superficial, os resultados obtidos não terão utilidade e terão pouco significado na prática. Muitas vezes, os critérios dos *checklists* de qualidade utilizados pelas organizações não avaliam aspectos e conteúdos críticos e importantes dos processos e/ou dos produtos em questão. Os padrões ou formatos a que se referem o texto dos resultados esperados e o propósito do processo não são referentes a cor e tamanho de fontes, mas ao conteúdo do que deve ser preenchido no documento.

Outra interpretação duvidosa do modelo é que as avaliações previstas pelo processo Garantia da Qualidade levam em consideração apenas os aspectos explicitamente previstos nos resultados esperados de um processo. O papel da garantia de qualidade é assegurar que quaisquer processos de interesse da organização sejam seguidos, independentemente de eles terem sido definidos para cumprir os requisitos de um nível de maturidade ou não.

Dessa forma, se os critérios de avaliação de qualidade não forem adequados, as medidas que registram as não conformidades, apesar de formalmente bem definidas, podem não representar nenhuma vantagem para a organização ou levar a análises incorretas.

7.3.3 - Medidas relacionadas a Gerência de Configuração

O processo Gerência de Configuração tem por propósito ‘estabelecer e manter a integridade de todos os produtos de trabalho de um processo ou projeto e disponibilizá-los a todos os envolvidos’ [SOFTEX, 2011a]. O aspecto crítico relacionado a esse processo é o controle de todos os produtos de trabalho dos processos em execução pela organização. Esse controle se inicia com a criação dos produtos de trabalho, pela aprovação e controle de modificações (conforme pertinente), até a entrega aos interessados e, também, possíveis evoluções a partir daí. Para que esse controle seja possível, é necessário identificar quais produtos de trabalho devem ser considerados itens de configuração, armazená-los de forma controlada e garantir o controle de suas evoluções. Para assegurar que os níveis de controle adequados e mecanismos necessários estejam sendo postos de fato em prática, auditorias de gerência de configuração devem ser realizadas periodicamente.

A Tabela 7.6 apresenta medidas relacionadas à gerência de configuração.

Tabela 7.6 – Medidas associadas a Gerência de Configuração.

1	Número de não conformidades por auditoria de configuração Da mesma forma como as avaliações realizadas pela área de garantia de qualidade, as auditorias de configuração asseguram que o processo de gerência de configuração adotado pelos projetos e pela organização está sendo adequadamente seguido que os mecanismos de controle estão sendo adotados em sua plenitude.
2	Taxa de itens de configuração com não conformidade <i>Número de itens de configuração com não conformidade / Número total de itens de configuração</i> Um alto índice de itens de configuração com não conformidades pode indicar problemas generalizados com os procedimentos de gerência de configuração adotados e devem, portanto, ser investigados.
3	Número de erros encontrados durante a liberação de versão (release) Valores altos para esta medida podem indicar problemas nos procedimentos utilizados para a construção dos produtos a serem entregues para o usuário final e não apenas para o ‘empacotamento’ da versão em questão. Em geral, esta medida é utilizada no contexto de projetos de desenvolvimento, sendo a versão em questão, uma versão do software produzido no projeto. Uma variação desta medida pode assumir outros tipos de produtos, como o conjunto de processos padrão da organização em implementações de nível E do MR-MPS ou superiores.
4	Esforço para realização das auditorias de gerência de configuração <i>Número de horas gastas pela equipe para executar as tarefas associadas à realização das auditorias de gerência de configuração</i> As atividades de gerência de configuração, naturalmente burocráticas em sua maioria, podem ser bastante demoradas. Dessa forma, pode ser de interesse das organizações monitorar o esforço associado a elas. Variações desta medida podem estar associadas a tarefas diferentes relacionadas à gerência de configuração, como, por exemplo, a montagem e liberação (release) de uma versão do software.
5	Esforço de retrabalho para corrigir problemas de gerência de configuração <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os problemas identificados durante a execução das atividades de gerência de configuração</i> Assim como todas as atividades relacionadas à qualidade, o cálculo do esforço gasto em retrabalho associado às atividades de gerência de configuração é um importante mecanismo para mensurar o gasto excessivo e o desperdício de esforço e custo de não se fazer certo da primeira vez. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para a execução das tarefas relacionadas à gerência de configuração. As análises também devem ser adaptadas a estes cenários. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.

7.3.4 - Medidas relacionadas a Gerência de Portfólio de Projetos

O processo Gerência de Portfólio de Projetos tem por propósito ‘iniciar e manter projetos que sejam necessários, suficientes e sustentáveis, de forma a atender os objetivos estratégicos da organização’ [SOFTEX, 2011a]. Dessa forma, um dos pontos principais desse processo é a escolha de projetos que sejam justificáveis à luz dos objetivos estratégicos da organização e que permitam que a organização seja eficiente e viável economicamente. Outro ponto importante é o uso ordenado dos recursos da organização de forma a maximizar o atendimento dos objetivos estratégicos da organização.

A Tabela 7.7 apresenta medidas relacionadas à gerência de portfólio de projetos.

Tabela 7.7 – Medidas associadas a Gerência de Portfólio de Projetos.

1	Taxa média de rentabilidade dos projetos <i>Somatório da rentabilidade de cada projeto / Número total de projetos</i>
	Uma análise da rentabilidade dos projetos no portfólio pode fazer com que alguns critérios de aceite e recusa de projetos possam ser reavaliados. Uma análise da série histórica de rentabilidade dos projetos no portfólio pode ser útil para a organização avaliar sua saúde financeira atual.
2	Precisão de estimativa de lucro <i>Lucro apurado para um projeto / Previsão de lucro para um projeto</i>
	Esta medida pode ser útil para avaliar a evolução da saúde financeira da organização ao longo do tempo e também para calibrar os critérios utilizados para aprovação dos projetos baseados na expectativa de retorno financeiro esperado com a conclusão de um projeto. Variações desta medida incluem a precisão de estimativa de receita e de custo.
3	Contribuição dos projetos de um portfólio para o retorno financeiro da organização <i>Somatório do lucro dos projetos de um portfólio de projetos / Lucro total da organização</i>
	A análise da contribuição de um portfólio de projetos para o retorno financeiro da organização pode fazer com que a organização reavalie a prioridade relativa entre projetos e/ou entre os diferentes portfólios existentes.
4	Taxa de alocação média de pessoal <i>Somatório do número de horas trabalhadas pelos colaboradores / (Somatório do número de colaboradores * Número de horas de trabalho de cada colaborador)</i>
	Uma taxa de alocação baixa de pessoal pode indicar a existência de capacidade ociosa na organização, que poderia ser alocada a novos projetos ou tarefas. Uma taxa de alocação superior a 1 pode indicar uma sobrealocação das pessoas que, a longo prazo, pode causar problemas de satisfação com o trabalho ou custo elevado de horas extras. Valores muito altos em organizações com grande número de colaboradores compartilhados entre vários projetos podem indicar a existência potencial de muitos conflitos entre os projetos.
5	Produtividade média dos projetos da organização <i>Somatório do esforço total dos projetos / Somatório do tamanho total dos projetos</i>
	O cálculo da produtividade é importante para a determinação de estimativas mais precisas pela organização e pelos projetos. Um desejo comum a muitas organizações é que a produtividade dos projetos seja sempre crescente. Caso os valores oscilem muito com o tempo ou mostrem tendências de declínio, as razões devem ser investigadas e as ações corretivas necessárias, tomadas. Diferentes tipos de projetos têm comportamentos diferentes em relação à produtividade. Não é possível comparar, por exemplo, projetos de tamanhos muito diferentes (por exemplo, pequenos, médios e grandes) ou utilizando linguagens e tecnologias diferentes (por exemplo, COBOL, Java e dotNet). Dessa forma, pode ser necessária a estratificação desta medida de acordo com a classificação dos projetos na organização.
6	Número de projetos não aceitos por falta de capacidade instalada
	Caso muitos projetos sejam recusados por falta de capacidade da organização de executá-los pode ser uma sinalização da necessidade de aumentar os quadros da organização.
7	Número de projetos não aceitos por não dominar a tecnologia
	Caso muito projetos sejam recusados pelo fato de a organização não dominar a tecnologia pode indicar necessidade de revisão das tecnologias utilizadas na organização e a abertura a novidades neste sentido.
8	Número de projetos cancelados
	Um número alto de projetos cancelados deve ser investigado, pois pode ser indicativo, por exemplo, de uma má gestão do projeto, escolha equivocada dos projetos a compor o portfólio por critérios mal definidos ou necessidade de revisão dos objetivos estratégicos da organização.

7.3.5 - Medidas relacionadas a Medição

O processo Medição tem por propósito 'coletar, armazenar, analisar e relatar os dados relativos aos produtos desenvolvidos e aos processos implementados na organização e em seus projetos, de forma a apoiar os objetivos organizacionais' [SOFTEX, 2011a]. Os aspectos críticos da execução desse processo estão relacionados à efetividade das medidas coletadas e das ações tomadas a partir dos resultados obtidos. A Tabela 7.8 apresenta medidas relacionadas à medição.

Tabela 7.8 – Medidas associadas a Medição.

1	Taxa de medidas efetivamente coletadas e analisadas <i>Número de medidas coletadas e analisadas / Número total de medidas presentes no plano de medição</i> Nem sempre se consegue coletar os dados de todas as medidas identificadas como relevantes pela organização. É natural imaginar que o valor apurado para esta medida aumente com o tempo até atingir o valor 1. Após esse momento inicial, é importante monitorar os valores apurados para identificar possíveis problemas que possam estar impedindo a correta implementação do processo Medição.
2	Taxa de medidas que estão dentro das metas aceitáveis <i>Número de medidas dentro das metas aceitáveis / Número de medidas coletadas e analisadas</i> Esta medida tenta sumarizar a situação geral de todas as medidas coletadas pela organização. Vários fatores podem impactar diferentes medidas ao longo do tempo, porém uma expectativa geral das organizações é que as medidas convirjam para atender as metas estabelecidas.
3	Taxa de conclusão de ações decorrentes de medição <i>Número de ações decorrentes de medição concluídas / Número total de ações decorrentes de medição</i> Uma das características esperadas de um programa de medição é que as medidas coletadas e analisadas sirvam para a tomada de decisão. Dessa forma, é de se esperar que as ações derivadas das medidas sejam de fato executadas e concluídas adequadamente. Falhar no registro e análise dessas ações pode levar o programa de medição ao descrédito e, por fim, ao cancelamento.
4	Esforço para coleta e análise das medidas <i>Número de horas gastas pela equipe para realizar as atividades relacionadas à coleta e à análise das medidas que compõem o plano de medição da organização</i> A execução das atividades de coleta e análise de um programa de medição pode ser bastante custosa e, portanto, também pode ser de interesse da organização monitorá-las. Uma variação desta medida pode ser definida correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto. As análises também devem ser adaptadas a esse contexto. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo dessas atividades.

7.4 Medição no Nível E do MR-MPS

A característica principal do nível E do MR-MPS é a institucionalização dos processos padrão na organização. Até o nível F do MR-MPS cada projeto pode definir sua própria versão do processo a ser utilizado.

A partir do nível E, os processos em uso na organização, sejam eles executados no contexto de projetos ou de atividades organizacionais, devem ser padronizados na organização por meio da definição de um conjunto de processos padrão adequados a situações específicas de acordo com as diretrizes de adaptação definidas. Os principais processos responsáveis por essa padronização são Definição do Processo Organizacional, responsável pela definição e gerência dos ativos de processo da organização, e Avaliação e Melhoria do Processo Organizacional, responsável pela evolução de forma controlada desses ativos de processo e pela implantação de eventuais novas versões desses ativos nos projetos em execução ou novos projetos a serem iniciados.

Não apenas as definições dos processos deve ser padronizada na organização, mas também a execução deles. Nesse sentido, o processo Gerência de Recursos Humanos tem um papel importante por possibilitar à organização a capacitação dos seus colaboradores de forma que tenham as competências adequadas para atender às necessidades de negócio identificadas. Dessa forma, deve ser posta em prática uma política de recursos humanos envolvendo contratação, treinamento e criação de uma infraestrutura para gerência de conhecimento adequada, alinhada aos objetivos estratégicos da organização. Caso essa política não seja eficaz, os esforços para a institucionalização dos processos padrão da organização podem correr riscos.

A padronização dos processos também interfere nos procedimentos para Gerência de Projetos, motivo pelo qual esse processo tem alguns resultados esperados evoluídos e outros adicionados. Isso é necessário para garantir que os projetos se beneficiem dos ativos de processo construídos (por exemplo, a base histórica de estimativas), obrigatoriamente utilize um dos processos padrão devidamente adaptado de acordo com as diretrizes existentes e também contribuam para a evolução dos ativos de processo.

Por fim, o processo Gerência de Reutilização não está diretamente relacionado à padronização de processos na organização, mas garante que a organização comece a estruturar seus mecanismos para o programa de reutilização, que será alvo do processo Desenvolvimento para Reutilização do nível C do MR-MPS. No entanto, algumas organizações decidem definir como ativos

reutilizáveis os ativos de processo, contribuindo, assim, também para fomentar a institucionalização dos processos.

O processo de Medição no nível E não possui resultados esperados adicionais em relação ao que foi definido no nível F, no entanto, espera-se que a implementação desse processo já esteja mais madura e que o foco das medidas e as análises evoluam para possibilitar a melhoria dos processos e não somente o controle da execução de atividades ou projetos específicos. Um exemplo do uso de medição nesse cenário pode ser visto no Capítulo 8 deste livro.

7.4.1 - Medidas relacionadas a Avaliação e Melhoria do Processo Organizacional

O processo Avaliação e Melhoria do Processo Organizacional tem por propósito ‘determinar o quanto os processos padrão da organização contribuem para alcançar os objetivos de negócio da organização e para apoiar a organização a planejar, realizar e implantar melhorias contínuas nos processos com base no entendimento de seus pontos fortes e fracos’ [SOFTEX, 2011a].

O aspecto crítico desse processo está relacionado à condução do programa de melhoria de processos na organização. Além disso, é esperada a identificação de pontos de melhoria nos processos e a constante evolução dos ativos organizacionais. Também é esperado que os efeitos das melhorias implementadas sejam avaliados para garantir que os ativos estejam, de fato, em uso na organização e que as modificações realizadas ao longo do tempo tenham sido realmente adequadas e tenham surtido o efeito esperado.

A Tabela 7.9 apresenta medidas relacionadas à avaliação e melhoria do processo organizacional.

Tabela 7.9 – Medidas associadas a Avaliação e Melhoria do Processo Organizacional.

1	Número de solicitações de melhorias identificadas Deve-se ter cuidado com a análise desta medida, pois o número de melhorias identificadas pode variar muito de acordo com a fase de implantação e execução do programa de melhoria de processos em uma organização. Em geral, um maior número de solicitações de melhorias é identificado nas fases iniciais de implantação dos processos. Com o passar do tempo, a tendência é que as versões dos processos já definidos tornem-se adequadas às necessidades das equipes e dos projetos e, assim, os valores associados a essa medida diminuam. Variações desta medida podem analisar os valores em períodos predeterminados ou de forma acumulativa. As análises devem levar esse fato em consideração.
2	Taxa de implementação de melhorias <i>Número de melhorias identificadas que foram implementadas / Número total de melhorias identificadas</i> Da mesma forma que na medida anterior, dependendo do período em que o programa de

	melhoria de processos se encontra na organização, a interpretação desta medida deve ser diferenciada. Valores mais altos de implementação de melhorias, em geral, estão associados às fases iniciais da implantação de processos ou durante as revisões realizadas para ajustes devido a realinhamento estratégico ou a implementação de novos níveis de maturidade na organização. No entanto, valores sempre próximos do zero podem indicar uma lentidão, ou até mesmo descaso, da organização em relação à melhoria dos processos em uso na organização.
3	<i>Taxa de melhorias implementadas que surtiram o efeito desejado</i> <i>Número de melhorias cujos efeitos foram considerados satisfatórios / Número de melhorias implementadas</i> Nem sempre as melhorias implementadas na organização surtem os efeitos desejados. Caso o valor desta medida não seja alto, as razões devem ser investigadas. Esta medida também pode ser útil para avaliar se as melhorias estão, de fato, sendo avaliadas para confirmar sua adequação e pertinência o que pode ser o real motivo de valores baixos apurados.
4	<i>Esforço do programa de melhoria de processos</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para realizar as atividades relacionadas à gerência e execução do programa de melhoria de processos</i> A gerência e execução de um programa de melhoria de processos em uma organização não é uma tarefa trivial e, provavelmente, demandará esforço e dedicação. A análise desta medida pode ser útil para controlar a alocação da equipe às atividades relacionadas como também para identificar potencial risco de não se cumprir o cronograma do programa de melhoria de processos em curso. O custo do programa de melhoria de processos pode ser derivado de uma variação desta medida.

7.4.2 - Medidas relacionadas a Definição do Processo Organizacional

O processo Definição do Processo Organizacional tem por propósito ‘estabelecer e manter um conjunto de ativos de processo organizacional e padrões do ambiente de trabalho usáveis e aplicáveis às necessidades de negócio da organização’ [SOFTEX, 2011a]. Dessa forma, esse processo tem um papel fundamental na padronização dos processos e demais procedimentos adotados pela organização. A identificação de medidas para esse processo é dificultada por dois motivos: a maior parte dos produtos gerados pela sua execução são os processos padrão da organização (em geral, com formatos predeterminados) e o número de execuções do processo é limitado (em geral, são poucos os processos definidos em um programa de melhoria de processos em comparação com outros tipos de documentos que existem em maior profusão, como, por exemplo, casos de uso em projetos de desenvolvimento). A Tabela 7.10 apresenta medidas relacionadas à definição dos processos padrão da organização.

Tabela 7.10 – Medidas associadas a Definição do Processo Organizacional.

1	<i>Número de inadequações dos processos padrão</i> Esta medida indica o número de inadequações identificadas nos processos padrão da organização. Valores elevados desta medida podem indicar a necessidade de uma revisão geral dos processos em questão.
---	---

2	<i>Taxa de projetos na organização que utilizam os processos padrão</i> <i>Número de projetos na organização que utilizam os processos padrão / Número total de projetos na organização</i> É importante saber o quanto o uso dos processos padrão da organização está sendo, de fato, institucionalizado. Durante o início do programa de melhoria de processos, pode ser que esta medida apresente valores baixos, mas espera-se que, com o tempo, a tendência seja de crescimento, com o seu valor chegando a 1. Valores baixos desta medida podem indicar, por exemplo, a inadequação dos processos existentes aos projetos atuais ou a falta de apoio da alta gerência da organização em obrigar que os projetos sigam os processos existentes. Outra possível razão pode ser a inexistência de procedimentos de adaptação adequados. Uma variação desta medida pode considerar apenas os projetos da unidade organizacional em questão.
---	---

7.4.3 - Medidas relacionadas à evolução de Gerência de Projetos no nível E

O processo Gerência de Projetos tem por propósito ‘estabelecer e manter planos que definem as atividades, recursos e responsabilidades do projeto, bem como prover informações sobre o andamento do projeto que permitam a realização de correções quando houver desvios significativos no desempenho do projeto’ [SOFTEX, 2011a].

