

# Gerência Quantitativa para o Processo de Desenvolvimento de Requisitos

Fabio Bianchi Campos<sup>1,2</sup>, Tayana Uchôa Conte<sup>1</sup>, Anne Elise Katsurayama<sup>1</sup>, Ana Regina Cavalcanti da Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Caixa Postal: 68511 – CEP: 21945-970 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>2</sup> UCB – Universidade Católica de Brasília, CCT – Centro de Ciência e Tecnologia  
CEP: 71966-700 – Brasília, DF, Brasil

bianchi@ucb.br, {anneelisek, tayana, darocha}@cos.ufrj.br

***Abstract.** This paper describes guidelines for the implementation of software process quantitative management. The Requirements Development process was chosen as object of study and example of quantitative management due to its relevance. These guidelines have been developed based on bibliographical research and in the experience of the authors in implementation and evaluation of software processes. Our goal is that these guideline lead to an implementation that takes care of to organizations' objectives, being adherent to expected results of the maturity models.*

***Resumo.** Este artigo apresenta um conjunto de orientações para a implementação da gerência quantitativa de processos de software. O processo de Desenvolvimento de Requisitos foi escolhido como objeto de estudo e exemplo da gerência quantitativa, devido à sua relevância para os projetos de software. Estas orientações foram produzidas a partir da pesquisa bibliográfica sobre o tema, e da experiência dos autores em implementação e avaliação de processos. O propósito é que, quando seguidas, estas orientações levem a uma implementação que atenda aos objetivos das organizações, e ao mesmo tempo seja aderente ao que é especificado como resultado esperado dos níveis avançados dos modelos de maturidade.*

## 1. Introdução

As organizações de desenvolvimento de software vêm buscando sistematizar seus processos de forma a obter ganhos de produtividade e qualidade [Campos et al. 2006]. Segundo Fuggetta (2000), a qualidade dos processos de desenvolvimento e manutenção de software é um fator importante para obter produtos de qualidade. Portanto, o aperfeiçoamento contínuo desses processos levaria à melhoria da qualidade dos produtos desenvolvidos.

Entre as abordagens para alcançar a melhoria contínua do processo de software, uma das mais importantes é o controle estatístico, pois este permite aferir se o processo é estável e qual seu desempenho e variabilidade [Florac and Carleton 1999]. O processo estável pode ser definido como um processo previsível, cujo desempenho e variabilidade são conhecidos, permitindo elaborar estimativas que utilizam como base seu desempenho passado. Para verificar se determinado processo é estável, torna-se necessário executá-lo, coletar uma quantidade significativa de medidas de desempenho e avaliar se o processo está sob controle estatístico [Wheeler and Chambers 1992].

A gerência quantitativa não é aplicada de forma indiscriminada a todos os processos de software, e sim de forma seletiva nos processos mais relevantes para os objetivos da organização. Esta seletividade implica na escolha de quais processos terão seus atributos de desempenho medidos, estabilizados e controlados. Processos que consomem recursos significativos, estão no caminho crítico dos projetos, ou que tenham relação direta com a qualidade do produto devem ser priorizados [Kulpa and Johnson 2004].

Usando como referência o MPS.BR (2006) e os critérios citados anteriormente, surgem como candidatos a serem gerenciados quantitativamente os seguintes processos: Desenvolvimento de Requisitos, Solução Técnica, Integração do Produto, Verificação e Validação. As atividades destes processos consomem uma parcela significativa dos recursos de um projeto, estão diretamente relacionadas aos prazos de entrega e à qualidade dos produtos.

Algumas abordagens relacionadas a medições e melhoria de processos [Fuggetta 2000] indicam que não se deve iniciar uma implantação de medições ou melhorias em um número elevado de processos simultaneamente, e sim em um escopo restrito, facilitando o gerenciamento da implantação das novas técnicas e reduzindo os riscos da abordagem. Seguindo estas diretrizes, optou-se por escolher o Desenvolvimento de Requisitos como o processo a ser gerenciado quantitativamente, pois os demais dependem dos seus resultados, sendo difícil falar em estabilização dos demais processos sem que este esteja estável.

O artigo está dividido em seis seções, incluindo esta Introdução. A Seção 2 apresenta um breve referencial teórico sobre o processo de Desenvolvimento de Requisitos, discutindo a sua importância para o desenvolvimento. A Seção 3 apresenta o conjunto de orientações para implantação da gerência quantitativa de processos, tendo o processo de Desenvolvimento de Requisitos como foco. A Seção 4 discute a aderência da abordagem apresentada ao Nível B do MPS.BR (2006). A seção 5 faz considerações sobre trabalhos correlatos, e por fim, a Seção 6 discute as principais contribuições deste artigo e suas conclusões.

## **2. Processo de Desenvolvimento de Requisitos**

Requisitos formam a base de todo projeto de software. Segundo o SWEBOK (2004), um requisito é uma propriedade que o software deve exibir para resolver algum problema no mundo real. Segundo o Guia de Implementação versão 1.1 do MPS.BR (2006), “o desenvolvimento de requisitos criterioso é condição fundamental para o sucesso do projeto, pois os requisitos formam o alicerce para todo o ciclo do projeto, do desenvolvimento até a manutenção”.

Devido a sua importância, o processo de Desenvolvimento de Requisitos é elemento de vários modelos e padrões de melhoria de processo reconhecidos amplamente, como o CMMI (2006), o MPS.BR (2006) e a ISO/IEC 12207 (2006). No CMMI (2006), é o foco da Área de Processo *Requirements Development* (RD) do Nível 3. No MPS.BR (2006), o processo de Desenvolvimento de Requisitos é um dos processos do Nível E. Na ISO/IEC 12207 (2006), está relacionado com os subprocessos de Elicitação de Requisitos, Análise de Requisitos de Sistema, Análise de Requisitos de Software do processo de Desenvolvimento.

No MPS.BR (2006) o propósito do processo Desenvolvimento de Requisitos é estabelecer os requisitos dos componentes do produto, do produto e do cliente. Os resultados esperados deste processo estão relacionados aos resultados esperados dos processos de Solução Técnica, Gerência de Requisitos e Validação, ou por serem produtos requeridos para sua execução ou por terem uma interface com o processo propriamente dito. Por exemplo, o conjunto de requisitos produzido pelo Desenvolvimento de Requisitos é o produto de trabalho requerido para se iniciar o processo de Solução Técnica. De forma semelhante, tanto os

requisitos do cliente quanto os requisitos do produto e de componentes do produto são produtos de trabalho que devem ser tratados pelo processo de Gerência de Requisitos.