O aspecto crítico relacionado à evolução do processo Gerência de Projetos no nível E é o uso dos ativos de processo organizacionais. Assim, a partir do nível E, a gerência de projetos passa a ser realizada com base no processo definido para o projeto a partir do conjunto de processos padrão da organização e, também, na integração de diferentes planos. O uso dos ativos de processo também possibilita a criação e uso de uma base histórica de estimativas na organização. Quanto melhor a base de estimativas, mais chances existirão de que o projeto seja planejado de forma adequada e precisa e, portanto, menos riscos relacionados ao atraso de cronograma e estouro de orçamento tendem a acontecer.

A Tabela 7.11 apresenta medidas relacionadas à gerência de projetos conforme aplicável ao nível E do MR-MPS.

Tabela 7.11 – Medidas associadas a Gerência de Projetos no nível E.

1	<i>Precisão média das estimativas realizadas a partir da base histórica</i> <i>Somatório da precisão de estimativas dos projetos / Número total de projetos que utilizaram a base histórica para realizar as estimativas</i> Se os valores estimados para os projetos se desviarem muito dos obtidos, deve-se investigar a estrutura (por exemplo, estratificação de projetos e detalhamento de atividades/fases dos projetos) e conteúdo (por exemplo, acurácia dos valores base coletados) da base de estimativas e deve-se tomar as ações pertinentes para melhorá-la. Estimativas são, como o nome diz, valores estimados e, portanto, não conseguem ‘adivinhar’ os valores reais que serão obtidos. Dessa forma, é natural pensar que os valores reais obtidos pelos projetos serão diferentes daqueles estimados. No entanto, quanto melhor e mais
---	---

	representativa for a base histórica da organização, menores serão os erros de estimativas observados.
2	Taxa de adaptações realizadas no processo definido para o projeto <i>Número de adaptações ao processo padrão presentes no processo definido para o projeto / Número possível de adaptações ao processo padrão da organização</i> Esta medida pode ser útil para identificar o quão distante do processo padrão é o processo definido para um projeto. Valores muito altos desta medida podem sinalizar a necessidade de definição de um novo processo padrão para tipos específicos de projetos.

Uma característica do nível E (e superiores) do MR-MPS é a definição de processos padrão para os diferentes processos exigidos pelo modelo. Associado a isso, é esperado que haja constantemente um melhor detalhamento das atividades que compõem um processo, eliminando atividades que se comportem como ‘caixas pretas’ provendo tarefas com granularidade adequada para o entendimento de todo o processo pelos papéis envolvidos e que, também, sejam úteis para a montagem de uma base histórica de estimativas adequada.

Dessa forma, com o aumento do detalhamento das atividades necessárias para conduzir os projetos, pode ser mais fácil a adoção de melhores medidas para monitoração de prazos e custos do projeto, que permitam indicar se um projeto provavelmente vai demorar mais tempo (ou custar mais) para ser terminado em vez de apenas indicar que o projeto está atrasado (ou com custo maior que o previsto). O conjunto de medidas apresentado na Tabela 7.12 possibilita que, a partir do progresso atual do projeto, seja possível dar um indicativo de como ele caminhará até a sua conclusão no que se refere a atrasos ou adiantamentos em relação ao cronograma e ao custo, respectivamente.

Tabela 7.12 – Medidas associadas a Gerência de Projetos no nível E – monitoração do projeto.

1	Progresso do projeto em relação a cronograma (ou, SPI - Schedule Performance Index) $SPI = EV / PV$, onde: <i>EV (Earned Value) é o custo planejado para o trabalho realizado até o momento considerado; e</i> <i>PV (Planned Value) é o custo planejado para o trabalho que deve ser realizado até um dado momento, de acordo com a baseline do projeto (planejamento utilizado como referência para monitoração e controle do projeto);</i> O SPI (ou índice de desempenho de cronograma, em português) [PMI, 2008] indica o desempenho do projeto em relação aos prazos. Ele pode ser usado para estimar como o projeto caminhará até a sua conclusão em relação ao prazo. Se o valor de SPI é menor que 1, então o projeto está atrasado. Se o valor de SPI é maior que 1, então o projeto está adiantado. Se o valor é 1, então o projeto está em dia com o cronograma.
2	Progresso do projeto em relação a custo (ou CPI - Cost Performance Index) $CPI = EV / AC$, onde: <i>EV (Earned Value) é o custo planejado para o trabalho realizado até o momento considerado; e</i> <i>AC (Actual Cost): é o custo real para o trabalho realizado até o momento considerado.</i> O CPI (ou índice de desempenho de custo, em português) [PMI, 2008] indica o desempenho do projeto em relação aos custos. Ele pode ser usado para estimar como o projeto caminhará até

a sua conclusão em relação aos custos. Se o valor de CPI é menor que 1, então o projeto está custando mais que o planejado. Se o valor de SPI é maior que 1, então o projeto está custando menos que o planejado. Se o valor é 1, então o custo do projeto está aderente ao que foi planejado.

7.4.4 - Medidas relacionadas a Gerência de Recursos Humanos

O processo Gerência de Recursos Humanos tem por propósito 'prover a organização e os projetos com os recursos humanos necessários e manter suas competências adequadas às necessidades do negócio' [SOFTEX, 2011a].

Há três aspectos relevantes dentro do contexto do processo Gerência de Recursos Humanos no MR-MPS: o planejamento, recrutamento e avaliação de recursos humanos; o treinamento organizacional para os colaboradores; e a existência de uma política de gerência de conhecimento. Todas as atividades relacionadas a esse processo têm uma origem comum que é o atendimento a objetivos estratégicos estabelecidos pela organização.

A Tabela 7.13 apresenta medidas relacionadas ao planejamento, recrutamento e avaliação de recursos humanos. Um dos pontos críticos desse aspecto da Gerência de Recursos Humanos é a capacidade de a organização ter disponíveis colaboradores competentes o suficiente para que as necessidades de negócio alinhadas aos objetivos estratégicos definidos e dos projetos em execução sejam atendidas.

Tabela 7.13 – Medidas associadas a Gerência de Recursos Humanos.

1	Taxa média de rotatividade de pessoal <i>Número de colaboradores que saíram da organização no período / Número total de colaboradores na organização</i> Uma alta taxa de rotatividade de pessoal pode representar riscos para a organização tanto pela falta de mão de obra para executar os projetos, quanto pelo impacto negativo que pode trazer para os projetos em execução devido à troca de profissionais. Também pode representar aumentos de custos, por exemplo, devido às obrigações legais ou necessidades de treinamento e capacitação.
2	Taxa de captação de pessoal <i>Número de colaboradores contratadas pela organização no período / Número total de colaboradores na organização</i> Esta medida deve ser avaliada em conjunto com a medida referente à rotatividade de pessoal. Caso a rotatividade seja alta e a taxa de contratação baixa, pode indicar uma tendência de decréscimo (ou insuficiência) da força de trabalho da organização que, se não planejada ou esperada, pode representar riscos futuros. Uma variação desta medida pode ser referente à taxa de capacitação de pessoal qualificado, ou seja, que não precise de um período extenso de treinamento, não onerando assim a organização com os custos derivados destas atividades. Indiretamente, essa medida também pode dar um indicativo do poder de atração desse tipo de profissional que a organização possui, indicando possivelmente uma boa imagem da organização entre a comunidade.
3	Nível de satisfação da equipe É importante para uma organização saber o grau de satisfação de seus funcionários. A médio e

longo prazos, insatisfações podem gerar uma alta taxa de rotatividade de pessoal ou baixa produtividade.

Uma forma de calcular essa medida é através de uma pesquisa de opinião para capturar o grau de satisfação entre os colaboradores da organização. Para cada questão de um formulário específico pode-se calcular a mediana das respostas da questão considerando valores numéricos para as opções disponíveis (por exemplo, 1 – Discordo Plenamente; 2 – Discordo; 3 – Indiferente; 4 – Concordo; 5 – Concordo Plenamente). Por sua natureza, essa medida, em geral, tem sua coleta realizada em períodos longos, por exemplo, a cada seis meses.

A Tabela 7.14 apresenta medidas relacionadas à ocorrência dos treinamentos organizacionais. Um dos pontos críticos desse aspecto da Gerência de Recursos Humanos é a capacidade de a organização prover a capacitação necessária para atender aos seus objetivos estratégicos e de negócio e o quanto a estratégia definida para isso está sendo efetiva.

Tabela 7.14 – Medidas associadas a Gerência de Recursos Humanos - treinamentos.

1	<i>Número médio de horas de treinamento por colaborador</i> Muitas organizações definem metas anuais de treinamento de seus funcionários. Esta medida pode ser útil para avaliar se essas metas estão sendo cumpridas ou não e, se for o caso, tomar as ações corretivas necessárias.
2	<i>Taxa de treinamentos organizacionais previstos no planejamento anual que são efetivamente realizados</i> <i>Número de treinamentos organizacionais realizados no período / Número total de treinamentos organizacionais previstos para serem realizados no período</i> Esta medida tem por objetivo avaliar o quanto o plano de treinamento organização está sendo seguido na organização. Valores baixos apurados podem ser indicativo da lentidão do programa de treinamento, o que pode impactar na qualificação geral dos colaboradores e causar efeitos colaterais, por exemplo, na produtividade dos projetos ou no grau que os colaboradores seguem efetivamente os processos. A falha em realizar os treinamentos planejados também pode ter impacto nos objetivos estratégicos da organização, que devem direcionar a política de capacitação da organização.
3	<i>Taxa de efetividade dos treinamentos</i> A efetividade dos treinamentos deve ser avaliada periodicamente. Em geral, essa avaliação é feita com base na execução de tarefas onde o que foi ensinado durante o treinamento pode ser aplicado. Outra forma de avaliação é através de provas ou exames. De qualquer forma, esta medida pode indicar, em termos gerais, se os colaboradores da organização estão tirando proveito dos treinamentos. Índices muito baixos podem levar a organização a reavaliar a estratégia de treinamento adotada. Essa medida pode ser estratificada, por exemplo, por treinamento realizado ou período.

A Tabela 7.15 apresenta medidas relacionadas à gerência de conhecimento. Um dos pontos críticos desse aspecto da Gerência de Recursos Humanos é a capacidade de a organização implantar uma estratégia de gerência de conhecimento que seja efetiva, difundida entre os colaboradores e que traga benefícios de fato.

Tabela 7.15 – Medidas associadas a Gerência de Recursos Humanos – gerência de conhecimento.

1	<i>Número de itens de conhecimento</i> Analisar o número de itens de conhecimento existentes pode ser útil para a organização avaliar a tendência de evolução do conteúdo da base de conhecimento em uso. Um número pequeno pode ser esperado nos momentos iniciais de implantação do processo Gerência de
---	--

	Recursos Humanos. Espera-se que, com o tempo, a tendência seja de crescimento. Uma alternativa a esta medida é avaliar a taxa de evolução da base de conhecimento, que pode ser calculada através da divisão do número de itens de conhecimento identificados no período pelo número total de itens de conhecimento.
2	<i>Número de utilizações registrado por cada item de conhecimento</i> Um número baixo de utilizações deve ser investigado para avaliar, por exemplo, se há falta de institucionalização de fato dos mecanismos associados com a gerência de conhecimento, ou, até mesmo, se alguns dos itens de conhecimento deveriam ser excluídos da base. Uma dificuldade para o cálculo desta medida pode ser a identificação de quando e se um item de conhecimento foi utilizado. Uma variação desta medida pode levar em consideração a taxa de utilizações, dividindo-se o valor obtido pelo número total de itens de conhecimento existentes. Outra variação desta medida pode ser avaliar o grau de utilidade percebido pelos usuários da base de conhecimento de cada um dos itens cadastrados. Itens associados com valores baixos podem ser reavaliados em relação à pertinência de permanecerem na base.
3	<i>Esforço do programa de gerência de conhecimento</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para realizar as atividades relacionadas à gerência de conhecimento</i> A gerência e execução de um programa de gerência de conhecimento em uma organização não é uma tarefa trivial e, provavelmente, demandará esforço e dedicação. A análise desta medida pode ser útil para controlar a alocação da equipe às atividades relacionadas como também para identificar potencial risco de não se cumprir o cronograma planejado. O custo do programa de gerência de conhecimento pode ser derivado de uma variação desta medida. Essa medida, no entanto, pode não ser trivial de ser coletada.

7.4.5 - Medidas relacionadas a Gerência de Reutilização

O processo Gerência de Reutilização tem por propósito 'gerenciar o ciclo de vida dos ativos reutilizáveis' [SOFTEX, 2011a]. O aspecto crítico relacionado a esse processo é a institucionalização de mecanismos eficientes para a identificação, avaliação, classificação e gerência de ativos considerados reutilizáveis pela organização. Tradicionalmente, a reutilização de software esteve associada a componentes de software e código fonte, no entanto, o escopo desse processo abrange quaisquer produtos de trabalho que a organização classifique como candidatos à reutilização.

Para que um ativo seja incluído na base de ativos reutilizáveis é preciso que ele atenda a critérios de aceitação e de certificação preestabelecidos. Um critério de aceitação está relacionado a um conjunto de atributos de qualidade desejáveis que credencie um ativo a fazer parte da biblioteca de ativos reutilizáveis, por exemplo, se o seu propósito está condizente com as necessidades da organização. Um critério de certificação, por sua vez, atende ao que ele se propõe realizar, por exemplo, se o ativo não possui defeitos ou foi testado, no caso de componentes de software.

A Tabela 7.16 apresenta medidas relacionadas à reutilização de software.

Tabela 7.16 – Medidas associadas a Gerência de Reutilização.

1	Número de ativos reutilizáveis <i>Número de ativos reutilizáveis atualmente existentes na biblioteca de ativos reutilizáveis</i>
	Analisar o número de ativos reutilizáveis existentes pode ser útil para a organização avaliar a tendência de evolução do conteúdo da biblioteca de ativos reutilizáveis. Um número pequeno pode ser esperado nos momentos iniciais de implantação do processo Gerência de Reutilização, no entanto, espera-se que haja uma tendência crescimento e, possivelmente, mais tarde, se estabilize. Uma alternativa a esta medida é avaliar a taxa de evolução da biblioteca de ativos reutilizáveis, que pode ser calculada através da divisão do número de ativos reutilizáveis identificados no período pelo número total de ativos reutilizáveis.
2	Número de reutilizações por ativo reutilizável
	Um número baixo de reutilizações deve ser investigado para avaliar, por exemplo, se há falta de institucionalização de fato dos mecanismos de reutilização, se as reutilizações continuam acontecendo indevidamente de maneira <i>ad hoc</i> ou, até mesmo, se alguns dos ativos considerados reutilizáveis deveriam ser descontinuados como tal. Uma variação desta medida pode levar em consideração a taxa de reutilizações, dividindo-se o valor obtido pelo número total de ativos reutilizáveis existentes.
3	Taxa de ativos submetidos, mas não aceitos <i>Número de ativos reutilizáveis não aceitos / Número total de ativos submetidos à biblioteca de ativos reutilizáveis</i>
	Um grande número de ativos candidatos submetidos à base de ativos reutilizáveis e não aceitos pode indicar um desconhecimento dos colaboradores do tipo de ativo reutilizável desejado e/ou esperado na organização. Devido a isso pode ser necessário reforçar o treinamento dos colaboradores ou reavaliar os tipos de ativos reutilizáveis de interesse da organização. Um número baixo de ativos submetidos pode indicar falta de interesse dos colaboradores ou uma saturação da biblioteca de ativos reutilizáveis (o que deve ser confirmado a partir da análise do conteúdo atual e taxa de evolução da biblioteca de ativos reutilizáveis).
4	Taxa de ativos aceitos, mas não certificados <i>Número de ativos reutilizáveis não certificados / Número total de ativos aceitos na biblioteca de ativos reutilizáveis</i>
	Um grande número de ativos aceitos na biblioteca, porém não certificados, pode indicar um grau baixo de qualidade dos candidatos a ativos submetidos. Devido a isso, pode ser necessário reavaliar os critérios de qualidade (nem sempre o melhor é o que é viável para organização) ou investir mais esforço na adequação dos ativos candidatos às características de qualidade desejáveis e/ou esperadas pela organização.

7.5 Medição no Nível D do MR-MPS

O nível D do MR-MPS não acrescenta nenhum novo requisito ou interpretação ao processo Medição, no entanto, esse nível proporciona à organização a possibilidade de definição de um conjunto de medidas relacionadas à engenharia do software, representada pelos processos Desenvolvimento de Requisitos, Integração do Produto, Projeto e Construção do Produto, Validação e Verificação.

Até esse nível o modelo não prevê explicitamente que atividades básicas presentes em qualquer ciclo de vida de desenvolvimento de software, como codificação e testes, sejam executadas. Obviamente, para que um produto de

software seja considerado pronto e, portanto, possa ser entregue ao cliente de forma adequada, essas atividades precisam ser executadas. Logo, é de se imaginar que, mesmo em níveis anteriores de maturidade, a organização já utilize algumas das medidas listadas nas próximas subseções. Variações de algumas das medidas aqui apresentadas já foram discutidas anteriormente relacionadas ao processo Gerência de Requisitos. Dessa forma, recomenda-se a leitura da Seção 7.2.

De forma geral, as medidas apresentadas estão preocupadas em identificar a qualidade dos produtos intermediários e finais de cada um dos processos do nível, além do produto de software final, antes, durante e após a homologação com o cliente. Associadas a essas medidas estão medidas de retrabalho para avaliar o esforço (e, indiretamente, o custo) de não se gerar uma primeira versão dos produtos com qualidade. Apesar de as tabelas incluírem apenas uma versão da medida de qualidade e outra para a medida de retrabalho, elas podem ser analisadas de várias formas, por exemplo: (i) de forma única e isolada no contexto de cada processo; (ii) de forma única e isolada no contexto de cada projeto; (iii) relacionando uma medida com outras (por exemplo, o efeito causado pela adoção de inspeções de requisitos nos testes de homologação interna e externa ou o efeito da adoção de testes de software nas manutenções no período de garantia do software); (iv) por meio de uma série histórica entre um grupo de projetos na organização; (v) por meio da análise de diferentes rodadas de testes e inspeções dentro de um mesmo projeto (para, por exemplo, avaliar quantos defeitos são detectados e/ou inseridos em cada uma das etapas).

As medidas relativas a esse nível têm um papel importante na implementação dos níveis B e A do modelo, pois, certamente, estarão no caminho crítico do desenvolvimento de software e, portanto, serão utilizadas para o controle estatístico dos processos e gerência quantitativa dos projetos. Desse modo, uma definição deficiente das medidas para monitoração dos processos do nível D do MR-MPS, seja pela granularidade ou periodicidade inadequadas ou por medidas que não capturem elementos importantes desses processos, pode ter impacto negativo no programa de melhoria de processos das organizações que queiram alcançar a alta maturidade no desenvolvimento de software.

7.5.1 - Medidas relacionadas a Desenvolvimento de Requisitos

O processo Desenvolvimento de Requisitos tem por propósito 'definir os requisitos do cliente, do produto e dos componentes do produto' [SOFTEX, 2011a]. O ponto crítico associado a esse processo é a capacidade de os projetos conseguirem fazer boas análises de requisitos. Diferentemente do processo Gerência de Requisitos, o foco não é a gerência da evolução dos requisitos, mas sua identificação e evolução a ponto de garantir que tenham sido bem especificados e estejam prontos e adequados para serem transformados em elementos de projeto (*design*). Os requisitos precisam ser avaliados tanto internamente quanto externamente para sua adequação aos propósitos dos projetos e aos anseios dos clientes. Então, de alguma forma, alguns dos elementos importantes deste processo também têm interseção com os processos Verificação e Validação.

Para simplificação, nesta seção é utilizado de forma genérica o termo 'especificação de requisitos'. Os requisitos podem abranger um conjunto extenso de nomenclaturas e produtos de trabalho, como, por exemplo, documento de visão, modelo de análise, requisitos funcionais etc.

A importância dos requisitos para a boa execução do projeto foi brevemente discutida na Seção 7.2, logo recomenda-se a sua leitura. A Tabela 7.17 apresenta medidas relacionadas ao desenvolvimento de requisitos.

Tabela 7.17 – Medidas associadas a Desenvolvimento de Requisitos.

1	Densidade de defeitos na especificação de requisitos <i>Número de defeitos identificados na especificação de requisitos / Tamanho do projeto</i>
	Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na especificação de requisitos e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes.. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por tipo (por exemplo, omissão, ambiguidade etc.) ou complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto). A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas.
2	Esforço de retrabalho para correção de defeitos na especificação de requisitos <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados na especificação de requisitos</i>
	Os gastos com os acertos na especificação de requisitos deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade da especificação e, consequentemente, desperdício de tempo e dinheiro.

Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para elaboração da primeira versão da especificação de requisitos (que foi avaliada). As análises também devem ser adaptadas a estes cenários. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.

7.5.2 - Medidas relacionadas a Integração do Produto

O processo Integração do produto tem por propósito 'compor os componentes do produto, produzindo um produto integrado consistente com seu projeto, e demonstrar que os requisitos funcionais e não-funcionais são satisfeitos para o ambiente alvo ou equivalente' [SOFTEX, 2011a].

Muitas organizações confundem teste integrado com os procedimentos necessários para se fazer a integração do software, que são os procedimentos, de fato, requeridos pelo conjunto de resultados esperados desse processo. Para que um teste de integração seja bem sucedido, é importante que todas as unidades que serão integradas sejam adequadamente construídas de acordo com as especificações técnicas e tenham tido as interfaces bem projetadas e codificadas, de forma que os problemas identificados durante os procedimentos de integração tenham origem, de fato, na integração e não nas unidades de código construídas.

A Tabela 7.18 apresenta medidas relacionadas à construção e integração dos elementos de código. Algumas das medidas apresentadas podem não ser facilmente coletadas e/ou analisadas em diferentes contextos, como nos quais o software construído é simples ou há procedimentos automatizados para a realização das integrações.

Tabela 7.18 – Medidas associadas a Integração do Produto.

1	<i>Densidade de defeitos identificados nos testes de integração</i> <i>Número de defeitos identificados no teste de integração / Tamanho do projeto</i> Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na construção das unidades de código e suas interfaces necessárias para a integração. As causas e efeitos desses problemas para o projeto devem ser investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Caso os testes de integração sejam superficiais ou os projetos comumente executados na organização não necessitem, na prática, de procedimentos elaborados de integração, os valores coletados para esta medida provavelmente não apresentarão insumos suficientes para análises adequadas.
---	---

2	<i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos em testes de integração</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados durante a execução dos testes de integração</i> Os gastos com os acertos decorrentes dos testes de integração deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade da codificação e do projeto de interfaces e, consequentemente, desperdício de tempo e dinheiro. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para construção da primeira versão do código de unidades. As análises também devem ser adaptadas a esses contextos. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.
---	---

7.5.3 - Medidas relacionadas a Projeto e Construção do Produto

O processo Projeto e Construção do Produto tem por propósito 'projetar, desenvolver e implementar soluções para atender aos requisitos' [SOFTEX, 2011a]. Muitas vezes, principalmente em projetos que utilizam modelagem orientada a objetos (leia-se, na prática, uso de diagramas da UML), as atividades de análise e projeto (*design*) se confundem em algum momento, pois vários dos diagramas utilizados podem servir tanto para um propósito quanto para outro. De uma forma geral, deve-se ter em mente que, tipicamente, as atividades de análise (de cujo foco é o processo Desenvolvimento de Requisitos) estão preocupadas em descrever 'o que precisa ser feito', enquanto que as atividades de projeto (de cujo foco é o processo Projeto e Construção do Produto) estão preocupadas em descrever 'como deve ser feito'. Esse processo também prevê a codificação e o teste do software, tendo integração, dessa forma, com o processo Integração do Produto. Essas atividades tendem a ser mais bem sucedidas quanto melhor for o detalhamento técnico do projeto (*design*) do software.

Para simplificação, nesta seção os elementos de projeto são mencionados de forma genérica como 'especificação técnica' e podem abranger um conjunto extenso de nomenclaturas e produtos de trabalho, como detalhamento técnico, algoritmos estruturados, modelos de classes, modelos de entidade relacionamento de projeto ou físico, diagramas de sequência, diagramas de componentes e de implantação etc.

A Tabela 7.19 apresenta medidas relacionadas às atividades de projeto (*design*) e construção do produto.

Tabela 7.19 – Medidas associadas a Projeto e Construção do Produto.

1	Densidade de defeitos identificados na especificação técnica <i>Número de defeitos identificados na especificação técnica / Tamanho do projeto</i> Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na especificação técnica e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por origem (por exemplo, falha na especificação de requisitos, inserido durante a construção da especificação técnica etc.), complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto) ou elemento de projeto afetado (por exemplo, diagrama de casos de uso, diagrama de sequência, modelo entidade-relacionamento etc.). A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas.
2	Esforço de retrabalho para correção de defeitos na especificação técnica <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados na especificação técnica</i> Os gastos com os acertos na especificação técnica deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade da especificação e, conseqüentemente, desperdício de tempo e dinheiro. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para elaboração da primeira versão da especificação técnica avaliada. As análises também devem ser adaptadas a esses contextos. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.
3	Grau de cobertura da especificação técnica em relação à especificação de requisitos <i>Número de requisitos para os quais foram feitas especificações técnicas / Número total de requisitos do projeto</i> O objetivo desta medida é avaliar a taxa de requisitos para os quais foi elaborada uma especificação técnica. É comum(mas não quer dizer que seja adequado) que, para alguns requisitos mais simples, alguns projetos não elaborem especificações técnicas detalhadas, visando à economia de recursos. No entanto, a consequência dessa decisão pode ser excesso de defeitos e retrabalho nas etapas posteriores do desenvolvimento de software. Dessa forma, essa medida pode ser útil para correlacionar com outras medidas associadas ao número de defeitos encontrados nos diferentes tipos de testes realizados (em geral, mas não somente, caso a origem deles seja decorrente de falhas na especificação técnica ou de requisitos).
4	Densidade de defeitos identificados nos testes de unidade <i>Número de defeitos identificados no teste de unidade / Tamanho do projeto</i> Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na construção das unidades de código e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Nem sempre é comum ou prático o registro dos problemas ocorridos durante a execução dos testes de unidade devido à forma como são executados. Por exemplo, rotinas de testes automatizados executados automaticamente durante o <i>commit</i> do código fonte ou obrigatoriedade de os desenvolvedores executarem um roteiro simplificado de testes antes de

	dar a tarefa de codificação finalizada. Nesses casos, os resultados das atividades executadas podem não fornecer resultados suficientes e/ou confiáveis para que as análises sejam adequadas.
5	<i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos identificados em testes de unidade</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados durante a execução dos testes de unidade</i> Os gastos com os acertos decorrentes dos testes de unidade deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade da codificação realizada e, consequentemente, desperdício de tempo e dinheiro. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para construção da primeira versão do código de unidades. As análises também devem ser adaptadas e esses contextos. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.

7.5.4 - Medidas relacionadas a Validação

O processo Validação tem por propósito 'confirmar que um produto ou componente do produto atenderá a seu uso pretendido quando colocado no ambiente para o qual foi desenvolvido' [SOFTEX, 2011a]. A validação está associada com a garantia de que os requisitos do software atendem, de fato, ao que é desejado pelos clientes finais. Apesar de o modelo não especificar explicitamente em que momentos os procedimentos de validação devam ser executados, não é uma boa prática fazer essa avaliação apenas ao final do projeto. Sabe-se que quanto mais cedo dentro do ciclo de desenvolvimento do software problemas nos requisitos forem identificados, menos custosas serão as atividades para removê-los.

A Tabela 7.20 apresenta medidas relacionadas à validação de software.

Tabela 7.20 – Medidas associadas a Validação.

1	<i>Densidade de defeitos identificados em avaliação de requisitos</i> <i>Número de defeitos identificados pelo cliente na especificação de requisitos / Tamanho do projeto</i> Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na especificação de requisitos e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por tipo (por exemplo, omissão, ambiguidade etc.) ou complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto). A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas.
---	--

2	<i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos nos requisitos</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados na especificação de requisitos</i> Os gastos com os acertos na especificação de requisitos deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade dos produtos de trabalho das atividades anteriores aos testes e, consequentemente, desperdício de tempo e dinheiro. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto para elaboração da primeira versão da especificação de requisitos (que foi avaliada). As análises também devem ser adaptadas a esses cenários. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho.
3	<i>Densidade de defeitos identificados nos testes de homologação</i> <i>Número de defeitos identificados no teste de homologação / Tamanho do projeto</i> Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas nas etapas anteriores do desenvolvimento de software e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por origem (por exemplo, item originado por problema de algoritmo, nos requisitos, no projeto, por teste mal realizado etc.), complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto) ou por módulo onde o problema foi identificado. A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas. Esta medida pode ser adaptada para se referir à homologação interna ou à homologação externa. De fato, não parece adequado associar os dois eventos a uma única medida.
4	<i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos em testes de homologação</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados durante a execução dos testes de homologação</i> Os gastos com os acertos decorrentes dos testes de homologação deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade da especificação e, consequentemente, desperdício de tempo e dinheiro. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto nas atividades de testes anteriores. As análises também devem ser adaptadas a esses contextos. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho. Esta medida pode ser adaptada para se referir à homologação interna ou à homologação externa. De fato, não parece adequado associar os dois eventos a uma única medida.
5	<i>Densidade de defeitos identificados durante a homologação</i> <i>Número de defeitos identificados durante a homologação / Tamanho do projeto</i> A ocorrência de defeitos durante a homologação deveria ser baixa, pois espera-se que os problemas sejam identificados ainda em ambiente de testes. Uma ocorrência alta de defeitos durante a homologação provavelmente trará custos elevados associados ao retrabalho e, também, pode ser causa de insatisfação do cliente. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. Além disso, a análise desta medida segue o mesmo padrão associado com a medida <i>Densidade de defeitos identificados nos testes de homologação</i>.

6	<i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos identificados durante a homologação</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados durante a homologação</i>
	A análise desta medida segue o mesmo padrão associado com a medida <i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos em testes de homologação</i> .

7.5.5 - Medidas relacionadas a Verificação

O processo Verificação tem por propósito ‘confirmar que cada serviço e/ou produto de trabalho do processo ou do projeto atende apropriadamente os requisitos especificados’ [SOFTEX, 2011a]. A verificação está associada com os procedimentos necessários para garantir que, a cada etapa do desenvolvimento de software, os produtos de uma etapa do desenvolvimento de software sejam adequadamente transformados em outros de forma ordenada, preservando as informações importantes, evoluindo-as de acordo com as necessidades do processo de software em uso, sem deturpá-las ou inserindo defeitos. Em teoria, qualquer produto de trabalho pode ser verificado, porém, em geral, a execução desse processo está associada ao documento de requisitos (por exemplo, por meio de inspeções ou revisões por pares). Além disso, espera-se que sejam realizados testes de forma a avaliar a incidência de defeitos na codificação.

A Tabela 7.21 apresenta medidas relacionadas à verificação de software.

Tabela 7.21 – Medidas associadas a Verificação.

1	<i>Densidade de defeitos identificados em revisões por pares</i> <i>Número de defeitos identificados nas revisões por pares / Tamanho do projeto</i>
	Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas nos documentos produzidos e deve ter suas causas e efeitos para o projeto investigados. Em teoria todos os documentos produzidos (sejam no escopo de projetos de desenvolvimento ou decorrente de atividades no âmbito organizacional) podem ser alvo de revisões por pares, no entanto, é mais comum que estas atividades se refiram ao documento de requisitos em suas mais diferentes formas, como especificação de requisitos, documento de visão ou casos de uso. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por tipo de documento avaliado, tipo de defeito (por exemplo, para o documento de requisitos: omissão, ambiguidade etc.) ou complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto). A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas.
2	<i>Esforço para realização de revisões por pares</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para executar as revisões por pares</i>
	Esta medida pode ser útil para se correlacionar com a densidade de defeitos identificados e também com o esforço de retrabalho para corrigir tais defeitos. Uma das possíveis causas da má qualidade da documentação pode ser a insuficiência de informações obtidas para a sua

	elaboração, atrasos no cronograma que levam as atividades a serem executadas de forma mais rápida e com menos qualidade, falta de treinamento dos profissionais etc.
3	Densidade de defeitos identificados nos testes de software <i>Número de defeitos identificados nos testes de software / Tamanho do projeto</i> Um número alto de defeitos é indicativo claro de problemas na elaboração do software. As causas e efeitos destes problemas para o projeto devem ser investigados. Valores baixos associados com medidas de densidade de defeitos nem sempre são indicativos de boa qualidade do produto de trabalho avaliado. Estas medidas devem ser correlacionadas com outras para avaliar se os defeitos estão de fato sendo identificados ou se os procedimentos adotados são incapazes capturá-los e efeitos colaterais são gerados em outras etapas do desenvolvimento de software e/ou produtos de trabalho. O uso da densidade de defeitos, dada pela divisão pelo tamanho do projeto, é preferível ao uso do número de defeitos puro devido à possibilidade, com a normalização, de comparação entre projetos com características e funcionalidades diferentes. Variações dessa medida, em geral, incluem classificação dos defeitos por origem (por exemplo, item originado por problema de algoritmo, nos requisitos, no projeto, por casos de testes mal especificados etc.), complexidade/impacto para o projeto (simples, médio, alto) ou por módulo onde o problema foi identificado. A estratificação da informação pode possibilitar análises mais detalhadas e ações mais efetivas. Muitas vezes os problemas identificados nos testes de software são decorrentes de problemas em etapas anteriores do processo de desenvolvimento, por isso as análises devem ser feitas com cuidado e utilização boas informações de contexto e, talvez, correlacionando com outras medidas coletadas.
4	Esforço para realização de testes <i>Número de horas gastas pela equipe para executar os testes</i> Esta medida pode ser útil para se correlacionar com a densidade de defeitos identificados e também com o esforço de retrabalho para corrigir tais defeitos. Uma das possíveis causas da má qualidade da versão obtida para testes, atrasos no cronograma que levam as atividades a serem executadas de forma mais rápida e com menos qualidade, falta de treinamento dos profissionais etc.
5	Esforço de retrabalho para correção de defeitos <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados</i> Os gastos com os acertos dos defeitos identificados deveriam ser relatados e analisados para avaliar o impacto na condução do projeto. Valores altos para o índice de retrabalho é possível indicativo de má qualidade dos documentos avaliados (no caso de inspeções) ou do código produzido (no caso dos testes) e, conseqüentemente, desperdício de tempo e dinheiro. Variações desta medida podem ser definidas correlacionando o valor obtido com o esforço total do projeto ou o esforço gasto nas atividades anteriores que produziram os produtos de trabalho avaliados. As análises também devem ser adaptadas e esses contextos. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho. Esta medida pode ser adaptada para se referir a revisões por pares ou testes. De fato, não parece adequado associar os dois eventos a uma única medida.
6	Taxa de defeitos corrigidos <i>Número de defeitos identificados nos testes que foram corrigidos / Número total de defeitos identificados nos testes</i> Nem sempre é possível ou desejável corrigir todos os problemas identificados sejam nos testes ou nas inspeções. Os motivos podem ser devido, por exemplo, à criticidade baixa dos problemas ou baixo risco representado pela existência do problema para o desenvolvimento de software ou o software em operação. A existência desta medida, no entanto, pode ser útil para dar visibilidade a estes valores e, se for o caso, tomar as ações pertinentes. A estratificação desta medida pode ser a mesma utilizada para o registro dos defeitos analisados.
7	Taxa de cobertura de testes <i>Número de funcionalidades para os quais foram executados testes / Número total de funcionalidades</i> Muitas vezes, algumas funcionalidades do software não são completamente testadas. Essa medida tem por finalidade dar visibilidade a esse fato. Muitos problemas podem decorrer da

	falta de testes apropriados. Dessa forma, esta medida pode ser útil de ser correlacionada a outras de forma a possibilitar uma análise abrangente do cenário na organização.
8	Densidade de defeitos identificados após o software entrar em produção <i>Número de defeitos identificados após o software entrar em produção / Tamanho do projeto</i> A ocorrência de defeitos durante a homologação deveria ser baixa, pois espera-se que os problemas sejam identificados ainda em ambiente de testes, no máximo ainda durante a homologação. Uma ocorrência alta de defeitos durante após o software entrar em produção provavelmente trará custos elevados associados ao retrabalho e, também, pode ser causa de insatisfação do cliente. Os valores obtidos para esta medida deveriam ser avaliados em conjunto com a densidade de defeitos detectados no teste do software.: • Uma alta taxa de defeitos identificados no teste do software e baixa taxa de defeitos identificados após o software entrar em produção pode significar que os testes estão bons. • Uma baixa taxa de defeitos identificados no teste do software e baixa taxa de defeitos identificados após o software entrar em produção pode significar que os testes estão bons e, além disso, que o produto foi produzido com poucos defeitos. • Uma baixa taxa de defeitos identificados no teste do software e alta taxa de defeitos identificados após o software entrar em produção pode significar que os testes não estão bons. • Uma alta taxa de defeitos identificados no teste de software e uma alta taxa de defeitos identificados após o software entrar em produção pode significar que o produto está sendo produzido com muitos defeitos. Além disso, a análise desta medida segue o mesmo padrão associado com a medida <i>Densidade de defeitos identificados nos testes de software</i>.
9	Esforço de retrabalho para correção de defeitos identificados após o software entrar em produção <i>Número de horas gastas pela equipe para corrigir os defeitos identificados após o software entrar em produção</i> A análise desta medida segue o mesmo padrão associado com a medida <i>Esforço de retrabalho para correção de defeitos</i>. A partir desta medida também pode ser derivada uma medida referente ao custo do retrabalho. Esse custo, muitas vezes, representa uma despesa não prevista pela equipe de desenvolvimento e pode se tornar crítico para a organização se não estiver adequadamente coberto por um período de garantia contratual.
10	Tempo médio entre falhas do software <i>Intervalo de tempo entre duas ocorrências sucessivas de falhas após o software entrar em produção</i> As falhas podem ser ocasionadas por um defeito do software ou algum outro fator externo. Em geral, os problemas do primeiro tipo são mais críticos para a equipe de desenvolvimento, pois provavelmente foram inseridos (ou não identificados) ainda nessa etapa. Os problemas do segundo tipo podem ter causas variadas (por exemplo, falhas na infraestrutura de telecomunicações ou alteração de interface com outros sistemas), apesar do impacto para o usuário. As organizações devem ser capazes de identificar os tipos de problemas mais comuns a ocorrer e, se for o caso, estratificar esta medida. O tempo entre duas ocorrências sucessivas de falhas pode ser útil para indicar o quão frequente são as falhas de um sistema e pode ser um indicador do quanto de disponibilidade deve ser alocada às equipes de manutenção do software. Em geral, espera-se que, ao longo do tempo, com o software se tornando mais maduro, os intervalos entre falhas fiquem mais espaçados. Também pode ser interessante analisar a evolução desta medida ao longo do tempo para a identificação de uma tendência. Se o intervalo de tempo entre falhas passar a ser bastante reduzido ao longo do tempo, pode ser sinal de que o software está em um período de decaimento e que pode ser o caso de substituí-lo por outro ou investir em uma nova versão. Esta medida pode ser importante para organizações que desenvolvem produto, onde os custos relacionados à manutenção não são pagos diretamente pelos clientes, ou em que a identificação de um erro crítico deva gerar versões de manutenção emergenciais/urgentes.