Devido à dependência dos outros processos de engenharia em relação ao processo de Desenvolvimento de Requisitos, pode-se notar a relevância deste processo, e o quão importante é analisar o seu comportamento, de forma a conhecer o seu desempenho, realizar esforços pela sua estabilização, modelar o seu comportamento, e gerenciá-lo quantitativamente.

### 3. Orientações para a Implementação da Gerência Quantitativa de Processos

A implementação da gerência quantitativa de processos requer um planejamento criterioso. Uma seqüência de atividades bem definida deve ser imposta, evitando desperdiçar esforços e invalidar dados coletados. A proposta deste trabalho é que esta implementação seja dividida em três fases, cada uma com propósitos e marcos bem definidos:

**Fase Conhecer:** O propósito desta fase é definir os atributos dos processos cujo desempenho se deseja conhecer. Medidas são definidas, visando conhecer o desempenho e variabilidade destes atributos. O marco que caracteriza esta fase é atingir um volume de dados coletados, que possua qualidade e significância estatística, para efetuar as análises necessárias nas fases posteriores.

**Fase Estabilizar:** O propósito desta fase é estabilizar o desempenho dos atributos dos processos escolhidos, atuando nas causas especiais de variabilidade. O marco que caracteriza esta fase é que o processo tenha atingido um ponto de operação em que seu desempenho seja estatisticamente estável, com *baselines* e modelos de desempenho produzidos.

**Fase Controlar:** O propósito desta fase é que os processos que atingiram a estabilidade sejam planejados e monitorados quantitativamente, usando as *baselines* e modelos, em alguns projetos-piloto. Após a consolidação das técnicas a implementação da gerência quantitativa é institucionalizada, sendo aplicada nos demais projetos de interesse da organização.

A opção por dividir estas orientações de implementação em fases é para deixar explícito que é necessário um período considerável para que os marcos sejam alcançados. Vários projetos devem ser executados na unidade organizacional a fim de que a abordagem estatística seja representativa. O ritmo da implementação da gerência quantitativa é definido pelas análises executadas sobre os dados coletados. Se estas mostrarem que determinado marco ainda não foi atingido, não se pode evoluir para a fase seguinte.

Juntamente com a apresentação das atividades de cada fase são apresentados exemplos dos resultados destas atividades para o processo de Desenvolvimento de Requisitos. O processo de requisitos apresentado como exemplo é dirigido por casos de uso. Parte dos dados apresentados como exemplos foram fornecidos pela empresa BL Informática, parte são dados da literatura [Anda et al. 2001] [Wang et al. 2006] ou hipotéticos, para exemplificar as atividades e resultados sugeridos. A seguir são descritas as principais atividades de cada fase.

#### 3.1 Fase Conhecer

Antes de gerenciar quantitativamente qualquer processo de um projeto é necessário conhecer o desempenho deste. Este processo deve ser executado em vários projetos, dados sobre o seu desempenho devem ser coletados e armazenados, e os indicadores que permitem mostrar o desempenho dos processos são elaborados. As atividades desta fase são:

### 3.1.1 Definir objetivos e medidas preparatórias para a gerência quantitativa

Nesta fase inicial da implantação da gerência quantitativa ainda não é viável a definição de objetivos quantitativos, pois não se conhece o desempenho efetivo do processo selecionado. Primeiramente deve-se conhecer este desempenho para começar a estabelecer objetivos quantitativos para o processo nos projetos. Portanto, o foco inicial deve ser a definição de quais são os atributos do processo que se deseja conhecer o desempenho, e quais as medidas necessárias para obter este desempenho. Deve-se, também, definir quais serão os indicadores utilizados nas análises de estabilidade e capacidade realizadas nas fases seguintes. Nesta atividade utiliza-se a abordagem GQ(I)M [Park et al. 1996] para a definição das medidas e indicadores.

Na Tabela 1 é apresentado um exemplo de resultado desta atividade para o processo de Desenvolvimento de Requisitos.

**Tabela 1 - GQ(I)M para o Processo de Desenvolvimento de Requisitos**

Metas Iniciais	Questões	Medidas básicas	Medidas derivadas	Indicadores estatísticos
G1: Conhecer o esforço em Desenvolvimento de Requisitos relativo ao esforço total do projeto.	Q1.1: Qual o percentual de esforço em Desenvolvimento de Requisitos por projeto?	Mb1.1= Esforço em horas nas atividades de requisitos; Mb1.2=Esforço total nas atividades do projeto.	Md1.1: Esforço percentual do Desenvolvimento de Requisitos em relação ao esforço total do projeto; Md1.1= $\frac{Mb1.1}{Mb1.2} \times 100\%$	Ie1.1: Gráfico de controle de Md1.1 (X-bar); Ie1.2: Gráfico de controle da amplitude móvel de Md1.1 (XmR)
G2: Conhecer a produtividade nas atividades de Desenvolvimento de Requisitos (Casos de Uso)	Q2.1: Qual o esforço necessário para produzir a descrição dos cenários e conceitos operacionais para cada caso de uso? Q2.2: Qual o tamanho funcional estimado de cada Caso de Uso?	Mb2.1=Esforço para especificar o Caso de Uso; Mb2.2= Tamanho em UUCPs <sup>1</sup> do Caso de Uso.	Md2.1: Produtividade (Homem-hora/UUCP) Md2.1= Mb2.1/Mb2.2	Ie2.1: Gráfico de controle de Md2.1 (X-bar); Ie2.2: Gráfico de controle da amplitude móvel de Md2.1 (XmR)
G3: Conhecer o esforço em retrabalho após a verificação e validação dos requisitos.	Q3.1: Qual o esforço no retrabalho após a verificação e validação dos requisitos? Q3.2: Qual o esforço total em Desenvolvimento de Requisitos?	Mb3.1= Esforço em retrabalho nos Casos de Uso; Mb3.2= Esforço total nas atividades de requisitos	Md3.1: Esforço (Homem-hora) percentual do retrabalho em relação ao esforço total em Desenvolvimento de Requisitos; Md3.1= $\frac{Mb3.1}{Mb3.2} \times 100\%$	Ie3.1: Gráfico de controle de Md3.1 (X-bar); Ie3.2: Gráfico de controle da amplitude móvel de Md3.1 (XmR)

### 3.1.2 Coletar medidas da execução do processo

Devem ser coletadas medidas em sucessivos projetos antes de evoluir para a fase seguinte da abordagem. Além das medidas básicas especificadas, devem ser registradas informações de caracterização dos projetos, tais como o tamanho total estimado, linguagem de programação, perfil da equipe do projeto, ambiente de desenvolvimento e versão do processo. Estas informações permitem o agrupamento das medidas coletadas em diferentes categorias de projeto, mantendo a homogeneidade entre os membros de cada grupo.