11	<i>Tempo médio para correção de um defeito</i> <i>Tempo gasto para a correção dos defeitos identificados após o software entrar em produção</i> Essa medida pode ser útil para avaliar o intervalo de tempo entre sucessivas versões de manutenção de um produto de software. Valores altos podem indicar a incapacidade de a organização atualizar o software em uso pelo cliente de maneira adequada, também podem ser um indicativo que a complexidade dos defeitos e das correções é alta (possivelmente com alto custo e risco associados).
----	--

7.6 Medição no Nível C do MR-MPS

Os processos do nível C do MR-MPS complementam os requisitos do modelo em relação à gerência de projetos (por meio do processo Gerência de Riscos), engenharia (por meio do processo Desenvolvimento para Reutilização) e, também, processos de apoio (por meio do processo Gerência de Decisões).

Nenhuma característica específica é esperada de organizações que implementam esse nível em relação ao anterior. No entanto, ele é importante porque prepara a organização para os desafios presentes na alta maturidade em dois aspectos principais: a exigência de uma gerência mais proativa e menos reativa, que é uma diferença bem importante da gerência de riscos exigida no nível G daquela exigida no nível C e a exigência de se documentar decisões importantes e detalhar o raciocínio por trás delas. Essas características são importantes porque a gerência proativa é um aspecto relevante da Gerência de Projetos no nível B e porque, sem o registro de informações de contexto relevante sobre os projetos, a análise das medidas, conforme requerida nos níveis B e A, pode ser impactada negativamente.

7.6.1 - Medidas relacionadas a Desenvolvimento para Reutilização

O processo Desenvolvimento para Reutilização tem por propósito ‘identificar oportunidades de reutilização sistemática de ativos na organização e, se possível, estabelecer um programa de reutilização para desenvolver ativos a partir de engenharia de domínios de aplicação’ [SOFTEX, 2011a]. O objetivo desse processo é a condução do programa de reutilização sistemática da organização por meio de técnicas de engenharia de domínio. Um programa desse tipo é custoso e não necessariamente aplicável a qualquer organização. Dessa forma, o esforço associado à execução do programa e efetiva reutilização dos ativos de domínio adquiridos ou construídos são fatores críticos a serem considerados. A Tabela 7.22 apresenta medidas relacionadas ao desenvolvimento para reutilização.

Tabela 7.22 – Medidas associadas a Desenvolvimento para Reutilização.

1	<i>Esforço associado ao programa de reutilização sistemática</i> <i>Número de horas gastas para a execução das atividades do programa de reutilização sistemática</i>
	Como um programa de reutilização sistemática é custoso para a organização, os valores apurados para esta medida devem ser analisados com cuidado e comparados com os orçamentos disponíveis. Valores altos podem indicar estouro dos valores aprovados. Valores baixos podem indicar problemas ou lentidão na execução das atividades necessárias para a criação da infraestrutura necessária para a condução do programa ou à execução das atividades de construção dos ativos de domínio.
2	<i>Taxa de propostas de ativos de domínio avaliadas e aprovadas</i> <i>Número de propostas de reutilização de domínio aprovadas / Número de propostas de reutilização de ativos de domínio avaliadas</i>
	Um valor baixo para esta medida pode indicar um número excessivo de propostas de reutilização, por exemplo, devido à falta de foco dos colaboradores da organização. Outra razão pode estar relacionada ao foco escolhido e à incapacidade do programa de reutilização sistemática atender às necessidades dos colaboradores da organização.
3	<i>Taxa de ativos de domínio adquiridos ou desenvolvidos em relação às propostas aprovadas</i> <i>Número de ativos de domínio adquiridos ou desenvolvidos / Número total de propostas de reutilização de domínio aprovadas</i>
	Um valor baixo para esta medida pode indicar baixo investimento da organização no povoamento da sua base de ativos de domínio.
4	<i>Número de reutilizações por ativo de domínio</i>
	Um valor baixo para esta medida pode indicar que os ativos de domínio não estão sendo reutilizados de forma sistemática, apesar do esforço e custo necessários para adquiri-los ou desenvolvê-los. Os valores obtidos devem ser analisados com cuidado para identificar se o programa de reutilização sistemática da organização precisa ser revisto em relação à pertinência, escopo ou prioridade na escolha dos ativos de domínio que serão adquiridos ou construídos.

7.6.2 - Medidas relacionadas a Gerência de Decisões

O processo Gerência de Decisões tem por propósito ‘analisar possíveis decisões críticas usando um processo formal, com critérios estabelecidos, para avaliação das alternativas identificadas’ [SOFTEX, 2011a]. Um aspecto importante relacionado a esse processo é o registro do raciocínio por trás da tomada de decisões que sejam críticas para um projeto ou em algum contexto organizacional, a partir da avaliação de soluções alternativas por meio de critérios objetivos estabelecidos. A Tabela 7.23 apresenta medidas relacionadas à gerência de decisões.

Tabela 7.23 – Medidas associadas a Gerência de Decisões.

1	<i>Taxa de decisões tomadas que não seguiram os critérios objetivos estabelecidos</i> <i>Número de decisões que não seguiram os critérios objetivos definidos / Número total de decisões que utilizaram o processo formal</i>
	Um valor elevado para esta medida pode indicar que os critérios definidos para a escolha das alternativas de solução não são totalmente adequados ou que decisões políticas estão sendo tomadas em detrimento a decisões técnicas.

2	<i>Taxa de decisões tomadas com base nos critérios estabelecidos consideradas adequadas</i> <i>Número de decisões que utilizaram o processo formal e foram consideradas adequadas /</i> <i>Número total de decisões que utilizaram o processo formal</i>
	Por mais que os critérios para a escolha das alternativas de solução tenham sido bem formulados e avaliados, nada garante que a decisão tomada tenha sido adequada. Um valor baixo para esta medida pode indicar a necessidade de revisão nos critérios utilizados ou no rigor da avaliação realizada em relação a esses critérios.

7.6.3 - Medidas relacionadas a Gerência de Riscos

O processo Gerência de Riscos tem por propósito 'identificar, analisar, tratar, monitorar e reduzir continuamente os riscos em nível organizacional e de projeto' [SOFTEX, 2011a]. A gerência de riscos é um importante mecanismo para o controle do projeto ao tentar identificar e quantificar o impacto de determinados eventos no projeto. Para que a gerência de riscos seja efetiva, espera-se a definição de um plano de respostas aos riscos objetivando a identificação de ações que tenham objetivo de evitá-los (as ações de mitigação) e, na impossibilidade disso, de minimizar os efeitos de sua ocorrência (as ações de contingência). A Tabela 7.24 apresenta medidas relacionadas à gerência de riscos em projetos de software.

Tabela 7.24 – Medidas associadas a Gerência de Riscos.

1	<i>Evolução no grau de exposição a riscos</i> <i>Série histórica com o valor médio de exposição a riscos do projeto</i>
	A exposição aos riscos geralmente é calculada pela multiplicação do seu impacto pela sua probabilidade de ocorrência. O ideal seria que ao longo do projeto a exposição aos riscos fosse diminuída ou, pelo menos, se mantivesse estável. Mudanças abruptas na exposição a riscos podem indicar a necessidade de uma maior atenção por parte da gerência do projeto.
2	<i>Taxa de ações de mitigação tomadas que surtiram efeito desejado</i> <i>Quantidade de ações de mitigação que, depois de tomadas, surtiram o efeito desejado de reduzir o impacto do risco / Quantidade total de ações de mitigação tomadas</i>
	Um número excessivo de ações de mitigação tomadas que não surtiram efeito pode indicar uma inadequação dessas ações ou de sua condução de forma efetiva.
3	<i>Taxa de ações de contingência tomadas que surtiram efeito desejado</i> <i>Quantidade de ações de contingência que, depois de tomadas, surtiram o efeito desejado ao evitar que o risco acontecesse / Quantidade total de ações de contingência tomadas</i>
	Um número excessivo de ações de contingência tomadas que não surtiram efeito pode indicar uma inadequação destas ações ou da de sua condução de forma efetiva.
4	<i>Taxa de riscos não previstos que ocorreram</i> <i>Quantidade de riscos que só foram identificados após sua ocorrência / Quantidade total de riscos identificados</i>
	Um número grande de riscos que acontecem sem serem previstos pode ser um indicativo de planejamento ineficiente ou, até mesmo, de caos durante a execução do projeto com a possível perda de controle por parte do gerente do projeto.
5	<i>Esforço gasto na gerência de riscos</i> <i>Número de horas gastas pelo gerente do projeto realizando atividades relacionadas à gerência de riscos</i>
	Um esforço pequeno empregado na gerência de riscos pode ser um indicativo de falta de dedicação mínima necessária para uma gerência proativa dos riscos do projeto. Um valor alto para a medida pode indicar a existência de muitos problemas nos projetos a serem tratados, o que pode ter efeitos sobre viabilidade geral do projeto.

7.7 Medição no Nível B do MR-MPS

O objetivo final do nível B do MR-MPS é a implantação na organização do controle estatístico de processos e da gerência quantitativa dos projetos de software. Diferentemente dos níveis anteriores do modelo, não há a definição de novos processos. As características deste nível são atendidas pela implementação dos atributos de processo AP 4.1 (O processo é medido) e AP 4.2 (O processo é controlado) e da evolução do processo Gerência de Projetos.

O ponto de partida para a implantação do controle estatístico de processos na organização é a identificação dos subprocessos críticos que possam apoiar a organização a atender os seus objetivos quantitativos de qualidade e de desempenho que, por sua vez, apoiam os objetivos de negócio relevantes da organização. A partir disso, a medição é adaptada e evoluída para possibilitar a análise do comportamento dos subprocessos selecionados de forma a evidenciar que são estáveis e capazes e, se pertinente, a efetuar as modificações necessárias para que os demais se tornem estáveis e capazes. Em paralelo a isso, modelos de desempenho devem ser gerados para possibilitar que os projetos tenham uma gerência proativa baseada no uso de métodos e técnicas de gerência quantitativa.

Apesar de a descrição dos resultados esperados poder indicar que a implementação do nível B é simples, isso não é verdade. Muitas vezes, as análises necessárias para caracterizar o desempenho dos processos são bastante elaboradas e não triviais. Também é comum que as medidas em uso na organização não permitam tais análises, o que faz com que seja necessário reavaliar e modificar a infraestrutura de medição da organização, o que pode levar muito tempo e consumir muito esforço.

Procedimentos associados com o controle estatístico de processos e a gerência quantitativa dos projetos foram discutidos nos Capítulos 4, 5 e 6 deste livro. As subseções a seguir descrevem medidas que podem ser utilizadas para a monitoração dos elementos críticos deste nível do MR-MPS.

7.7.1 - Medidas relacionadas ao Controle Estatístico de Processos

Não há um processo específico no MR-MPS que preveja a implementação do controle estatístico de processos. Essas atividades estão associadas com o nível B

(Gerenciado Quantitativamente) e são exigidas pelo modelo pela implementação dos atributos de processo AP 4.1 (O processo é medido) e AP 4.2 (O processo é controlado).

O AP 4.1 ‘evidencia o quanto os resultados de medição são usados para assegurar que a execução do processo atinge os seus objetivos de desempenho e apoia o alcance dos objetivos de negócio definidos’ [SOFTEX, 2011a], enquanto o AP 4.2 ‘evidencia o quanto o processo é controlado estatisticamente para produzir um processo estável, capaz e previsível dentro de limites estabelecidos’ [SOFTEX, 2011a]. Dessa forma, o aspecto crítico relacionado ao conjunto desses atributos de processo é o quanto a organização consegue implementar o controle estatístico de seus processo críticos, tema discutido nos Capítulos 4, 5 e 6 deste livro. A Tabela 7.25 apresenta medidas relacionadas à monitoração da capacidade da organização de implementar o controle estatístico de processos.

Tabela 7.25 – Medidas associadas a Controle Estatístico de Processos.

1	<i>Taxa de subprocessos considerados críticos que são estáveis</i> <i>Número de subprocessos considerados críticos que são estáveis / Número total de subprocessos considerados críticos</i> Esta medida pode permitir à organização avaliar o quanto os subprocessos considerados críticos já conseguiram ser analisados sob a ótica do controle estatístico de processos e foram considerados estáveis. Valores baixos desta medida podem não invalidar os esforços por trás do controle estatístico de processos, porém podem indicar um ponto de atenção de que é preciso maior esforço para análise das medidas existentes, redefinição de algumas medidas em análise ou uma reavaliação dos subprocessos considerados críticos para a organização.
2	<i>Taxa de subprocessos considerados críticos que são capazes</i> <i>Número de subprocessos considerados críticos que são capazes / Número total de subprocessos estáveis</i> Não basta um subprocesso considerado crítico para a organização ser considerado estável, ele também deve ser capaz de atender a objetivos de qualidade e de desempenho definidos pela organização de forma a apoiar os objetivos organizacionais. Esta medida tem por objetivo monitorar quantos dos processos estáveis já atendem aos objetivos de negócio da organização. Valores baixos podem fazer com que a organização reveja os objetivos ou reavalie os subprocessos considerados pertinentes para atendê-los.
3	<i>Taxa de subprocessos considerados críticos para os quais há modelo de desempenho estabelecido</i> <i>Número de subprocessos considerados críticos associados com um modelo de desempenho / Número total de subprocessos considerados críticos</i> Para que a gerência quantitativa possa ser posta em prática na organização, é necessário não apenas que os subprocessos considerados críticos estejam estáveis e capazes, mas também que tenham sido definidos modelos de desempenho que correlacionem a execução dos subprocessos ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento de software de forma a possibilitar a gerenciamento do projeto com base no uso de técnicas estatísticas e quantitativas. Esta medida, portanto, pode auxiliar a organização a avaliar a definição de modelos de desempenho que correlacionem os subprocessos considerados críticos. Valores baixos desta medida podem indicar a necessidade de se rever os as medidas adotadas e/ou subprocessos considerados críticos na organização.

4	<i>Esforço das atividades relacionadas a controle estatístico de processos</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para realizar as atividades relacionadas ao controle estatístico dos processos</i> A execução das atividades necessárias para analisar as medidas e processos da organização sob a luz do controle estatístico de processos é grande e envolve trabalho bastante especializado. Dessa forma, por não ser uma tarefa trivial, provavelmente, demandará bastante esforço e dedicação. A análise desta medida pode ser útil para controlar a alocação da equipe às atividades relacionadas e também para identificar potencial risco de não se cumprir o cronograma do programa de melhoria de processos em curso.
5	<i>Variação do desempenho dos subprocessos considerados para controle estatístico de processos</i> <i>Diferença dos valores dos limites de controle de duas baselines sucessivas de um subprocesso</i> O desempenho de um subprocesso é caracterizado pelos valores dos limites de controle de sua <i>baseline</i> de desempenho. Esta medida mede o quanto o desempenho de um subprocesso variou, considerando sucessivas <i>baselines</i>. Esta medida pode ser utilizada em conjunto com as duas anteriores de forma a avaliar se há ou não uma tendência que indique que as distribuições dos subprocessos considerados críticos estejam se tornando estáveis e/ou capazes. Por exemplo, o fato de um subprocesso estável e ainda não capaz ter ao longo do tempo o seu desempenho melhorado em <i>baselines</i> sucessivas pode indicar maiores chances de ele atingir o nível de capacidade desejado pela organização.

7.7.2 - Medidas relacionadas à evolução de Gerência de Projetos no nível B

O processo Gerência de Projetos tem por propósito ‘estabelecer e manter planos que definem as atividades, recursos e responsabilidades do projeto, bem como prover informações sobre o andamento do projeto que permitam a realização de correções quando houver desvios significativos no desempenho do projeto’ [SOFTEX, 2011a].

A partir do nível B, além dos resultados já previstos até o nível E do MR-MPS, o processo Gerência de Projetos evolui para considerar a gerência do projeto com um enfoque quantitativo. Devido a esse enfoque, os modelos de desempenho criados pela execução dos resultados esperados de atributos de processo que compõem os AP 4.1 (O processo é medido) e AP 4.2 (O processo é controlado) devem ser utilizados em conjunto com técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas de modo a atender os objetivos de qualidade e de desempenho do processo definidos para o projeto em questão.

A Tabela 7.26 apresenta medidas relacionadas à gerência quantitativa de projetos.

Tabela 7.26 – Medidas associadas a Gerência de Projetos – nível B.

1	<i>Taxa de projetos na organização que utilizam gerência quantitativa</i> <i>Número de projetos que utilizam gerência quantitativa / Número total de projetos em execução na organização</i>
	Esta medida pode ser útil para a organização avaliar o quanto técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas são de fato utilizadas pelos projetos. O valor baixo desta medida pode indicar que os projetos não estão se beneficiando dos esforços da organização para a implantação do controle estatístico de processos ou a incapacidade dos modelos de desempenho gerados em atender as necessidades reais dos projetos em execução. Uma variação desta medida pode ser considerar os dados coletados de forma acumulativa. Por exemplo, após ter sido implantado o Controle Estatístico de Processos, avaliar quantos projetos foram desenvolvidos até o momento e quantos usaram gerência quantitativa.
2	<i>Taxa de projetos sob gerência quantitativa que atenderam aos objetivos de qualidade e desempenho definidos</i> <i>Número de projetos sob gerência quantitativa que atenderam aos objetivos de qualidade e desempenho definidos / Número total de projetos sob gerência quantitativa na organização</i>
	Um número baixo associado a esta medida pode indicar problemas na definição dos modelos de desempenho na organização (que não se mostrariam adequados aos projetos atuais) ou a incapacidade dos projetos de controlar riscos e eventos não previstos durante a elaboração dos modelos de desempenho que fazem com que o comportamento dos indicadores de qualidade e de desempenho dos projetos não sejam os esperados pela organização. Da mesma forma que para a medida anterior, pode-se também considerar uma variação acumulativa para esta medida. Por exemplo, após ter sido implantado o Controle Estatístico de Processos, avaliar quantos projetos foram desenvolvidos até o momento que atenderam aos objetivos de qualidade e desempenho definidos.

7.8 Medição no Nível A do MR-MPS

O objetivo final do nível A do MR-MPS é a implantação controlada na organização da melhoria contínua dos processos, utilizando o controle estatístico dos processos como meio. Da mesma forma que no nível B, não há no nível A a definição de novos processos. As características desse nível são atendidas pela implementação dos atributos de processo AP 5.1 (O processo é objeto de melhorias incrementais e inovações) e AP 5.2 (O processo é otimizado continuamente).

O ponto de partida para a melhoria contínua dos processos como prevista no nível A é o entendimento do relacionamento entre o comportamento dos processos da organização e os objetivos de negócio definidos. A partir da análise que permita avaliar que esses objetivos de negócio são atingíveis, as causas comuns de variação dos processos devem ser avaliadas para a identificação das suas causas raiz e, a partir daí, identificar melhorias ou incorporar melhores práticas e inovações nos processos de forma a melhorar o desempenho dos subprocessos relacionados.

Assim como no nível anterior, apesar de a descrição dos resultados esperados poder indicar que a implementação desse nível é simples, isso não é

verdade. As análises das causas raiz associadas com as causas comuns de variação no desempenho do processo podem ser bastante elaboradas e não triviais. Outro complicador é a implantação das melhorias de forma realmente controlada, de modo a não desestabilizar os subprocessos relacionados, o que faria com que a organização deixasse de atender aos requisitos do modelo do nível anterior (o nível B).

As subseções a seguir descrevem medidas que podem ser utilizadas para a monitoração dos elementos críticos do nível A do MR-MPS.

7.8.1 - Medidas relacionadas a Análise de Causas

Não há um processo no MR-MPS destinado à análise de causas raiz, no entanto, parte dos resultados esperados dos atributos de processo AP 5.1 (O processo é objeto de melhorias incrementais e inovações) e AP 5.2 (O processo é otimizado continuamente) são referentes a isso. O objetivo desses resultados esperados é que dados selecionados sejam analisados para identificar causas raiz e propor soluções aceitáveis para evitar ocorrências futuras de resultados similares ou incorporar melhores práticas no processo' e para que se possa 'identificar causas comuns de variação no desempenho do processo' [SOFTEX, 2011a]. Como esses resultados fazem parte de um atributo de processo, espera-se que sejam aplicados a pelo menos um dos processos que tiveram subprocessos selecionados para a análise de desempenho. A Tabela 7.27 apresenta medidas relacionadas à análise de causas raiz.

Tabela 7.27 – Medidas associadas a Análise de Causas.

1	<i>Taxa de soluções aceitáveis indicadas pela análise de causas que trouxeram o resultado esperado para evitar ocorrências futuras de uma causa comum</i> <i>Número de soluções indicadas pela análise de causas que trouxeram o resultado esperado / Número total de soluções indicadas pela análise de causas que foram adotadas</i>
	O objetivo desta medida é avaliar o quão efetivas foram as soluções aceitáveis derivadas das análises de causas raiz executadas na organização para identificar causas comuns de variação no desempenho dos subprocessos. Se as soluções identificadas não estão produzindo os efeitos esperados no desempenho dos subprocessos pode ser necessário rever os procedimentos adotados pela organização tanto para a identificação das causas raiz quanto para a escolha das soluções mais adequadas para tratá-las.
2	<i>Esforço das atividades relacionadas à análise de causas raiz</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para realizar as atividades relacionadas à análise de causas raiz na organização</i>
	A execução das atividades necessárias para executar as atividades associadas à análise de causas raiz é grande e envolve trabalho bastante especializado. Dessa forma, por não ser uma tarefa trivial, provavelmente, demandará bastante esforço e dedicação. A análise desta medida pode ser útil para controlar a alocação da equipe às atividades relacionadas como também

para identificar potencial risco de não se cumprir o cronograma do programa de melhoria de processos em curso.
O custo dessas atividades pode ser derivado de uma variação desta medida.

7.8.2 - Medidas relacionadas à Melhoria Contínua dos Processos

O conjunto de medidas apresentadas na Tabela 7.28 não está associado a nenhum dos processos do MR-MPS, mas ao ponto central do nível A do MR-MPS que é a melhoria contínua dos processos com base na aplicação de controle estatístico de processos e implantação de melhorias incrementais e inovações. Essa melhoria contínua é garantida pela aplicação dos resultados esperados dos atributos de processo AP 5.1 (O processo é objeto de melhorias incrementais e inovações) e AP 5.2 (O processo é otimizado continuamente). Espera-se que mudanças no processo sejam ‘identificadas a partir da análise de defeitos, problemas, causas comuns de variação do desempenho e da investigação de enfoques inovadores para a definição e implementação do processo’ e que mudanças efetuadas na definição, gerência e desempenho do processo tenham ‘impacto efetivo para o alcance dos objetivos relevantes de melhoria do processo’ [SOFTEX, 2011a].

Apesar do texto do atributo de processo e de seus resultados esperados se referirem a ‘melhores práticas e inovações’, o foco das medidas apresentadas a seguir são inovações, pois constituem um dos grandes diferenciais da implantação de melhoria de processos em organizações de alta maturidade em comparação ao que é esperado nos níveis anteriores do modelo.

Tabela 7.28 – Medidas associadas a Melhoria Contínua dos Processos.

1	<i>Taxa de identificação de melhorias originadas de inovações com impacto nos objetivos de negócio</i> <i>Número de melhorias originadas de inovações com impacto nos objetivos de negócio / Número total de melhorias identificadas na organização</i> Esta medida possibilita que a organização avalie quantas das melhorias identificadas são derivadas de inovações, conforme requerido pelo nível A do MR-MPS. Não há um número mínimo ou máximo esperado para essas melhorias, mas os valores obtidos devem ser analisados para garantir que haja melhorias suficientes identificadas na organização, de modo a permitir que causas comuns de variação no processo possam ser eliminadas e que o desempenho e a qualidade dos processos sejam adequados aos objetivos de negócio da organização.
2	<i>Taxa de implantação de melhorias originadas de inovações com impacto nos objetivos de negócio</i> <i>Número de melhorias originadas de inovações com impacto nos objetivos de negócio implantadas / Número total de melhorias originadas de inovações com impacto nos objetivos de negócio</i>

	Esta medida possibilita uma análise do quanto as melhorias originadas de inovações com impacto nos objetivos de negócio estão sendo implantadas na organização. Não há valor mínimo padrão associado a esta medida, no entanto valores baixos podem indicar uma incapacidade de a organização colocar em prática as melhorias identificadas ou a incapacidade de essas ações trazerem, de fato, melhorias no desempenho dos subprocessos relacionados. Esta medida pode ser analisada em conjunto com outra que analise o tempo e esforço associados com as atividades necessárias para o controle estatístico de processos na organização.
3	<i>Taxa de subprocessos estáveis que tiveram seu desempenho melhorado pela ação de melhorias originadas de inovações</i> <i>Número de subprocessos considerados estáveis que tiveram seu desempenho melhorado pela ação de melhorias originadas de inovações / Número total de subprocessos considerados críticos afetados por melhorias originadas de inovações</i> Esta medida pode permitir à organização avaliar o quanto os subprocessos considerados críticos já tiveram seu desempenho melhorado pela ação de melhorias originadas de inovações. Valores baixos desta medida podem não invalidar os esforços por trás da aplicação da melhoria contínua como prevista no nível A do MR-MPS, porém podem indicar um ponto de atenção de que é preciso maior esforço para análise dos comportamentos dos subprocessos sob controle estatístico ou a busca por novas melhorias baseadas em inovações.
4	<i>Variação do desempenho dos subprocessos ocasionada pela implantação de uma inovação</i> <i>Diferença dos valores dos limites de controle de duas baselines sucessivas de um subprocesso ocasionada pela implantação de uma inovação</i> O desempenho de um subprocesso é caracterizado pelos valores dos limites de controle de sua <i>baseline</i> de desempenho. Esta medida mede o quanto o desempenho de um subprocesso variou, considerando sucessivas <i>baselines</i>. Esta medida tem por objetivo avaliar o efeito dos resultados obtidos com a implantação de melhorias originadas de inovações para o desempenho geral dos subprocessos considerados para o controle estatístico. Dessa forma, pode ser analisada em conjunto com as medidas anteriores para avaliar se as mudanças no comportamento dos subprocessos estão ou não relacionadas à implantação de melhorias originadas de novas tecnologias e conceitos de processo com impacto no alcance dos objetivos de negócio.
5	<i>Esforço das atividades relacionadas à melhoria contínua dos processos na organização</i> <i>Número de horas gastas pela equipe para realizar as atividades relacionadas à melhoria contínua dos processos na organização</i> A execução das atividades necessárias para executar as atividades associadas à melhoria contínua dos processos na organização é grande e envolve trabalho bastante especializado. Dessa forma, por não ser uma tarefa trivial, provavelmente, demandará bastante esforço e dedicação. A análise desta medida pode ser útil para controlar a alocação da equipe às atividades relacionadas como também para identificar potencial risco de não se cumprir o cronograma do programa de melhoria de processos em curso. O custo dessas atividades pode ser derivado de uma variação desta medida.

7.9 Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou um conjunto de medidas associadas com a implementação de todos os processos e níveis do MR-MPS. Esse conjunto de medidas não é exaustivo nem completo, portanto, tanto as medidas em si quanto as suas interpretações devem ser adaptadas a cada contexto organizacional e podem ser utilizadas para monitorar a execução de cada um dos processos em questão.

De acordo com o aumento do nível de maturidade da organização, também aumenta o nível esperado de capacidade de seus processos. O processo Medição do MR-MPS, apesar de não ganhar novos resultados esperados, deve ter sua execução evoluída para atender aos novos requisitos incorporados ao modelo relacionados ao aumento do nível de capacidade dos processos. Um dos efeitos práticos dessa evolução está associado ao tipo de análise e interpretação que pode e deve ser feita em relação às medidas consideradas e as medições realizadas.

Dessa forma, o capítulo seguinte apresenta uma discussão de como a medição se insere na determinação de capacidade dos processos da organização e como ela evolui ao longo do tempo, passando da fase de conhecimento e controle para a fase de melhoria dos processos. Também é discutido como a medição interfere nos procedimentos associados ao controle estatístico de processos e à melhoria contínua do desempenho dos processos.

Capítulo 8

Medição no MR-MPS

8.1 Introdução

O uso de um modelo de maturidade por uma organização por si só não garante que ela adquira automaticamente a maturidade adequada para o seu desenvolvimento de software. A adoção dos processos que compõem cada nível de maturidade dos modelos deve ser acompanhada pelo aumento gradual da capacidade dos processos em atender os requisitos de qualidade esperados para a execução e institucionalização das atividades de melhoria de processos de software.

A capacidade do processo expressa como o grau de refinamento e institucionalização com que o processo é executado na organização/unidade organizacional [SOFTEX, 2011a]. Dessa forma, à medida que a organização/unidade organizacional evolui nos níveis de maturidade, um maior nível de capacidade para desempenhar o processo deve ser atingido [SOFTEX, 2011a].

Conforme dito anteriormente, o processo Medição é um importante mecanismo associado ao aumento da capacidade dos processos da organização. Por isso, é importante a discussão de diferentes formas de se adotar as práticas de medição de software em organizações que adotam o MR-MPS, de forma a auxiliá-las a terem uma boa interpretação dos requisitos do modelo e também direcionar seus esforços na institucionalização de uma cultura de medição que seja gradual e acompanhe o amadurecimento dos processos preconizado pelos diferentes níveis de maturidade do modelo.

Uma organização que tenha sido avaliada no nível F do MR-MPS terá atingido também o nível 2 de capacidade da ISO/IEC 15504 [ISO/IEC, 2003] para os processos desse nível do MR-MPS. O foco desse nível de capacidade é a gerência dos processos, em um primeiro momento ainda relacionado à execução de projetos isolados. Nesse contexto, há dois itens importantes: conhecer como os processos se comportam e, posteriormente, a partir deste conhecimento, poder controlá-los efetivamente.

No nível G do MR-MPS ainda não há obrigatoriedade de implantação do processo Medição, porém há aspectos importantes da gerência de projetos que podem ser beneficiados pela adoção de algumas medidas relacionadas ao acompanhamento dos projetos executados.

No nível F do MR-MPS, as atividades de medição nos projetos devem ser formalizadas. Os Capítulos 2 e 3 deste livro, que discutem o planejamento e a execução da medição, contêm os principais aspectos requeridos pelo modelo, porém há desafios em se conseguir que essas atividades sejam institucionalizadas de forma a, realmente, conseguir trazer valor para a organização e para os projetos.

Uma organização que tenha sido avaliada nos níveis E, D ou C do MR-MPS terá atingido também o nível 3 de capacidade da ISO/IEC 15504 para os processos desse nível do MR-MPS. Os controles obtidos pela adoção do processo Medição devem ser ajustados para fornecer indicadores e analisar informações que favoreçam a identificação de pontos de melhoria dos processos.

No nível E do MR-MPS, deve ser criado um repositório organizacional de medidas. As coletas e análises, que antes poderiam ser específicas de cada projeto, passam a ter que ser consolidadas para apoiar a institucionalização e melhoria do conjunto de processos padrão, obrigatórios a partir deste nível.

Nos níveis D e C do MR-MPS, nenhum novo requisito referente à medição é incluído no modelo, porém, os processos referentes a Engenharia do Software adicionados nesse nível (Verificação, Validação, Projeto e Construção do Produto, Integração do Produto e Desenvolvimento de Requisitos) têm diversos produtos de trabalho que podem fornecer informações valiosas sobre a qualidade dos produtos desenvolvidos pela organização e serão utilizadas pelo controle estatístico dos níveis B e A.

Por fim, o controle estatístico (discutido com mais detalhes nos Capítulos 4, 5 e 6) é característico dos níveis B e A do modelo e só é alcançado com medições precisas e criteriosas e dados históricos confiáveis. Dessa forma, se as medições obtidas nos níveis anteriores não forem adequadas, as organizações precisarão despender grande esforço e gastar muito tempo, o que poderia ter sido minimizado ao longo do tempo. Organizações aderentes ao nível B do MR-MPS têm

seus processos com capacidade equivalente ao do nível 4 da ISO/IEC 15504, pois já implementam o controle estatístico de processos.

Por fim, no último dos níveis de capacidade da ISO/IEC 15504, o 5, o controle obtido é evoluído para que se consiga aplicar a melhoria contínua dos processos com base em dados estatísticos e análises estatísticas e quantitativas. Esse nível é equivalente ao nível A do MR-MPS. A partir desse momento, a adoção de melhores práticas e inovações na organização é feita de modo ordenado, visando à manutenção do controle estatístico dos processos e aumento da capacidade de atender aos requisitos de qualidade e de desempenho alinhados às necessidades da organização. Os requisitos de medição para esses dois níveis são equivalentes, referentes ao controle estatístico de processos e melhoria contínua de processos.

Este capítulo discute a implementação de práticas de medição de software em diferentes níveis de maturidade do MR-MPS. A Seção 8.2 apresenta melhores práticas e observações sobre a implementação de medição em organizações de software que adotaram o MR-MPS. A Seção 8.3 apresenta como a medição pode ser utilizada para conhecimento e monitoração dos processos de software, conforme esperado nível F do MR-MPS. A Seção 8.4 apresenta como as informações que possibilitam a monitoração dos processos podem ser utilizadas para a melhoria dos processos, conforme esperado pelos níveis E, D e C do MR-MPS.

Exemplos de medidas que podem ser utilizadas para o conhecimento do comportamento dos processos e posterior controle da execução dos projetos e melhoria desses processos foram discutidas no Capítulo 7 deste livro. Os exemplos apresentados nas Seções 8.3 e 8.4 utilizam variações destas medidas. Os procedimentos associados à análise das medidas de acordo com os preceitos do controle estatístico de processos foram discutidos nos Capítulos 4, 5 e 6 e não serão repetidos.

8.2 Observações sobre a Implementação de Medição nas Organizações

O conjunto de observações e melhores práticas relacionadas à implementação de medição apresentado nesta seção foi coletado a partir de situações vivenciadas em organizações de software que implementaram ou foram

avaliadas no MPS¹⁷ e foi publicado, inicialmente, nos Anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software – SBQS 2011 [SANTOS, 2011].

A implantação de um Programa de Medição não é trivial e, em geral, pode ser trabalhosa. Bons programas de medição começam a partir da derivação dos objetivos estratégicos da organização para a definição de objetivos de medição. De forma geral, essa associação possibilita que o esforço seja concentrado em áreas que contenham aspectos importantes para a tomada de decisão na organização como um todo e na área responsável pelo desenvolvimento de software em particular.

Assim, um dos principais problemas associados ao resultado esperado MED 1 (*Objetivos de medição são estabelecidos e mantidos a partir dos objetivos de negócio da organização e das necessidades de informação de processos técnicos e gerenciais*) do MR-MPS é a falta de um plano estratégico na organização a partir do qual possam ser derivados os objetivos de medição. Por causa de uma definição falha e ambígua desse plano, o relacionamento entre os objetivos estratégicos da organização e os objetivos de medição é superficial e insuficiente para explicar completamente a associação entre eles. Desta forma, não existe garantia de que as medidas identificadas atendam adequadamente às necessidades de informação dos diferentes níveis de gerência.

Algumas organizações (principalmente aquelas em estágios iniciais do programa de melhoria) ainda confundem Medição (como previsto pelo MR-MPS) com o cálculo associado ao uso da técnica de Análise de Pontos por Função (APF) para determinar o tamanho de um produto. O cálculo do tamanho de um produto é apenas uma das medidas que podem ser utilizadas em uma organização e está associado principalmente à gerência de projetos e à realização de estimativas. O tamanho de um produto deve ser associado a outras medidas para formar indicadores como a produtividade média de uma equipe ou a densidade de defeitos.

O GQM (*Goal-Question-Metric*) [BASILI et al., 1994; SOLINGEN e BERGHOUT, 1999], descrito na Seção 3.3.1, é um método bastante utilizado para a definição de

¹⁷ Dada a compatibilidade entre o MR-MPS e o CMMI-DEV, acredita-se que essas observações também sejam válidas e úteis para organizações que implementam o CMMI-DEV.

um Plano de Medição devido à sua simplicidade de uso. Nem sempre, no entanto, esse método é utilizado adequadamente, produzindo um conjunto de medidas que não são diretamente relacionáveis às questões e objetivos de medição, fato que prejudicará mais tarde a análise e a tomada de decisão.

Uma questão muitas vezes formulada pelas organizações está relacionada a “quantas medidas são necessárias” para a implantação de um programa de medição. Esta é uma pergunta equivocada, pois o que importa, na verdade, é “quais medidas” podem auxiliar a organização no conhecimento do comportamento de seus processos de software e na tomada de decisão. Em geral, a maior parte das medidas a serem utilizadas pode ser obtida pela combinação de cinco medidas essenciais (tamanho, produtividade, tempo, esforço e confiabilidade), conforme descrito na Seção 3.4 [PUTNAM E MYERS, 2003].