Um exemplo de resultado da coleta para o processo de Desenvolvimento de Requisitos é o tamanho e o esforço para os Casos de Uso da categoria complexo, em um determinado período, como apresentado na Tabela 2. Estas medidas estão relacionadas ao objetivo G2, apresentado na Tabela 1.

<sup>1</sup> UUCP (*Unadjusted Use Case Points*) – Pontos de Caso de Uso não ajustados [Karnier, 1993]

**Tabela 2 - Casos de uso complexos dos projetos dos meses 10, 11 e 12 de 2006**

Projeto	1					2				3			4				5			
UUCP (Mb2.2)	17	16	18	16	21	18	18	20	16	20	16	18	19	16	19	18	20	16	21	17
Esforço (Mb2.1)	42,3	38,1	49,7	41,0	53,8	44,6	49,7	57,4	43,0	49,4	45,0	44,7	46,0	44,0	51,1	44,7	53,4	43,0	56,7	47,4
Prod. (Md2.1)	2,49	2,38	2,76	2,56	2,56	2,48	2,76	2,87	2,69	2,47	2,81	2,48	2,42	2,75	2,69	2,48	2,67	2,69	2,70	2,79

### 3.1.3 Gerar indicadores estatísticos do desempenho

Após coletar as medidas básicas, as medidas derivadas podem ser calculadas para cada objetivo de interesse. Somente após calcular sucessivas medidas derivadas pode-se iniciar a elaboração do indicador estatístico, que é baseado em gráficos de controle.

Os elementos básicos para a elaboração dos gráficos de controle são a Média dos valores de desempenho e a Amplitude (diferença) entre dois valores de desempenho:

Valores medidos de desempenho:  $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n$

Média ( $X_n$ ) = Média dos valores de desempenho =  $(X_1+X_2+\dots+X_{n-1}+X_n)/n$  [X-bar]

Amplitude Móvel:  $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}$  [moving Range – mR]

$A_1=X_2-X_1; A_2=X_3-X_2; \dots A_{n-1}=X_n-X_{n-1}$

Média da Amplitude Móvel =  $(A_1+A_2+\dots+A_{n-1})/n-1$

Os limites de operação do processo são calculados a partir dos seguintes valores:

Limite Superior do Desempenho: [Upper Control Limit – UCL<sub>x</sub>]

$UCL_x = \text{Média}(X_n) + (2,660 \times \text{Média Amplitude Móvel})$

Limite Inferior do Desempenho: [Lower Control Limit – LCL<sub>x</sub>]

$LCL_x = \text{Média}(X_n) - (2,660 \times \text{Média Amplitude Móvel})$

Limite Superior da Amplitude Móvel: [Upper Control Limit – UCL<sub>R</sub>]

$UCL_R = 3,268 \times (\text{Média Amplitude Móvel})$

O gráfico de controle pode ser elaborado com poucos pontos, mas neste caso o efeito de pontos individuais com valores extremos pode ter forte influência sobre os valores dos limites calculados, o que não é desejado. A recomendação de Wheeler and Chambers (1992) é para iniciar a análise de variabilidade com pelo menos 20 pontos no gráfico. Abaixo deste número o gráfico pode ser elaborado, mas não é adequado para análises de variabilidade.

Para os indicadores do processo de Desenvolvimento de Requisitos (Tabela 1), os dados são agrupados conforme a categoria do Caso de Uso (simples, médio ou complexo). Os dados de cada grupo são utilizados para produzir os indicadores definidos na última coluna da Tabela 1. Para cada indicador, deve-se criar um gráfico X da média (X-bar) e um gráfico da amplitude móvel (XmR). Estes são os gráficos de controle utilizados para dados contínuos. Outros tipos de gráficos de controle podem ser necessários se os dados coletados forem discretos, tais como p-chart, c-chart e outros [Florac and Carleton 1999].

Para cada grupo de medidas derivadas, o tamanho do subgrupo escolhido foi 1 (para Md2.1, cada caso de uso é representado por 1 ponto no gráfico da média). Quando o subgrupo é de tamanho 1 não existe condição para calcular a amplitude dentro do grupo, pois só existe 1 elemento, então é calculada a amplitude entre dois valores consecutivos do gráfico X-bar [Wheeler and Chambers 1992]. Para os indicadores escolhidos poderiam ser definidos subgrupos de tamanhos maiores que 1, mas isto reduziria a possibilidade de antever desvios, prejudicando a pró-atividade da monitoração (seção 3.3.3), pois vários casos de uso teriam que

ser concluídos para realizar o cálculo do subgrupo, que seria transformado em um único ponto nos gráficos de controle.

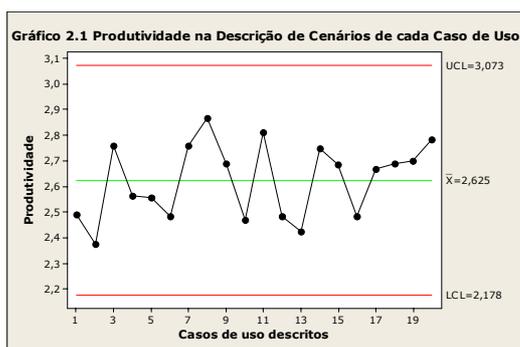
A seguir é apresentado um exemplo de gráfico de controle, resultado dos cálculos com os dados da Tabela 2, com os valores de desempenho da produtividade e amplitude na descrição de Casos de Uso (Md2.1) da Tabela 3, com a média e os limites calculados da Tabela 4, e os gráficos respectivos das Figuras 1 e 2.

**Tabela 3. Produtividade e Amplitudes para o objetivo G2**

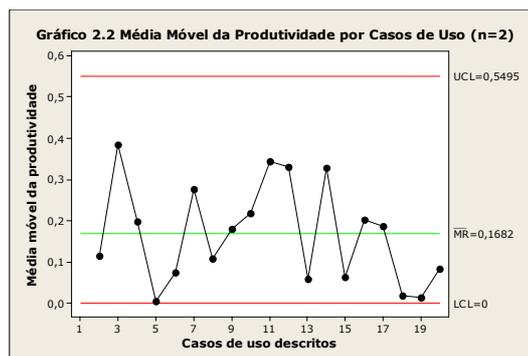
UUCP (Mb2.2)	17	16	18	16	21	18	18	20	16	20	16	18	19	16	19	18	20	16	21	17
Esforço (Mb2.1)	42,3	38,1	49,7	41,0	53,8	44,6	49,7	57,4	43,0	49,4	45,0	44,7	46,0	44,0	51,1	44,7	53,4	43,0	56,7	47,4
Prod. (Md2.1)	2,49	2,38	2,76	2,56	2,56	2,48	2,76	2,87	2,69	2,47	2,81	2,48	2,42	2,75	2,69	2,48	2,67	2,69	2,70	2,79
Amplitude mR	-	0,11	0,38	0,20	0,00	0,08	0,28	0,11	0,18	0,22	0,34	0,33	0,06	0,33	0,06	0,21	0,19	0,02	0,01	0,09

**Tabela 4. Cálculo das médias e limites para o indicador Ie2**

Média da produtividade	Média da amplitude móvel	UCLx – limite superior	LCLx – limite inferior	UCL <sub>R</sub> – limite superior
$(X_1+X_2+ \dots X_{n-1}+X_n)/n$	$(A_1+A_2+ \dots A_{n-1})/n-1$	Média(Xn) + (2,660 x MédiaAmplitudeMóvel)	Média(Xn) – (2,660 x MédiaAmplitudeMóvel)	3,268 x (MédiaAmplitudeMóvel)
2,625	0,168	3,072	2,178	0,549



**Figura 1. Gráfico da Produtividade**



**Figura 2. Gráfico da Amplitude Móvel**

## 3.2 Fase Estabilizar

Do ponto de vista do controle estatístico, o primeiro passo para melhorar as saídas de um processo é a identificação das causas de variação excessiva, chamadas de causas atribuíveis ou especiais [Wheeler and Chambers 1992]. À medida que as causas especiais são identificadas e tratadas, a variabilidade no desempenho do processo vai reduzindo, até o processo ficar sob controle estatístico. A ferramenta estatística utilizada para analisar se a estabilidade foi atingida são os gráficos de controle. Na prática nem sempre é possível atingir a estabilidade de processos de software, existindo casos em que a dinâmica do ambiente de desenvolvimento e a mudança permanente de contexto não permitem esta estabilização [Kan 2003]. O objetivo da estabilização não é eliminar a variação, mas sim reduzir esta a um nível tal que ela seja o resultado da interação natural das diversas partes do processo, resultante apenas das chamadas causas comuns de variação. As atividades da Fase Estabilizar são descritas a seguir.

### 3.2.1 Identificar causas especiais de variabilidade

Os gráficos de controle citados na Seção 3.1.3 são continuamente atualizados à medida que novos dados do desempenho do processo são coletados. Os pontos fora dos limites

são os principais candidatos a estudo para identificação de possíveis ocorrências de causas especiais.

Os fatores que podem levar a variabilidade por causas especiais nos processos industriais convencionais são: máquinas desajustadas, diferenças nos insumos, alteração na aplicação dos métodos, diferenças entre trabalhadores ou no ambiente de produção [Wheeler and Chambers 1992]. Fazendo uma analogia para a produção de software, poderíamos ter como possíveis causas de instabilidade para o processo Desenvolvimento de Requisitos: problemas em ferramentas de apoio às atividades de requisitos, diferenças nas fontes de requisitos ou profissionais despreparados para executar as técnicas de elicitação e definição de requisitos.

Exemplificando com o indicador de produtividade (Ie1.1), as situações onde a produtividade fique abaixo do limite inferior no gráfico de controle devem ser analisadas, buscando causas especiais que possam ser tratadas. As fontes de informação a serem usadas nestas análises podem ser dados de contexto associados às medições, avaliações de adequação das atividades, ou avaliações post-mortem de projetos [Campos et al. 2006]. No caso de múltiplas causas possíveis, pode ser feita uma análise preliminar com um diagrama causa-efeito e posteriormente se identificar as prioritárias com um diagrama de Pareto [Wang et al. 2006]. Essa análise pode apontar necessidades de treinamento, melhorar a descrição das atividades do processo, criação ou aprimoramento dos modelos de artefatos, troca ou melhoria de ferramentas.

### 3.2.2 Analisar a estabilidade

Quando cessa a ocorrência de pontos fora dos limites para os gráficos X-Bar, deve ser feita uma análise mais apurada para se ter certeza da estabilidade. Um curto período de observação de valores dentro dos limites de operação não é suficiente para determinar que o processo está estável, sendo indicadas pelo menos 100 observações consecutivas do desempenho dentro da faixa para obter uma maior segurança da estabilidade [Wheeler and Chambers 1992].

O teste de estabilidade mais comum é referenciado como T1, quando se verifica se os valores medidos ficaram fora dos limites estabelecidos ( $\pm 3\sigma$  da média). Para uma análise mais detalhada da estabilidade aplicam-se os seguintes testes adicionais ao gráfico da média (X-bar):

- T2: Se entre 3 pontos consecutivos existirem 2 fora da linha de  $2\sigma$  (do mesmo lado).
- T3: Se entre 5 pontos consecutivos existirem 4 fora da linha de  $1\sigma$  (do mesmo lado).
- T4: Se 8 pontos consecutivos estiverem do mesmo lado da média.

Passar nos testes de T1 a T4 não é suficiente para concluir que o processo está estável, pois para confirmar a estabilidade deve ser analisado o gráfico da amplitude móvel (XmR), que não deve ter pontos fora dos limites. Caso algum teste previamente mencionado seja positivo, deve-se executar novamente a atividade “Identificar causas especiais de variabilidade” para tratar as causas especiais.