Muitas vezes, a preocupação com o número de medidas é decorrente da necessidade de os processos serem monitorados a partir da coleta e análise de medidas, conforme requerido no RAP 4 (*Medidas são planejadas e coletadas para monitoração da execução do processo e ajustes são realizados*), a partir do nível F. Uma organização pode definir um programa de medição com poucas medidas e elas serem efetivas para a monitoração de seus processos. Entretanto, é relativamente comum a definição de muitas medidas o que, na prática, aumenta o esforço para a coleta e análise de dados, sem produzir resultados úteis em termos de tomada de decisão e melhoria de processos.

Muitos questionam o custo e o esforço relacionados a se ter medidas específicas para monitoração de cada um dos 17 processos do Nível C do MR-MPS (de forma a atender ao RAP 4). Uma solução às vezes adotada é associar a monitoração de alguns processos à execução de alguns processos de apoio, como, por exemplo, Garantia da Qualidade. Uma medida como “número de não conformidades em avaliações de qualidade do processo X” pode ser simples de coletar, mas não necessariamente apresenta dados suficientes para avaliar se o processo X está sendo efetivamente seguido ou é adequado para a organização. Em alguns casos, pode indicar apenas se a implementação do processo Garantia de Qualidade está proporcionando que se encontre ou não defeitos nos documentos avaliados. Um problema ainda maior, neste caso específico, acontece quando os

critérios de garantia da qualidade não asseguram de fato que aspectos relevantes dos documentos produzidos sejam avaliados. Por exemplo, para monitorar os processos Verificação e Validação ter laudos de qualidade inadequados avaliando formato de títulos ou preenchimento de cabeçalhos, sendo, assim, incapazes de identificar problemas relevantes. Para surtir o efeito desejado, os critérios dos laudos de qualidade devem estar mais próximos de critérios de verificação (ou seja, observando o conteúdo dos documentos) do que critérios de garantia da qualidade simples (ou seja, observando apenas a forma do documento). Além disso, se uma medida é utilizada para monitorar mais de um processo, deve-se garantir ter uma visão independente de elementos de cada processo. No caso do exemplo anterior, por exemplo, seria mais adequado analisar o número e tipos de defeitos encontrados em inspeções ou em testes de aceitação.

De qualquer forma, as medidas de monitoração dos processos também devem estar alinhadas aos objetivos de negócio da organização. Isto pode ser feito a partir, por exemplo, de um objetivo de medição que signifique a monitoração da qualidade dos processos de software (o que é, ou deveria ser, um dos focos de programas de melhoria de processos baseados na adoção de modelos de maturidade).

O esforço associado à implantação de um programa de medição é grande, assim, é importante que não sejam definidas muitas medidas para não se correr o risco de poucas serem realmente efetivas e de muitas não medirem nada relevante ou que, pelo seu alto custo de coleta e análise, sejam abandonadas ou ignoradas. Por outro lado, a definição de poucas medidas pode fazer com que aspectos realmente relevantes da execução dos processos sejam negligenciados e que as medidas sejam simples demais para a tomada de decisão. Deve-se cuidar para soluções simples não se transformem em soluções simplórias.

Uma vez identificadas as medidas necessárias para responder os objetivos de medição, cada uma delas deve ser totalmente definida, incluindo os procedimentos de coleta, armazenamento e análise de dados.

Os procedimentos de coleta devem ser definidos de tal forma que qualquer pessoa possa executá-los. Nem sempre é utilizado um formalismo adequado para isto. Uma boa forma de estruturação é encontrada na descrição operacional das

medidas, conforme descrito na Seção 3.7. É comum, por exemplo, a indicação que o valor de uma medida pode ser encontrado em uma ferramenta (por exemplo, o MS-Project), mas não é informado como identificar de forma inequívoca a informação (por exemplo, que coluna do cronograma criado) ou quando a medida já pode ser coletada (por exemplo, só coletar o tempo esforço real da atividade se ela estiver 100% concluída).

Outro problema comum é não descrever as medidas básicas (utilizadas para compor outras) isoladamente nem informar matemática e claramente as fórmulas a serem utilizadas para cálculo das medidas derivadas.

Os procedimentos de armazenamento devem indicar o local exato onde as informações devem ser registradas. Isso inclui não somente onde os valores coletados serão transcritos (por exemplo, em que célula da planilha de coleta a quantidade de defeitos registrados em uma rodada de testes deve ser preenchida), mas também onde o instrumento de coleta (por exemplo, a planilha de coleta) deve ser salvo.

Em relação aos procedimentos de análise das medidas é importante que eles realmente auxiliem a análise das informações, por exemplo, informando em que momentos e por quem as medidas são analisadas e com que frequência. Outro item relevante é indicar como combinar diferentes medidas para compreender o comportamento dos processos (por exemplo, relacionar o esforço despendido nas avaliações de qualidade com o número de não conformidades encontradas e o índice de retrabalho dos projetos).

Uma omissão comum dos procedimentos de análise é a falha em indicar a necessidade de se separar: dado da medida, informação de contexto, a análise de fato e as ações decorrentes das análises realizadas.

A falta de metas (apesar de não obrigatórias) para as medidas é, também, uma característica que pode dificultar análises. Mesmo organizações que estão iniciando o seu programa de medição (e que, portanto, não têm uma base histórica) podem se beneficiar da definição de metas. Com o tempo, se as metas forem consideradas inadequadas, podem ser revistas. Mas a existência de metas e valores esperados possibilita ter-se uma visão crítica dos valores obtidos.

Quando uma organização está iniciando o seu programa de melhoria é comum que não haja uma base histórica, portanto, a comparação de valores passados pode não ser eficiente. Por outro lado, em organizações com maior maturidade, a comparação com valores passados é um importante mecanismo para a tomada de decisões, por exemplo, a partir da análise de tendências do número de defeitos nos testes ou evolução da produtividade nos projetos. No entanto, análises mais elaboradas muitas vezes são negligenciadas, o que é crítico, principalmente, a partir do Nível E do MR-MPS, onde a existência de processos padrão possibilita tais comparações.

A partir do Nível E, como descrito no Capítulo 2, um requisito do modelo é a existência de um repositório organizacional de medidas. Um repositório organizacional de medidas deve ser capaz de registrar todas as medidas definidas e coletadas na organização e possibilitar o seu uso futuro. Considerando a adoção do MR-MPS de forma evolutiva em uma organização, isso é importante principalmente para os níveis de alta maturidade (A e B) que requerem tratamento diferenciado para os dados de medição e o controle estatístico dos processos. Para o efetivo controle estatístico dos processos, os dados analisados não podem conter erros e devem ser armazenados de forma a conservar informações de contexto, relacionamentos entre medidas e serem manipuláveis (por exemplo, com a derivação de outras medidas compostas) adequadamente. Isto não será conseguido facilmente em organizações cujos repositórios de medidas sejam armazenados em planilhas Excel ou em apresentações do PowerPoint (o que é mais comum do que se imagina). Os requisitos para repositórios de medidas adequados ao controle estatístico foram discutidos, em detalhes, no Capítulo 4.

O documento resultante do planejamento de medições é um importante ativo da organização e, como tal, deve ser gerenciado adequadamente, o que inclui controle de acesso e mecanismos de gerência de configuração. Nem sempre isso é adequadamente implementado pelas organizações, algumas vezes se encontram organizações que definem suas medidas apenas em atas de reunião sem a devida formalização em um documento específico.

O programa de medição deve ser posto em prática através da coleta e análise das medidas planejadas de acordo com a frequência definida. Todas as

medidas devem ser coletadas e analisadas de acordo com o planejado (se os procedimentos definidos não forem adequados, devem ser revistos, não ignorados). Algumas análises podem ser mais frequentes que outras e isto deve ser definido caso a caso. Por exemplo, na maior parte das vezes não se justifica analisar o percentual de atraso de um projeto apenas após ele ter sido concluído, por outro lado, analisar a satisfação dos clientes quinzenalmente pode não ser razoável.

É importante que se utilizem gráficos adequados para a visualização dos valores das medidas. Um problema comum é o uso de histograma para dados que não são séries históricas (por exemplo, para comparação do número de defeitos de cada projeto em execução em um mês é melhor utilizar um gráfico de barras do que gráfico de linhas). Os procedimentos de análise devem informar quais gráficos devem ser gerados e como devem ser interpretados. Deve-se, também, procurar evitar análises pouco profundas, que apenas repitam o que o gráfico diz sem acrescentar nada além.

Outros cuidados que devem ser adotados incluem a ordenação adequada dos valores (dados históricos, por exemplo, devem estar em ordem cronológica e não em ordem alfabética) e a implementação de procedimentos de garantia de qualidade para assegurar que os dados coletados estejam corretos e representem os valores associados às propriedades das entidades medidas. Da mesma forma, é importante que as análises realizadas sejam auditadas pela Garantia da Qualidade para assegurar que o que foi planejado é o que está sendo executado. É comum em algumas organizações que as análises fiquem registradas apenas em atas de reunião e que não sejam avaliadas pelos responsáveis pela garantia da qualidade. Desta forma, negligencia-se um importante aspecto do processo Medição e prejudica-se, também, a adequada institucionalização do processo Garantia da Qualidade.

O armazenamento das análises é importante como fonte histórica da evolução do programa de medição e também para registrar as decisões tomadas. Como todo documento importante, os registros de medição devem ser armazenados sob algum nível de controle de gerência de configuração. Um item importante das análises das medidas são as informações de contexto, que devem

possuir o máximo de detalhes para possibilitar comparações mais efetivas no futuro e, também, identificar medidas com viés. Por exemplo, se as informações de contexto forem perdidas, com o tempo a análise de uma longa série histórica das medidas será comprometida porque dificilmente as pessoas se lembrarão de fatos ocorridos há muito tempo, inclusive porque muitas das pessoas envolvidas naquele período já não estarão na organização.

Se uma medida é coletada, em geral, ela ou deve ser utilizada para compor outra medida ou, então, ser analisada e divulgada para os envolvidos por meio eletrônico ou presencial. Quanto mais frequentemente as medidas forem analisadas, mais rápida e efetiva poderá ser a tomada de decisão. A falha em tomar decisões rápidas pode fazer com que o esforço do programa de medição seja em vão e prejudicar seu apoio pelos envolvidos. Além disso, reuniões de discussão de medidas com periodicidade grande (por exemplo, superior a 4 meses) podem ser improdutivas, principalmente em organizações em estágios iniciais do programa de melhoria de processos.

Deve-se evitar, também, a discussão de todas as medidas com todos os envolvidos indistintamente. Deve-se procurar discutir apenas medidas pertinentes a cada perfil de profissional senão corre-se o risco de desinteresse. Por exemplo, diferenciar medidas de interesse da alta gerência (por exemplo, lucratividade média dos projetos) daquelas mais próximas dos profissionais envolvidos na execução dos projetos (por exemplo, número de defeitos encontrados nos testes de integração).

Como as medidas são originadas dos objetivos de medição, as análises também devem relacionar tais objetivos com os valores obtidos. O apoio da alta gerência pode ser enfraquecido em caso de falha na identificação desse relacionamento, o que pode colocar em risco todo o programa de medição, causando até o seu abandono. As reuniões de discussão dos resultados das medições também podem ser bons momentos para apresentar à alta gerência resultados da iniciativa de melhoria de processos e avaliar a institucionalização dos processos. Os produtos gerados em decorrência da execução do processo Medição também permitem constituir uma base para o entendimento do

comportamento dos processos e podem auxiliar a direcionar os esforços do programa de melhoria de processos da organização.

De pouco adianta a coleta e análise das medidas se não há tomada de decisão associada a elas. As ações decorrentes das medidas devem ser gerenciadas até a conclusão e a falha em cumprir tais determinações pode ser um indicativo da perda de prioridade e de importância do programa de medição.

O processo Medição, como um processo de apoio, também pode auxiliar a implementação de outros processos na organização, como, por exemplo, contribuindo para a coleta de informações e medidas necessárias definição de uma base de estimativas e sua calibração para a realidade da organização. São necessários alguns cuidados para evitar distorções e tomada de decisões com base em dados incorretos. Dentre eles: (i) utilizar medidas coletadas adequadamente a partir dos dados dos projetos (por exemplo, duração das atividades e tamanho do projeto); (ii) não consolidar dados de projetos muito diferentes (por exemplo, pequenos e grandes, de diferentes linguagens, utilizando versões diferentes dos processos padrão ou, então, projetos muito antigos com novos); (iii) calcular corretamente o tamanho do produto (por exemplo, seguir o formalismo associado a uma contagem de pontos por função); (iv) calcular o tamanho real do produto ao final do projeto e não utilizar o valor estimado no início do projeto; (v) ter claramente definidas as atividades do processo de desenvolvimento da organização (evitando que o cronograma dos projetos não seja fielmente baseado no processo padrão da organização); e (vi) garantir que as medidas presentes na base de dados sejam confiáveis (por exemplo, através da adoção de mecanismos de garantia da qualidade para avaliá-las).

8.3 Medição como Meio para Conhecimento e Monitoração dos Processos de Software no nível F do MR-MPS

O exemplo a seguir mostra como algumas das medidas apresentadas no Capítulo 7 podem ser utilizadas no contexto da monitoração de projetos de software.

Considere uma organização em processo de implantação do nível F do MR-MPS que tenha definido as seguintes medidas para a monitoração dos seus

processos de Gerência de Projetos e de Garantia da Qualidade (para simplificação, outras possíveis medidas para monitoração do projeto foram ignoradas):

- Precisão da estimativa de tamanho - calculada, para cada fase do projeto, pela divisão da estimativa de tamanho do projeto medido a partir da especificação de requisitos pelo tamanho real do projeto medido após a construção;
- Precisão da estimativa de tempo – calculada, para cada fase do projeto, a partir da divisão da estimativa do número de dias a serem gastos pelo tempo real em dias efetivamente gastos na fase;
- Precisão da estimativa de esforço - calculada, para cada fase do projeto, a partir da divisão da estimativa inicial do número de horas a serem gastas pelo número de horas real gastas na fase;
- Taxa de não conformidade em avaliações de qualidade - calculada, para cada fase do projeto e para cada produto de trabalho avaliado, pela divisão do número de não conformidades identificadas em avaliações de qualidade pelo número total de critérios observados.

Para efeito do exemplo, considere as seguintes informações:

- essas medidas são coletadas e analisadas durante as revisões nos quatro marcos do projeto (representados pelas letras A, B, C e D na Tabela 8.1);
- o tamanho do projeto é medido em pontos por função (PF);
- o esforço do projeto é medido em quantidade de horas (h);
- o tempo do projeto é medido em quantidade de dias úteis (d);
- as avaliações de qualidade são realizadas ao final de cada marco;
- as atividades executadas até o Marco A compreendem o planejamento do projeto e levantamento de requisitos;
- as atividades executadas até os Marcos B e C compreendem as atividades de codificação, planejamento de testes e execução de testes;
- as atividades executadas até o Marco D compreendem a finalização da execução de testes e a entrega do produto;

- até a ocorrência do marco A, devem ser gerados os documentos Plano do Projeto e Especificação de Requisitos;
- em cada um dos demais marcos o gerente de projeto deve produzir um Relatório de Monitoração do Projeto;
- o cliente do projeto em questão é conhecido por demorar a registrar o aceite final do projeto.

Note que: (i) todos os gráficos que serão apresentados utilizam a mesma escala para que não se corra o risco de as análises sofrerem desvios devido a comparações equivocadas; (ii) para auxiliar e complementar as análises, todos os valores utilizados para a geração dos gráficos também são apresentados; e (iii) a ausência de coleta de medidas é representada por '-' e não pelo valor 0 (zero).

A Tabela 8.1 apresenta os valores coletados inicialmente para as medidas relacionadas à Gerência de Projetos. Em cada um dos marcos, as medidas selecionadas mostram o que está acontecendo no projeto em relação aos parâmetros monitorados.

Tabela 8.1 – Medidas relacionadas a gerência de projetos para a monitoração do projeto.

Medidas de GPR		Marco A	Marco B	Marco C	Marco D
Tamanho (em PF)	Estimado	100	100	120	120
	Real	100	100	100	130
	Precisão	1,00	1,00	1,20	0,92
Esforço (em horas)	Estimado	40	160	160	60
	Real	30	100	200	80
	Precisão	1,33	1,60	0,80	0,75
Tempo (em dias úteis)	Estimado	5	10	8	12
	Real	5	8	8	20
	Precisão	1,00	1,25	1,00	0,60

Em relação à medida referente ao tamanho do projeto em pontos por função (PF), pode-se perceber que o tamanho foi inicialmente estimado em 100 PF e no Marco C essa estimativa foi alterada para 120 PF. A análise da precisão de estimativas de tamanho ao longo dos marcos apresenta um possível problema relacionado à dificuldade de se calcular o tamanho real sem ter ainda o software construído, o que só se consegue no Marco D. No entanto, a alteração da medida no Marco C indica, indiretamente, uma alteração de requisitos. Ao final do projeto, a contagem do tamanho real do projeto indicou 130 PF. Dessa forma, a precisão da

estimativa, conforme fórmula de cálculo original, foi de 77%. Uma melhor forma de utilizar essas informações para a monitoração do projeto seria a análise de duas medidas:

- Volatilidade de requisitos em Pontos por Função, como sendo a variação do tamanho estimado do projeto considerando possíveis alterações de requisitos ao longo do tempo.
- Precisão de estimativas de tamanho ao final do projeto, calculada a partir da divisão da estimativa de tamanho do projeto pelo tamanho real do projeto medido após o final do projeto (e considerando possíveis alterações de requisitos).

A Tabela 8.2 apresenta os valores coletados para essas medidas. A medida de volatilidade de requisitos é útil para a monitoração do processo Gerência de Requisitos e permite ao gerente avaliar o impacto das alterações de requisitos ao longo do projeto (como pode ser visto adiante, na análise das demais medidas). A medida de precisão de estimativa de tamanho, possivelmente, não permite nenhuma ação dentro do contexto do projeto em si, mas é útil para a organização definir sua base histórica de estimativas.

Tabela 8.2 – Medidas relacionadas a tamanho para a monitoração do projeto.

Medidas de GPR		Marco A	Marco B	Marco C	Marco D
Volatilidade de Requisitos (em PF)	Estimado	100	100	120	120
	Variação	-	0	20	20
Precisão de Estimativa de Tamanho	Estimado	100	100	120	120
	Real	-	-	-	130
	Precisão	-	-	-	0,92

O acompanhamento dos indicadores do projeto no Marco A, conforme mostra a Figura 8.1, indica que o esforço gasto no projeto está aquém do estimado (o que, a princípio, pode ser bom), apesar do tempo estimado para a realização das atividades ter sido cumprido. Um ponto de atenção poderia ser levantado pelo gerente para confirmar a razão pela qual as duas medidas não apresentaram resultados semelhantes.