### 3.2.3 Estabelecer a *baseline* de desempenho do processo

A *baseline* é derivada da análise das medidas coletadas, e estabelece a distribuição e faixa de resultados que caracterizam o desempenho do processo [Kulpa and Johnson

2004]. É utilizada para planejamento e monitoração, permitindo comparar o desempenho do processo em execução com o desempenho estabelecido na *baseline*. Uma forma de representar a *baseline* é com a média e os limites de controle relativos aos atributos escolhidos, conforme as fórmulas apresentadas (Seção 3.1.3). Os dados pré-estabilização não devem ser considerados no cálculo da média e limites que irão compor a *baseline*, pois refletem um comportamento que sofreu ajustes e não representam mais a realidade do processo. Os 100 pontos sugeridos em 3.2.2 são suficientes para dar confiança nos valores calculados.

A Tabela 5 mostra um exemplo da *baseline* relativa a um dos atributos escolhidos para o processo de Desenvolvimento de Requisitos, relacionado com a meta G1. Caso ocorram mudanças significativas no processo que o levem a um novo patamar de desempenho, a *baseline* deve ser atualizada em função deste novo desempenho [Wang et al. 2006].

**Tabela 5. Exemplo de *baseline* relativa ao Indicador Ie1**

Baselines do esforço percentual nas atividades de requisitos							
Baselines		X-Bar (Ie1.1)			XmR (Ie1.2)		
#	Período		Limite inferior	Média	Limite superior	Média das amplitudes	Limite superior da amplitude
1	8/05	12/05	14,7 %	18,8%	22,97%	1,55	5,07
2	1/06	7/06	11,47%	15,2%	18,92%	1,4	4,57
3	8/06	12/06	9,88%	13,5%	17,12%	1,36	4,44

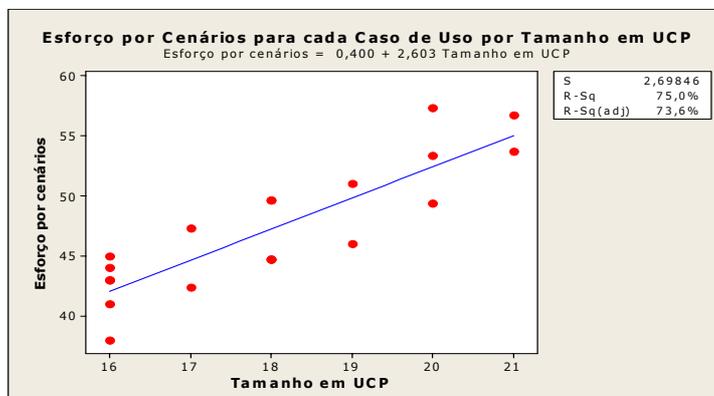
### 3.2.4 Elaborar modelos do desempenho do processo

Um dos objetivos dos modelos de desempenho é permitir a previsão de desempenho futuro dos processos a partir de outros atributos do processo ou produtos. Estes modelos descrevem relacionamentos entre atributos do processo e produtos de trabalho [Kulpa and Johnson 2004]. Modelos são utilizados nas estimativas que servem de base para o planejamento, e na monitoração quantitativa dos projetos. Quando se perceber que o desempenho de um projeto não é o desejado, pode-se utilizar os modelos para analisar como trazer o projeto de volta aos objetivos, por meio de análises estatísticas, simulações e outros. Dependendo do tipo de variáveis envolvidas no modelo, se contínuas ou discretas, diferentes técnicas estatísticas são utilizadas para elaborar e utilizar estes modelos, tais como, regressão, ANOVA, e chi-square [Konrad, 2007].

Para o processo de Desenvolvimento de Requisitos, um modelo simples e útil seria relacionar o desempenho nas atividades de desenvolvimento de requisitos com a estimativa preliminar do tamanho dos casos de uso. O modelo pode ser elaborado a partir de dados históricos pós-estabilização, que relacionem o tamanho apurado dos casos de uso já prontos, com o esforço de especificação. Faz-se um gráfico “Tamanho x Esforço” para cada categoria de casos de uso. Utiliza-se então uma ferramenta estatística para avaliar se existe correlação entre estes pontos, qual o grau desta correlação, e se a relação pode ser aproximada por algum tipo de função matemática [Pandian, 2004]. Na Tabela 6 e Figura 3 é apresentado um possível modelo simplificado que relaciona o esforço com o tamanho dos casos de uso, que estão agrupados por categoria.

**Tabela 6. Dados históricos para elaboração do modelo**

Esforço	42,3	38,1	49,7	41,0	53,8	44,6	49,7	57,4	43,0	49,4	45,0	44,6	46,0	44,0	51,1	44,7	53,4	43,0	56,7	47,4
UUCP	17	16	18	16	21	18	18	20	16	20	16	18	19	16	19	18	20	16	21	17

**Figura 3. Análise de correlação entre tamanho e esforço**

$$\text{Esforço} = 0,40 + (2,603 \times \text{Tamanho}) \pm \text{variação}$$

A partir do modelo obtido pode-se estimar, para um dado tamanho de caso de uso, de mesma complexidade, qual seria o esforço médio esperado para a sua especificação. Deve-se considerar que esta estimativa não deve ser usada como um valor absoluto, levando em consideração a variação da *baseline* para o atributo. Sempre que novos dados forem coletados sobre o desempenho dos processos, os modelos podem ser atualizados. No caso de mudanças muito significativas ocorrerem em um processo, o modelo deve ser descartado, e um novo modelo produzido após a re-estabilização do processo.

### 3.3 Fase Controlar

Após a estabilização do desempenho dos processos, pode-se utilizar os resultados históricos do seu desempenho (*baseline*), e os modelos, para a gerência quantitativa. Até esta fase não é possível caracterizar uma gerência quantitativa efetiva, e sim um esforço para conhecer e estabilizar os processos. As atividades desta fase devem ser executadas para alguns projetos-piloto, como forma de uma adaptação gradual a um novo estilo de gerência dos projetos. Após a execução inicial e ajustes, as atividades desta fase são executadas continuamente, mantendo os repositórios, *baselines* e modelos atualizados. As atividades da Fase Controlar são:

#### 3.3.1 Definir objetivos quantitativos de desempenho para o projeto

Os objetivos quantitativos do projeto devem estar relacionados aos atributos dos processos que têm seu desempenho histórico conhecido, com *baselines* e modelos estabelecidos. Os objetivos quantitativos do projeto também devem estar alinhados com os objetivos organizacionais, necessidades do cliente e características do projeto.