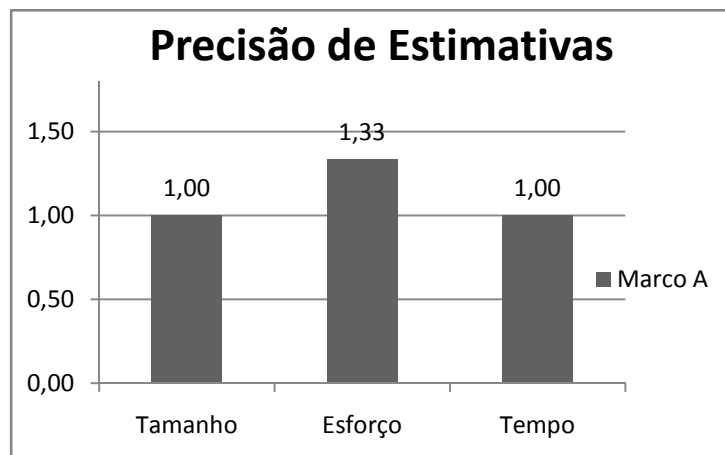


Figura 8.1 – Precisão de estimativas para o Marco A.

No Marco B, conforme mostra a Figura 8.2, novamente gastou-se menos esforço para a realização das atividades. Porém, dessa vez, o número de dias efetivos também foi menor. Um novo ponto de atenção pode ser levantado pelo gerente para averiguar se, de fato, os produtos de trabalho previstos para serem construídos até este momento foram realmente construídos, pois houve uma diferença de 60 horas entre o estimado e o real. Caso os produtos de trabalho não tenham sido construídos, ajustes deveriam ser realizados, pois pode haver impacto para os compromissos assumidos no escopo do projeto e um replanejamento se faria necessário. Caso a equipe tenha conseguido produzir os itens necessários em menos tempo, talvez seja necessário calibrar as estimativas para novos projetos. A redução no número de dias gasto para desempenhar as atividades é relativamente condizente com a diminuição do esforço gasto (a relação não é linear devido ao tamanho da equipe e diferentes papéis envolvidos na construção do produto).

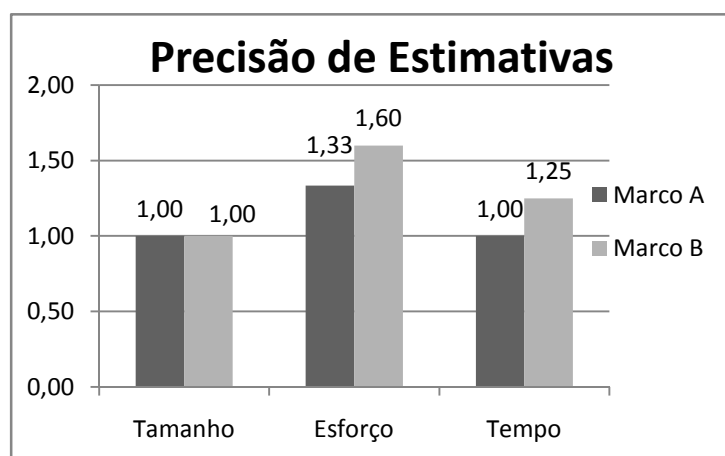


Figura 8.2 – Precisão de estimativas para o Marco B.

No Marco C, como mostra a Figura 8.3, houve um gasto maior de horas do que o estimado para o projeto naquele momento (200h em vez de 160h), porém

não houve desvios em relação ao número de dias. Dessa forma, uma análise que pode ser feita em relação a esses valores é que, apesar de um aumento no esforço, os prazos foram cumpridos.

No entanto, é possível observar que: (i) o esforço total do projeto até o momento ainda é inferior ao estimado para tal (330h gastas para 360h previstas); e (ii) apesar de o prazo da fase ter sido cumprido, isso pode ter acontecido com o uso de horas extras, o que pode ter aumentado o custo total do projeto. Devido a isso, o gerente poderia sugerir o uso de uma medida referente a custo do projeto para auxiliar a monitoração dos projetos e a derivação de duas novas medidas às de esforço e prazo já utilizadas, mostrando os valores acumulados do projeto até o momento.

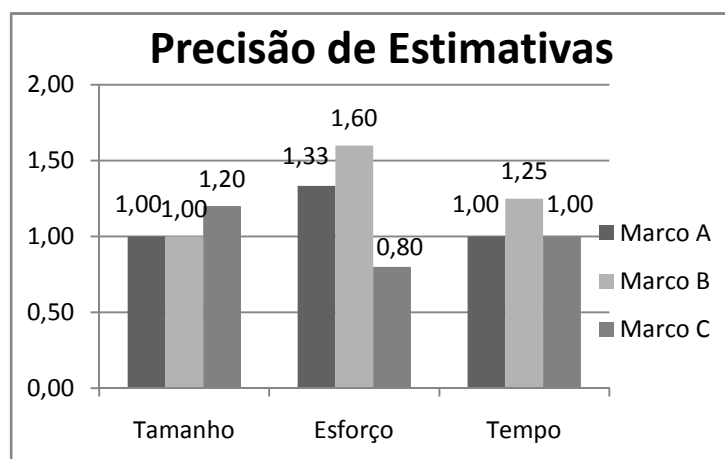


Figura 8.3 – Precisão de estimativas para o Marco C.

Também é importante destacar outro fato ocorrido no projeto. Conforme mostra o gráfico, houve uma mudança de requisitos no projeto entre os Marcos B e C, o que pode estar por trás dos desvios nas medidas dessa fase, pois as estimativas, aparentemente, não foram reavaliadas devido à alteração do escopo.

Ao final do projeto, conforme mostra a Figura 8.4, referente ao Marco D, também gastou-se mais horas que o previsto para a fase e o número de dias teve um desvio bastante acentuado. Apesar do desvio nas estimativas de esforço, no acumulado geral do projeto gastou-se 10 horas menos que as 420 horas originalmente estimadas. O desvio de dias nessa fase final se deveu não ao atraso da conclusão da execução das atividades pela equipe, mas ao não registro da aprovação do projeto pelo cliente. Dessa forma, mais uma vez, se fez necessária a avaliação das medidas de esforço e número de dias acumulados do projeto para

poder fazer uma análise mais completa dos resultados obtidos. Uma alteração decorrente dos dados obtidos nesse momento poderia considerar o final do projeto, para efeitos da medida de precisão de estimativa de tempo, como sendo a entrega do produto final e não o registro de aceite pelo cliente.

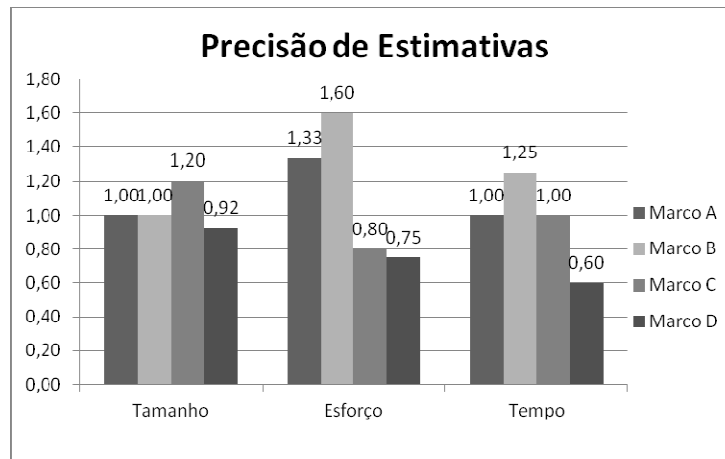


Figura 8.4 – Precisão de estimativas para o Marco D.

A Tabela 8.3 apresenta os valores para as seguintes novas medidas sugeridas, relacionadas ao acumulado obtido no projeto:

- Precisão (acumulada) da estimativa de tempo - calculada a cada fase do projeto a partir da divisão da estimativa do número de dias a serem gastos até o momento pelo tempo real em dias efetivamente gastos até o momento;
- Precisão (acumulada) da estimativa de esforço do projeto - calculada a cada fase do projeto a partir da divisão da estimativa inicial do número de horas a serem gastas até o momento pelo número de horas real gastas até o momento.

Tabela 8.3 – Medidas relacionadas a tamanho para a monitoração do projeto.

Medidas de GPR		Marco A	Marco B	Marco C	Marco D
Esforço Acumulado (em horas)	Estimado	40	200	360	420
	Real	30	230	330	410
	Precisão	1,33	0,87	1,09	1,02
Tempo Acumulado (em dias úteis)	Estimado	5	15	23	35
	Real	5	13	21	41
	Precisão	1,00	1,15	1,10	0,85

A Figura 8.5 exibe o gráfico para essas novas medidas.

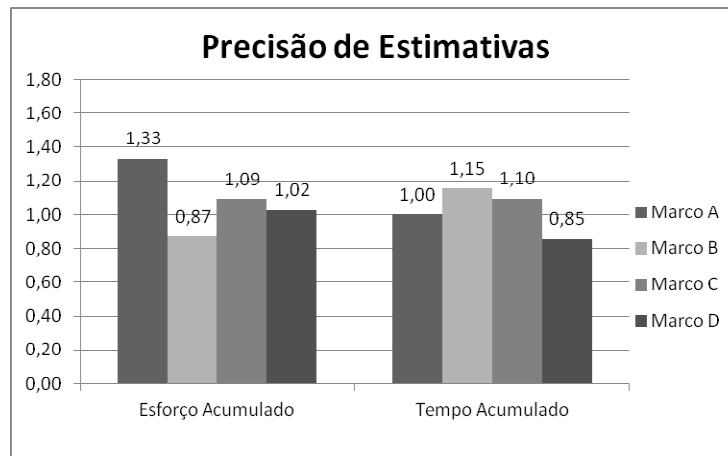


Figura 8.5 – Precisão de Estimativas (acumulado) para o projeto.

Para finalizar a análise, também é preciso avaliar as medidas relacionadas a Garantia da Qualidade, sumarizadas na Tabela 8.4.

O laudo de qualidade utilizado na organização contém critérios que avaliam tanto a qualidade do produto quanto a do processo. Há 20 critérios referentes à avaliação do Plano do Projeto e às atividades necessárias para produzi-lo. Há 20 critérios referentes à avaliação da Especificação de Requisitos e às atividades necessárias para produzi-la, sendo que dois desses critérios só se aplicam no caso de haver mudanças de requisitos. Há 12 critérios referentes à avaliação do Relatório de Monitoração do projeto e às atividades necessárias para produzi-lo.

Tabela 8.4 – Medidas relacionadas a garantia da qualidade para a monitoração do projeto

Taxa de Não Conformidades		Plano do Projeto	Especificação Requisitos	Relatório de Monitoração
Marco A	# NC	5	2	-
	# Crit.	20	18	-
	Taxa NC	0,25	0,11	-
Marco B	# NC	-	-	1
	# Crit.	-	-	12
	Taxa NC	-	-	0,08
Marco C	# NC	-	7	0,00
	# Crit.	-	20	12,00
	Taxa NC	-	0,35	0,00
Marco D	# NC	-	-	3
	# Crit.	-	-	12
	Taxa NC	-	-	0,25

Além do relato óbvio do número de não conformidades obtidos em cada um dos marcos, é importante destacar em especial a taxa associada com a segunda

avaliação da Especificação de Requisitos no Marco C (onde houve uma alteração no escopo do projeto), como pode ser vista na Figura 8.6.

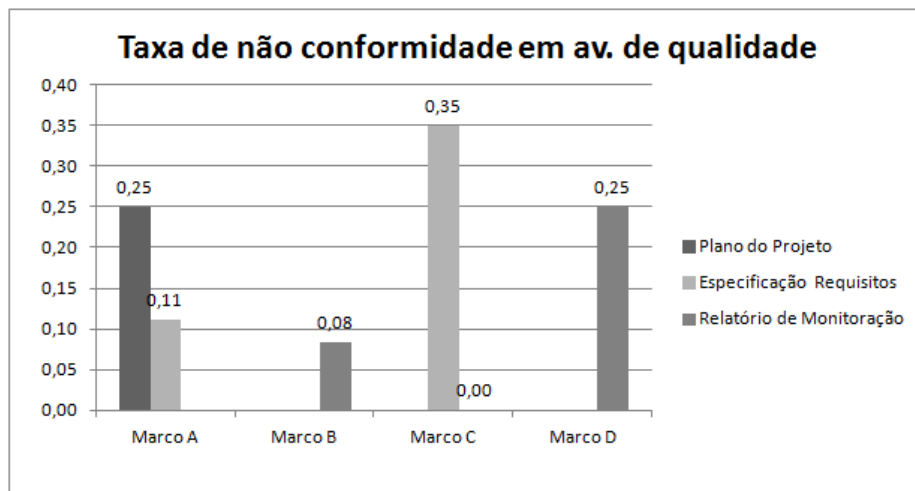


Figura 8.6 – Taxa de não conformidade em avaliações de qualidade de produto e processo.

É comum a tomada de alguma ação específica pelos responsáveis pelas atividades de garantia da qualidade quando a taxa de não conformidades atinge valores altos. Nessa organização, caso fosse adotado um limite de 10% de não conformidades, ações deveriam ser tomadas em todos marcos, exceto no B. No entanto, é importante destacar os problemas encontrados, pois podem se tornar pontos de atenção no futuro. Note que a não ocorrência de um 'alarme' em um momento não elimina a sua necessidade posteriormente: a qualidade do Relatório de Monitoração variou bastante ao longo do projeto e o último resultado obtido foi bastante discrepante dos demais.

No entanto, o ponto de maior atenção nos valores apresentados está associado ao número de problemas encontrados na avaliação da Especificação de Requisitos (25% dos critérios não foram atendidos completamente) no Marco C. Isso pode ser uma das causas do estouro nas estimativas de esforço identificadas nesse marco. Como plano de ação, os responsáveis pela Área de Qualidade poderiam ficar mais atentos a mudanças de requisitos e tentar garantir que as alterações nos documentos de requisitos e demais impactados por eles (como os planos do projeto) fossem feitas de forma adequada e controlada.

8.4 Medição para a Melhoria dos Processos de Software nos níveis E, D e C do MR-MPS

Diferentemente do que ocorre até o nível F do MR-MPS, a partir do nível E, espera-se que a medição auxilie não só a monitoração dos processos como, também, seja mais um mecanismo possível para identificação de melhoria nos processos da organização. Isso é possível devido à padronização dos processos na organização e à criação de um repositório de medidas que possibilitam observar o comportamento dos processos ao longo do tempo.

O exemplo¹⁸ a seguir mostra como as informações obtidas com a medição podem ser utilizadas para a identificação de possíveis pontos de melhoria nos processos e nos procedimentos adotados pelos projetos.

Considere que a organização em questão, ao elaborar seu Plano de Medição, tenha identificado como objetivo organizacional a *redução dos custos dos projetos* e a *redução dos defeitos encontrados durante a manutenção do produto* e tenha a medida descrita na Tabela 8.5 em seu Plano de Medição. Em um plano baseado no GQM, esta medida estaria associada ao objetivo ‘*Diminuir o número de defeitos por caso de uso*’ e à questão ‘*Qual a densidade de defeitos ocorridos nos testes?*’.

Tabela 8.5 – Medida referente à densidade de defeitos.

<i>Nome da Medida</i>	Densidade de defeitos em testes de software (DDTS)
<i>Definição</i>	Medida que quantifica a densidade de defeitos encontrados nos testes de software na homologação interna.
<i>Mnemônico</i>	DDTS
<i>Tipo de Medida</i>	Medida Derivada
<i>Entidade</i>	Processo de Testes
<i>Propriedade</i>	Deteção de defeitos
<i>Unidade de medida</i>	Defeitos/KSLOC
<i>Tipo de Escala</i>	Absoluta
<i>Valores da Escala</i>	Números reais positivos com precisão de duas casas decimais
<i>Intervalo Esperado dos Dados</i>	[0,00; 0,15]
<i>Fórmula de Cálculo de Medida</i>	DDTS = NDTS/TP, onde: NDTS = Número de defeitos detectados nos testes de software, e TP = Tamanho do Produto
<i>Procedimento de Medição</i>	Calcular a densidade de defeitos utilizando a fórmula de cálculo da medida. A coleta da métrica NDTS é feita manualmente a partir do Bugzilla (sistema para registros de defeitos identificados). Deve ser realizada uma busca dos defeitos com base no nome do projeto referentes a testes de software no mês de referência. O valor da medida é o número de itens retornados nessa busca. Caso o projeto não tenha executado testes no período, não se deve coletar a medida. Caso nenhum erro tenha sido encontrado, o valor coletado

¹⁸Este exemplo foi criado tendo como base questão da Prova de Conhecimento para Consultores de Implementação MPS.BR aplicada em 13/02/2009, disponível em www.softex.br/mpsbr.

	deve ser 0 (zero). A coleta da métrica TP é feita a partir da planilha de estimativas do projeto. O valor da medida é o valor da célula "Total de PF".
<i>Momento da Medição</i>	Atividade Registrar Dados dos Testes
<i>Periodicidade de Medição</i>	Uma vez em cada ocorrência da atividade
<i>Responsável pela Medição</i>	Ferramenta de apoio à medição, utilizando dados fornecidos para as medidas base pelo desenvolvedor que realizou os testes.
<i>Procedimento de Análise</i>	Representar em um gráfico de barras os dados coletados para a medida nos projetos da organização. Mensalmente é analisada a densidade de defeitos ocorridos no teste de software no mês de referência atual e comparado com os resultados dos meses anteriores. Analisar se há projetos cuja densidade de defeitos destoa significativamente das demais, dos valores praticados nos meses anteriores ou dos valores esperados. Em caso afirmativo, conduzir investigação de causas para que, identificadas as causas, sejam determinadas as ações corretivas necessárias. Se a densidade de defeitos ocorridos no teste de software for maior que o valor base, as causas devem ser observadas e possíveis medidas para corrigir o problema devem ser identificadas.
<i>Momento da Análise</i>	Atividade Analisar Dados de Monitoramento dos Projetos
<i>Periodicidade de Medição</i>	Mensal
<i>Responsável pela Medição</i>	Gerente de Qualidade

O período em análise na organização compreende quatro meses, de fevereiro a maio, em que foram desenvolvidos cinco projetos (representados pelas letras A, B, C, D e E). O projeto A foi o primeiro na organização a adotar o novo processo compatível com o nível C do MR-MPS, em fevereiro.

Em março foi gerado um relatório de medição contendo as informações apresentadas na Tabela 8.6.

Tabela 8.6 – Medidas relacionadas a densidade de defeitos em fevereiro e março.

Projeto	Tamanho (em PF)	Número de defeitos		Densidade de defeitos	
		Fevereiro	Março	Fevereiro	Março
Projeto A	200	50	-	0,25	-
Projeto B	100	-	-	-	-
Projeto C	100	30	20	0,3	0,2

A partir dessas informações, a organização foi capaz de perceber a quantidade excessiva de defeitos detectados nos testes de software, todas as coletas apontam valores acima do limite tolerável pela organização. Como o problema não parecia isolado em apenas um projeto e afetava diferentes equipes, foi investigada a causa e descobriu-se que parte dos problemas era decorrente da

falta de qualidade dos requisitos e das informações técnicas passadas às equipes do projeto. Também foi informado que todos os projetos estavam com atraso no cronograma, fato que foi atribuído pelo gerente do projeto à incapacidade da equipe entregar uma versão executável do software sendo construído com qualidade considerada adequada.