Para os atributos relacionados com o desenvolvimento de requisitos, poderíamos ter como exemplo as metas estabelecidas na Tabela 7, apresentada a seguir.

**Tabela 7. Objetivos quantitativos para o projeto**

Metas de desempenho para o projeto XYZ				
#	Processo	Atributo	Contexto	Objetivo quantitativo p/ o atributo
1	Requisitos	Produtividade	Para especificar Casos de Uso	Manter entre 2 e 3,5 Homem-hora por UUCP
2	Requisitos	Retrabalho	Após a verificação e validação dos Casos de Uso	Manter abaixo de 8% do esforço total em Desenvolvimento de Requisitos.
3	Requisitos	Defeitos	Encontrados nas especificações de Casos de Uso	Manter abaixo de 0,125 defeitos/UUCP

A *baseline* e os modelos devem ser utilizados na definição das metas de desempenho, pois permitem avaliar se as mesmas estão dentro de limites factíveis.

### 3.3.2 Estimar desempenho usando os modelos

A essência do controle estatístico é a previsibilidade [Pandian 2004]. Um processo estável permite que o seu desempenho futuro seja previsto usando como base o passado. Este desempenho passado está representado na *baseline* e nos modelos de desempenho do processo. Portanto, durante o planejamento de novos projetos podem ser feitas estimativas a partir dos modelos elaborados.

Para o processo de Desenvolvimento de Requisitos podem ser feitas estimativas do esforço necessárias para a especificação dos casos de uso. Para estimar este esforço é necessária uma estimativa preliminar do tamanho dos Casos de Uso [Karner 1993]. Após esta estimativa preliminar, o modelo (da Figura 3) é utilizado para se estimar o esforço para cada caso de uso individual, com os resultados apresentados na Tabela 8, semelhante ao proposto por Anda et al. (2001).

**Tabela 8. Estimativas de esforço usando o modelo**

Estimativas de esforço para especificar os Casos de uso			
CdU	Tamanho estimado (UCPs)	Modelo de estimativa	Esforço estimado (horas)
1	16	$0,4 + (2,603 \times 16)$	42,04
2	18	$0,4 + (2,603 \times 18)$	47,25
3	21	$0,4 + (2,603 \times 21)$	55,06

Os valores obtidos do esforço para a especificação de cada caso de uso são utilizados no planejamento do projeto.

### 3.3.3 Monitorar estabilidade e desempenho

Quando os projetos que serão gerenciados quantitativamente iniciam, e as medidas especificadas são coletadas, é feito o acompanhamento do desempenho dos atributos de interesse. Esta monitoração deve ser permanente, permitindo perceber tendências de desvios em relação às metas, antes que estes desvios tornem-se críticos. A estabilidade e desempenho dos atributos são monitorados com o uso do gráfico de controle. Durante a monitoração da estabilidade, os limites de controle a serem considerados são os da *baseline* estabelecida para o atributo.

Para o processo de Desenvolvimento de Requisitos podem ser monitorados, durante a execução do projeto, atributos relativos à produtividade e defeitos. Para cada novo caso de uso cuja especificação é concluída, é apurado seu tamanho efetivo em UCPs e o esforço para a especificação. A medida derivada, que é a produtividade para

cada caso de uso, é colocada no gráfico de controle. O mesmo pode ser feito em relação aos defeitos encontrados após a verificação. No caso do atributo de desempenho manter a estabilidade (testes apresentados na Seção 3.2.2), conclui-se que o mesmo não será causador de desvios no projeto, pois o desempenho do atributo está na faixa esperada.

### 3.3.4 Analisar a capacidade do processo no projeto

Mesmo que um atributo tenha seu desempenho conhecido e estável, este pode estar com valores aquém do desejado ou com uma variabilidade mais ampla. Neste caso, dizemos que o processo é estável, mas não é capaz de atender às especificações definidas. Portanto o processo capaz é aquele cujo desempenho médio e variabilidade atendem ao especificado.

É importante ressaltar que os limites de especificação não são necessariamente os da *baseline*, podem ser diferentes, atendendo a necessidades específicas de um projeto ou cliente. Os limites de especificação também não devem assumir o lugar dos limites de controle nos gráficos, pois não representam o desempenho histórico do processo, mas o desejo de algum interessado.

A análise da capacidade pode ser considerada de diferentes formas, dependendo da relação entre os limites especificados para o atributo do processo e o estabelecido na *baseline*. Os seguintes casos podem ocorrer: Cenário 1 – Os limites especificados são mais amplos que os limites da *baseline*; Cenário 2 – Os limites especificados são próximos aos da *baseline*; Cenário 3 – Os limites são mais estreitos que os da *baseline*.

Para os casos que se enquadrarem no Cenário 1 não é necessária nenhuma análise da capacidade criteriosa, pois as chances do processo atender as especificações são grandes, já que aceita-se uma variabilidade maior que a natural do processo.

Para os casos do Cenário 2, pode-se elaborar um histograma com todos os valores de desempenho obtidos para o atributo do processo durante a execução do projeto, marcando neste histograma os limites superiores e inferiores especificados. Se o histograma estiver dentro dos limites de especificação, o desempenho do processo está dentro do desejado, e podemos afirmar que este processo é capaz de atender às especificações estabelecidas para o projeto. No caso de parte do histograma ficar fora dos limites especificados, deve-se executar ações que minimizem seus efeitos, pois comprometem a capacidade do processo, ou seja, as metas especificadas.

Para os casos que se enquadrarem no Cenário 3, pode-se calcular, antes da execução do processo no projeto, a capacidade natural do processo em atender ao especificado. No caso desta capacidade ficar distante da desejada, deve-se reavaliar os limites especificados, ou considerar a possibilidade de alterações mais significativas no processo, usando os modelos de desempenho como referência para as análises. Este cálculo deve ser periodicamente refeito à medida que novos dados de desempenho são coletados, permitindo analisar continuamente a capacidade do processo, antevendo possíveis problemas.

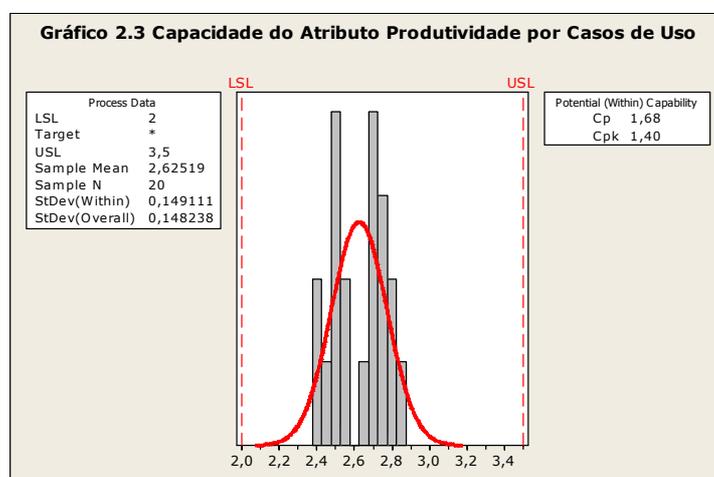
Uma das formas de calcular a capacidade é utilizando o índice de capacidade do processo  $C_p$  [Wheeler and Chambers, 1992]. Este índice é uma razão entre os limites especificados e os limites naturais de operação do processo. Quando os limites de especificação têm uma amplitude maior que os naturais do processo,  $C_p$  fica maior que 1, e o processo é dito capaz. Quando a amplitude de especificação é menor (mais

fechada) que a natural do processo,  $C_p$  fica menor que 1, indicando que o processo não é capaz, tendo uma boa chance do seu desempenho ficar fora da faixa desejada.

Calcula-se o índice de capacidade usando a fórmula a seguir:

USL ( <i>Upper Specification Limit</i> ): Limite Superior Especificado	[é o desejado]
LSL ( <i>Lower Specification Limit</i> ): Limite Inferior Especificado	[é o desejado]
$\sigma = \text{MédiaAmplitudeMóvel} / d2 = \text{Média da amplitude móvel} / 1,128$	[da baseline]
$C_p$ : Índice da capacidade do processo	
<b><math>C_p = (USL - LSL) / 6 \sigma</math></b>	

A seguir é apresentado um exemplo de histograma, e cálculo da capacidade, para a produtividade na especificação de casos de uso, levando em consideração a meta #1 da tabela 7, podendo-se perceber visualmente que o processo é capaz para este atributo, tendo índice de capacidade de 1,68.



**Figura 4. Capacidade do atributo produtividade por casos de uso**

Quando modificações significativas são feitas no processo, este deve passar por novas análises de estabilidade, estabelecendo uma nova *baseline*. Algumas abordagens de qualidade, como Six Sigma, têm como meta atingir um valor de  $C_p \geq 2$  para os atributos críticos [Pandian 2004], gerando assim confiança de que o desempenho especificado será atendido.

### 3.3.5 Incorporar resultados do processo no projeto ao repositório

À medida que os projetos são executados, os resultados de desempenho dos atributos de interesse devem ser armazenados no repositório de medições da organização. Periodicamente deve-se realizar uma análise comparativa do desempenho histórico mais recente, com os valores da *baseline*. No caso em que diferenças sejam identificadas, pode ser um indicativo da necessidade de atualização da *baseline* do respectivo atributo.

#### 4. Aderência da abordagem ao Nível B do MPS.BR

A abordagem apresentada tem relação com processos de níveis avançados do MPS.BR (2006), principalmente os relacionados ao Nível B. A seguir é apresentada a Tabela 9 que mostra a aderência da abordagem apresentada aos resultados dos processos de Desempenho do Processo Organizacional (DEP) e Gerência Quantitativa do Projeto (GQP):

**Tabela 9. Aderência da abordagem ao nível B do MPS.BR**

	<b>Resultado Esperado do Processo</b>	<b>Passo na abordagem</b>
DEP1	A partir do conjunto de processos-padrão da organização, são selecionados os processos e/ou elementos de processos que serão objeto de análise de desempenho.	Seção 2 e início da seção 3.
DEP2	Medidas para análise do desempenho dos processos da organização são estabelecidas e mantidas.	3.1.1 Definir objetivos e medidas para a gerência quantitativa e 3.1.3 Gerar indicadores estatísticos do desempenho.
DEP3	Objetivos quantitativos para qualidade e para o desempenho dos processos da organização são definidos e mantidos.	3.1.2 Definir objetivos e medidas para a gerência quantitativa.
DEP4	Linhas bases (baselines) de desempenho dos processos da organização são estabelecidas.	3.2.3 Estabelecer <i>baseline</i> de desempenho do processo
DEP5	Modelos de desempenho do processo para o conjunto de processos-padrão da organização são estabelecidos e mantidos.	3.2.4 Elaborar modelos do desempenho do processo.
GQP1	Os objetivos para qualidade e para o desempenho do processo para o projeto são estabelecidos e mantidos.	3.3.1 Definir objetivos quantitativos de desempenho para o projeto
GQP2	Os sub-processos mais adequados para compor o processo definido para o projeto são selecionados com base na estabilidade histórica, em dados de capacidade e em critérios previamente estabelecidos.	Não é tratado em seção específica, fica distribuído em várias atividades.
GQP3	Sub-processos do processo definido para o projeto e que serão gerenciados estatisticamente são escolhidos a partir de critérios previamente estabelecidos.	Não é tratado em seção específica, fica distribuído em várias atividades.
GQP4	O projeto é monitorado para determinar se seus objetivos para qualidade e para o desempenho do processo serão atingidos e ações corretivas são identificadas quando necessário.	3.3.3 Monitorar estabilidade e desempenho.
GQP5	Medidas e técnicas de análise para gerenciar estatisticamente os sub-processos escolhidos são selecionadas.	3.3.1 Definir objetivos quantitativos de desempenho para o projeto. 3.1.2 Definir objetivos e medidas para a gerência quantitativa.
GQP6	O entendimento da variação dos sub-processos escolhidos para gerência quantitativa, utilizando as medidas e técnicas de análise selecionadas, é estabelecido e mantido.	3.3.3 Monitorar estabilidade e desempenho.
GQP7	O desempenho dos sub-processos escolhidos para gerência quantitativa é monitorado para determinar a sua capacidade de satisfazer os seus objetivos para qualidade e para o desempenho e ações são identificadas	3.3.4 Analisar a capacidade do processo no projeto.
GQP8	Dados estatísticos e de gerência da qualidade são incorporados ao repositório de medidas da organização.	3.3.5 Incorporar resultados do processo no projeto ao repositório.