De posse dessas informações, a organização decidiu reorganizar a agenda de capacitação dos colaboradores e realizar, no início de abril, treinamentos focados em Verificação, Validação e Testes com o objetivo de ensinar técnicas que possibilitassem a criação de documentos de requisitos com maior qualidade e a criação de casos de testes mais completos e abrangentes. Ao mesmo tempo, os modelos (*templates*) de documentação referentes à especificação de requisitos, modelo de análise e projeto, inspeção de requisitos, plano e casos de testes foram revistos, assim como foi melhorado o detalhamento das atividades referentes a validação de requisitos com os usuários.

Após dois meses, a organização voltou a analisar os dados obtidos no relatório de medição para comprovar os efeitos das melhorias implantadas. As medidas coletadas podem ser vistas na Tabela 8.7. Todos os valores obtidos estão abaixo dos limites toleráveis pela organização, porém, é preciso analisar também o conjunto de valores obtidos e não apenas cada um individualmente.

Tabela 8.7 – Medidas relacionadas a densidade de defeitos (2).

Projeto	Tamanho do Projeto (em PF)	Número de defeitos		Densidade de defeitos	
		Abril	Maio	Abril	Maio
Projeto B	100	10		0,1	-
Projeto D	200	-	5	-	0,025
Projeto E	150	-	1	-	0,00667

Os Projetos A e C não tiveram mais execuções de testes no período, porém foi possível coletar a medida em relação aos projetos B, D e E. As Figura 8.7 e 8.8 apresentam os valores obtidos na forma de um gráfico de barras com os mesmos dados agrupados por projeto e por mês, respectivamente. Observando os valores apurados pode-se perceber que a densidade de defeitos nos projetos foi reduzida em comparação com os projetos anteriores. Uma informação importante para corroborar o efeito do treinamento realizado é que a equipe do projeto E (que obteve os menores índices de densidade de defeitos) foi a mesma do projeto C.

Dessa forma, pode-se assumir que a melhora no desempenho dos projetos foi influenciada pela ocorrência dos treinamentos realizados.

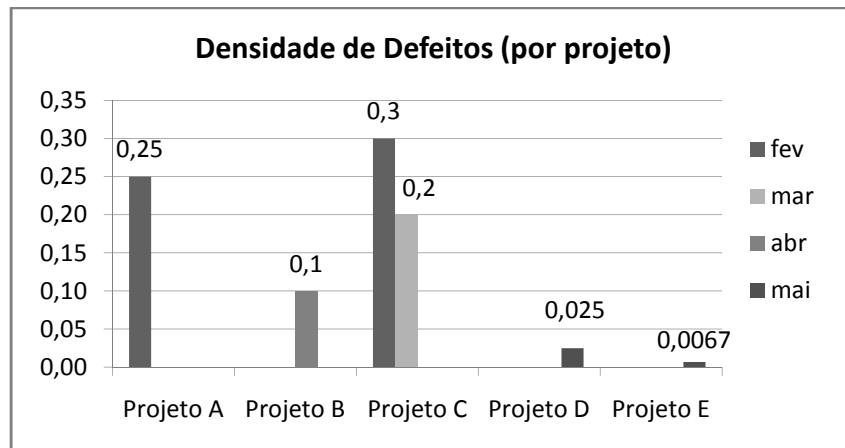


Figura 8.7 – Densidade de defeitos nos testes de software (em agrupamento por projetos).

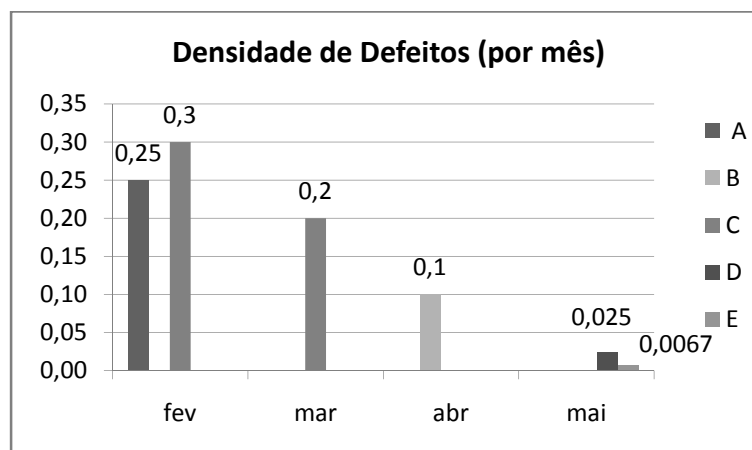


Figura 8.8 – Densidade de defeitos nos testes de software (em agrupamento por mês).

Duas outras informações de contexto relacionadas a essa medida foram obtidas: (i) todos os três projetos analisados no período estavam em dia com o cronograma, e (ii) os custos dos projetos D e E estavam muito elevados. A primeira informação corrobora com a percepção do efeito da qualidade dos requisitos para o atraso do cronograma dos projetos. A segunda é um ponto de atenção que merece uma análise mais aprofundada do grupo de processos.

Conversando com os gerentes dos projetos D e E, foi percebido que o aumento dos custos estava associado à duração excessiva das atividades relacionadas a testes na organização.

Apenas com as atuais medidas coletadas pela organização não é possível analisar o custo dos projetos e das atividades de testes. Para tratar isso da maneira adequada, o grupo de processos pode gerar uma ação corretiva que envolva a

definição de duas medidas para: (i) analisar os custos associados com todas as atividades dos projetos, e (ii) mensurar os custos para manutenção dos projetos entregues aos clientes. Essa última, apesar de estar relacionada com os objetivos organizacionais descritos anteriormente, ainda não havia sido coletada.

A primeira medida é necessária para confirmar quais atividades estão contribuindo, de fato, para o aumento dos custos dos projetos; pode ser que as responsáveis não sejam aquelas envolvidas na elaboração e execução de testes. A segunda medida é útil para se avaliar se o investimento feito em testes durante a execução dos projetos vale à pena se comparado com a redução dos custos de manutenção dos produtos.

Se possível, essas medidas deveriam ser coletadas retroativamente para aumentar a base histórica de comparações e, também, melhor analisar o efeito que o treinamento realizado em março teve nesse cenário.

8.5 Considerações Finais do Capítulo

Uma das dificuldades quando se inicia a implantação de um programa de medição de software em uma organização está em, a partir do entendimento dos conceitos teóricos envolvidos, identificar como os requisitos propostos pelo modelo de maturidade em uso podem ser utilizados em benefício da organização, seja no contexto dos projetos de software seja no auxílio na melhoria dos processos existentes.

Dessa forma, este capítulo apresentou dois exemplos, representando situações práticas, de como o processo de medição pode ser utilizado nesse contexto. No primeiro exemplo as informações são utilizadas para a monitoração do projeto, a interpretação do que está ocorrendo no momento e uma análise do andamento geral do projeto e ações que podem ser tomadas em decorrência desta análise. No segundo exemplo foi mostrado como a análise de uma série histórica, ainda que pequena, pode dar insumos para ações de melhoria em uma organização. E, também, como os efeitos dessas ações de melhoria podem ser analisados também com base nos registros de medição.

Além disso, também foi apresentado um conjunto de observações da implementação de medição em organizações que adotaram o MR-MPS. Essas observações não pretendem ser completas nem substituir outras fontes de

informação sobre medição de software. Entretanto, por estarem baseadas na experiência dos autores com várias organizações, espera-se que possam ser úteis às organizações na estruturação e condução de seu programa de medição, de forma a otimizar os esforços e evitar os erros e falhas mais comumente cometidos.

Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. 2008, Avaliação e Melhoria de Ativos de Processos Organizacionais em Ambientes de Desenvolvimento de Software, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ALLEN, J.H., DAVIS, N., 2010, Measuring Operational Resilience Using the CERT Resiliense Management Model, Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute, Technical Note CMU/SEI-2010-TN-030.
- AMCHAM, 2012, Somente 14% das empresas estão plenamente satisfeitas com mensuração de resultados de TI, disponível em <http://www.amcham.com.br>
- BALDASSARE, M. T., CAIVANO, D., VISAGGIO, C. A., 2006, Non Invasive Monitoring of a Distributed Maintenance Process, In: Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference, Sorrento, pp. 1098-1103.
- BARCELLOS, M. P., FALBO, R. A., ROCHA, A. R., 2010, Establishing a Well-founded Conceptualization about Software Measurement in High Maturity Levels, In: Proceedings of the 7th International Conference on the Quality of Information and Communications Technology (QUATIC 2010), Oporto - Portugal, pp. 467-472.
- BARCELLOS, M. P., 2009a, Uma Estratégia para Medição de Software e Avaliação de Bases de Medidas para Controle Estatístico de Processos de Software em Organizações de Alta Maturidade, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BARCELLOS, M. P., 2009b, Controle Estatístico de Processos Aplicado a Processos de Software – Do “Chão de Fábrica” para as Organizações de Software, Engenharia de Software Magazine, 11^a Edição, pp.56-61.
- BARCELLOS, M. P., 2009c, Utilização do Controle Estatístico de Processos na Melhoria de Processos de Software – Conhecendo Ferramentas para Análise do Comportamento dos Processos, Engenharia de Software Magazine, 12^a Edição, pp. 24-32.
- BARRETO, A.S., 2011, Definição e Gerência de Objetivos de Software Alinhados ao Planejamento Estratégico, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BARRETO, A., 2011, Uma Abordagem para Definição de Processos Baseada em Reutilização Visando à Alta Maturidade em Processos, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BARRETO, A.S., ROCHA, A. R., 2010, Defining and Monitoring Strategically Aligned Software Improvement Goals, In: 11th International Conference on Product Focused Software Process Improvement, Lecture Notes in Computer Science, vol 6156/2010, pp380-394.

- BASILI, V., ROMBACH, H., 1994, Measurement, In: Encyclopedia of Software Engineering, v.1,
- BASILI,V., HEIDRICH, J., LINDVALL, M., MÜNCH, J., REGARDIE, M., TRENDOWICZ, A., 2007, GQM+Strategies - Aligning Business Strategies with Software Measurement, In: 1st International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement.
- BASILI. V.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H., 1994, "Goal Question Metric Paradigm", In: Encyclopedia of Software Engineering, v.2, pp: 527 – 532.
- BASS,L., BELADY,L.BROWN,A., FREEMAN,P. ISENSEE,S., KAZMAN,R., KRANSNER,H., MUSA,J. PFEEGER,S, VREDENBURG,K., WASSERMAN,T., 1999, Constructing Superior Software, Software Quality Institute Series, Macmillan Technical Publishing.
- BENNEYAN, J. C., LLOYD, R., PSELK, P. E., 2003, Statistical Process Control as a Tool for Research and Healthcare Improvement, British Medical Journal - Quality and Safety Health Care, vol. 12, pp. 458-464.
- BUSSAB, W. O., MORETTIN, P. A., 2006, Estatística Básica: 5ª. Edição, Editora Saraiva, São Paulo – SP, In FÁVERO, L. P., BELFIORE, P., SILVA, F. L., CHAN, B. L., 2009, Análise de Dados: Modelagem Multivariada para Tomada de Decisões, Editora Elsevier, Campus, Rio de Janeiro – RJ.
- CAIVANO, D., 2005, Continuous Process Improvement Through Statistical Process Control, In: Proceedings of the Ninth European Conference on Software Maintenance and Reengineering, pp. 288-293.
- CAMPOS, F. B., CONTE, T. U., KATSURAYAMA, A. E., ROCHA, A. R., 2007 Gerência Quantitativa para o Processo Desenvolvimento de Requisitos, VI Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software - SBQS 2007, Porto de Galinhas – PE.
- CARD, D. N., DOMZALSKI, K., DAVIES, G., 2008, Making Statistics Part of Decision Making in an Engineering Organization, IEEE Software, 25(3), pp. 37-47.
- CURTIS,B., REIFER,D. SESHAGIRI,G.V., HIRMANPOUR, T., KEENI,G., 2008 The Case for Quantitative Process Management, IEEE Software, v. 25, n. 3, pp 24-28.
- DEMING, W. E., 1986, Out of the Crises, Massachusetts Institute of Technology, Center of Advanced Engineering, Cambridge.
- DUMKE, R., EBERT, C., 2010, Software Measurement: Establish - Extract - Evaluate - Execute: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- FALBO, R. A., 2005, Notas de Aula de Engenharia de Software, Departamento de Informática, Universidade Federal do Espírito Santo.
- FENTON, N.E., NEIL,M., 2000, Software Metrics: a Roadmap, in: Proceedings of the 22nd International Conference on Software Engineering, San Francisco, USA pp 359-370.

- FENTON, N.E e PFLEEGER, S.L., 1997, Software Metrics: a Rigorous and Practical Approach, PWS Publishing Company, 2nd Edition,
- FERREIRA, A. I. F., 2009, Seleção de Processos de Software para Controle Estatístico, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FLORAC, W. A., CARLETON, A. D., BARNARD, J. R., 2000, Statistical Process Control: Analyzing a Space Shuttle Onboard Software Process, IEEE Software, 17(4), pp. 97-106.
- FLORAC, W. A., CARLETON, A. D., 1999, Measuring the Software Process, Addison-Wesley.
- GARCIA, F. BERTO, M. F., CALERO, C. VALLECILLO, A., RUIZ, F., PLATTINI, M., GENERO, M., 2006, Towards a Consistent Terminology for Software Measurement Information and Software Technology, Information and Software Technology, v.48, n. 8, pp 631-644.
- GOETHERT, W., FISHER, M., 2003, Deriving Enterprise-Based Measures Using the Balanced Scorecard and Goal-Driven Measurement Techniques, Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute, Technical Note CMU/SEI-2003-TN-024.
- GOH, T.N., XIE, M., XIE, W., 1998, Prioritizing Process in Initial Implementation of Statistical Process Control, IEEE Transactions on Engineering Management, v.45, n.1, pp 66-72.
- GOPAL, A., KRISHNAN, M.S., MUKHOPADHYAY, T. GOLDENSON, D.R., 2002, Measurement Programs in Software Development: Determinants of Success, IEEE Transactions on Software Engineering, v.28, n.9, pp 863-875.
- ISO/IEC, 2002, ISO/IEC 15939 - Software Engineering – Software Measurement Process, The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission.
- ISO/IEC, 2003, ISO/IEC 15504 - Software Engineering - Process Assessment, The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission.
- ISO/IEC, 2008, ISO/IEC 12207 – Systems and Software Engineering – Software Life Cycle Process, The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission.
- KAPLAN, R.S., NORTON, D.P. The Balanced Scorecard Translating Strategy into Action, Harvard Business School Press.
- KITCHENHAM, B., HUGHES, R. T., LINKMAN, S. G., 2001, Modeling Software Measurement Data, IEEE Transactions on Software Engineering, 27(9), pp. 788-804.
- KITCHENHAM, B., JEFFERY, D. R., CONNAUGHTON, C., 2007, Misleading Metrics and Unsound Analyses, IEEE Software, 24(2), pp. 73-78.

- KITCHENHAM, B., KUTAY, C., JEFFERY, D. R., CONNAUGHTON, C., 2006, Lessons Learnt from the analysis of large-scale corporate databases, International Conference on Software Engineering, pp 439-444.
- LUECKE, R., 2010, Estratégia, Harvard Business Essentials, Editora Record.
- LANTZY, M. A., 1992, Application of Statistical Process Control to the Software Process, In: Proceedings of the 9th Washington Ada Symposium on Empowering Software Users and Developers, ACM Press, pp. 113-123.
- McGARRY, J, CARD, D., JONES, C., LAYMAN, B., CLARK, E., DEAN, J., HALL, F, 2002, Practical Software Measurement: Objective Information for Decision Makers, Addison Wesley.
- NEUBAUER, D., 2011, Understanding Process Capability: The Difference Between Capability and Control, ASTM Standardization News, May/June.
- NISSINK, F., VLIET, H., 2001, Measurement Program Success Factors Revisited, Information and Software Technology, v.43, n.10, pp 617-628
- PARK, R.E, GOETHERT, W.B., FLORAC, W.A., 1996, Goal-Driven Software Measurement — A Guidebook, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, CMU/SEI-96-HB-002.
- PMI, 2008, Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 4. ed., Newton Square: PMI Publications.
- PUTNAM, L. H. e MYERS, W., 2003, *Five Core Metrics: The Intelligence Behind Successful Software Management*, Dorset House Publishing Company.
- RACKZINSKI, B., CURTIS, B., 2008, Software data Violate SPC's Underlying Assumptions, IEEE Software, v. 25, n. 3, pp 49-50.
- SARGUT, K. U., DEMIRORS, O., 2006, Utilization of Statistical Process Control (SPC) in Emergent Software Organizations: Pitfalls and Suggestions, Software quality Journal, v. 14, n. 5, pp 135-157
- SEI, 2010, Capability Maturity Model Integration (CMMI) for Development, version 1.3, Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute, Technical Report CMU/SEI-2010-TR-033.
- SHEWART, W. A., 1939, Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control, Washington, D.C.: Graduate School of the Department of Agriculture (Reprinted in Mineola, N.Y.: Dover D. Publications, Inc., 1986).
- SIVIY, J., PENN, M. L., HARPER, E., 2005, Relationship Between CMMI and Six Sigma. Technical Note, CMU/SEI-2005-TN-005.
- SOFTTEX, 2011a, "MPS.BR – Melhoria de Processo do Software Brasileiro – Guia Geral". Disponível em: <http://www.softex.br/mpsbr>.
- SOFTTEX, 2011b, "MPS.BR – Melhoria de Processo do Software Brasileiro – Guia de Implementação – Parte 2". Disponível em: <http://www.softex.br/mpsbr>.

- SOFTEX, 2011c, "MPS.BR – Melhoria de Processo do Software Brasileiro – Guia de Implementação – Parte 6". Disponível em: <http://www.softex.br/mpsbr>.
- SOLINGEN, R.; BERGHOUT, E., 1999, The Goal/Question/Metric Method: a Practical Guide for Quality Improvement of Software Development, McGraw-Hill.
- TARHAN, A., DEMIRORS, O., 2006, Investigating Suitability of Software Process and Metrics for Statistical Process Control, Lecture Notes in Computer Science, 4257, pp. 88-99.
- WANG, Q., LI, M., 2005, Measuring and Improving Software Process in China, In: Proceedings of International Symposium on Empirical Software Engineering, pp 183-192.
- WHEELER, D. J., 1997, Good Limits from Bad Data, Quality Digest, April, 53, In WELLER, E. F., CARD, D., 2008, Applying SPC to Software Development: Where and Why, IEEE Software, 25(3), pp. 48-50
- WHEELER, D. J., POLING, R. S. , 1998, Building Continual Improvement: A Guide for Business, SPC Press.
- WHEELER, D. J., 2000, Understanding Variation: The Key to Managing Chaos, Second Revised Edition, SPC Press, Knoxville – Tennessee.
- WHEELER, D. J., CHAMBERS, D. S., 2010, Understanding Statistical Process Control, Third Edition, SPC Press, Knoxville - Tennessee.