## 5. Trabalhos correlatos

Wang et al. (2006) apresentam uma abordagem para se estabelecer a *baseline* de desempenho dos processos. Existem semelhanças com as orientações deste artigo, tais como a elaboração da *baseline* e sua atualização. As diferenças mais marcantes estão na definição precoce dos objetivos quantitativos, na busca das causas de problemas, e na análise da capacidade. Em Wang et al. (2006) sugere-se a definição de objetivos quantitativos antes da estabilização, o que leva a qualificar como ruim um desempenho que ainda não é bem conhecido, misturando ações que visam a melhoria do desempenho com a busca da estabilidade. Tanto Florac (1999) quanto Wheeler (1992) alertam para este problema. Outro aspecto é a análise da capacidade, que incorre em alguns aspectos problemáticos apontados por Wheeler (2000). Um aspecto positivo da abordagem proposta por Wang et al. (2006) é ter sido utilizada em várias empresas.

Florence (2005) propõe algumas orientações relacionadas à gerência quantitativa do processo de requisitos, focando em aspectos relativos aos defeitos encontrados na verificação das especificações de requisitos. Seu foco principal não está na análise quantitativa dos dados obtidos, mas na explicação detalhada dos critérios de verificação e na definição dos indicadores.

Konrad (2007) fez uma apresentação no SEPG 2007 visando auxiliar implementadores e avaliadores envolvidos com os níveis 4 e 5 do CMMI em várias questões apresentadas neste artigo. A motivação é a grande diversidade de interpretações que vêm sendo dadas às práticas dos níveis avançados. A apresentação é oficial do SEI (Software Engineering Institute) e serve de base para um curso do SEI sobre o tema.

## 6. Conclusão

A gerência quantitativa permite uma gestão objetiva dos projetos com base em indicadores estatísticos. Entretanto, esta gerência só é possível após a estabilização dos processos, que passam a ter um desempenho previsível e uma variabilidade dentro de limites conhecidos. Estabilizar processos requer tempo, inicialmente para tratar as causas especiais de variabilidade, e posteriormente monitorando o desempenho dos processos em vários projetos. As técnicas de controle estatístico são derivadas das áreas industriais convencionais, onde atingir a estabilidade em uma linha de produção repetitiva é algo esperado, pois as causas especiais de variabilidade estão normalmente associadas aos insumos de produção e aos equipamentos de produção.

Porém, projetos de software são bem diferentes de produtos industriais, primeiramente pela sua identidade única, tendo cada projeto características específicas, e por ser altamente dependente do fator humano, estando os processos sujeitos a uma variabilidade por causas de difícil identificação. Devido a estas características é importante que a implantação da gerência quantitativa seja planejada gradualmente, onde marcos intermediários são atingidos até que o processo fique estável e a gerência quantitativa possa ser aplicada. Espera-se que as orientações deste artigo possam dar subsídios ao planejamento da implantação da gerência quantitativa, indicando uma possível seqüência de atividades a serem executadas, e alguns cuidados e orientações a serem considerados pelas organizações interessadas em obter este controle estatístico sobre seus processos de software.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, a UCB e FUNADESP, e a FAPEAM, pelo apoio financeiro para este trabalho. Um agradecimento especial à empresa BL Informática e sua gerente Analia Ferreira, por fornecerem as bases para algumas medidas apresentadas no trabalho.

## Referências

- Anda, B.; Dreiem, H.; Sjøberg, D. I. K.; Jørgensen, M. (2001) “Estimating Software Development Effort Based on Use Cases – Experiences from Industry”. 4<sup>th</sup> International Conference on the Unified Modeling Language, Concepts and Tools. Toronto, Canada, October 1-5, 2001, LNCS 2185, Springer-Verlag.
- Campos, F. B.; Albuquerque, A. B.; Andrade, J. M.; Silva Filho, R. C.; Rocha, A. R. (2006) “Abordagem em Níveis para a Avaliação e Melhoria de Processos de Software”, V Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, Vila Velha, Espírito Santo.
- Chrissis, M. B.; Konrad, M.; Shrum, S. (2006) “CMMI (Second Edition): Guidelines for Process Integration and Product Improvement”. SEI Series in Software Engineering. Addison Wesley Professional.
- Florac, W. A. and Carleton, A. D. (1999) “Measuring the Software Process”, Addison-Wesley Professional, 1<sup>st</sup> edition.
- Florence, A. (2005) “Statistical process control applied to software requirements specification process”. Software Engineering Institute -SEPG 2005, Seattle.
- Fuggetta, A. (2000) “Software Process: a Roadmap”, in: The Future of Software Engineering”, IEEE Computer Society, pp. 25-34.
- ISO/IEC 12207: Systems and Software Engineering – Software Life Cycle Processes (2006).
- Karner G. (1993) “Use Case Points: resource estimation for objectory projects”, Objective Systems SF AB (copyright owned by Rational/IBM).
- Kulpa, M. K. and Johnson, K. A. (2004) “Interpreting the CMMI – A process improvement approach”, CRC Press LLC.
- Kan, S. H. (2003) “Metrics and models in software quality engineering”. second edition, Pearson education Inc.
- Konrad, M. (2007) “High Maturity! How do we know ?” SEPG 2007 at <<http://www.sei.cmu.edu/appraisal-program/appraiser-communications/>>, april.
- MPS.BR (2006). Melhoria de Processo do Software Brasileiro Guia Geral (Versão 1.1), Disponível em: <<http://www.softex.br/mpsbr/>>, Maio.
- Pandian, C. R. (2004) “Software Metrics: A Guide to Planning, Analysis, and Application”, Auerbach Publications, 1<sup>st</sup> edition.
- Park, R.; Goethert, W.; Florac, W. (1996) “Goal-Driven Software Measurement – A Guidebook”. (CMU/SEI-96-HB-002, ADA313946). Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, August 1996.
- SWEBOK (2004) “Guide to the software engineering body of knowledge” 2004 version. Disponível em: <<http://www.swebok.org/>>.
- Wang, Q.; Jiang, N.; Gou, L.; Liu, X.; Li, M.; Yongji Wang, Y. (2006) “BSR: a statistic-based approach for establishing and refining software process performance baseline”; Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering, ACM Press.
- Wheeler, D. J. and Chambers, D. S. (1992) “Understanding Statistical Process Control”, SPC Press Inc., 2<sup>nd</sup> edition.
- Wheeler, D. J. (2000) “Beyond Capability Confusion”, SPC Press, Inc. (January 2000).