

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Renata Miranda Gomes**

## **Detecção de Viés na Previsão de Demanda**

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Eugenio Kahn Epprecht

Rio de Janeiro  
Setembro de 2011



**Renata Miranda Gomes**

## **Detecção de Viés na Previsão de Demanda**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Eugenio Kahn Epprecht**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Antonio Fernando de Castro Vieira**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Reinaldo Castro Souza**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de setembro de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

## Renata Miranda Gomes

Graduou-se em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ. Durante a graduação, foi monitora de laboratório de Física Introdutória e Cálculo 3, estagiou no CEMP (Centro de Empreendedorismo da PUC-RJ), atuando na área de processos e também estagiou na Accenture, onde após formada, foi efetivada, atuando na área de *Resources* (processos) e depois migrando para a área de *Talent&Organization Performance* (gerenciamento da performance da organização e de talentos). Em abril de 2009, saiu da Accenture e em agosto do mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio para obtenção do título de Mestre.

### Ficha Catalográfica

Gomes, Renata Miranda

Detecção de Viés na Previsão de Demanda / Renata Miranda Gomes; orientador: Eugenio Kahn Epprecht. – 2011.

66 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Previsão de Demanda. 3. Erro de Previsão. 4. Viés da Previsão. 5. Gráficos de Controle Estatístico de Processos. I. Epprecht, Eugenio Kahn. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

"Os seres humanos são como anjos de uma só asa, só conseguem voar quando estão abraçados."

Neo Buscarle

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, por me ajudar a buscar força, determinação, equilíbrio e persistência para a realização deste projeto de vida. Aos meus pais e irmãos pelo apoio, carinho e paciência em todos os momentos. Aos meus amigos, que acompanharam este meu desafio e compreenderam a minha ausência em diversos encontros.

Ao meu Orientador e amigo, Eugenio Kahn Epprecht, que me acompanha desde a graduação, pelo seu vasto conhecimento, paciência, conselhos, carinho e orientação na minha dissertação. Ao professor Antônio Fernando Castro Vieira que ajudou na escolha do tema.

Aos outros professores que me transmitiram seus conhecimentos nas matérias do mestrado, com particular atenção à: Fernanda Maria Pereira Raupp e Paulo Roberto Tavares Dalcol. Aos amigos e colegas de turma, que compartilharam comigo momentos de estudo e de descontração, em especial: Andréa Cassinelli, Beatriz Pancieri, Marcel Zylberberg e Miguel Perez.

À CAPES, pelo suporte financeiro concedido durante todo o curso.

Aos funcionários do DEI da PUC-Rio, pela dedicação, atenção e suporte proporcionados, em especial, à Cláudia e Eduardo Salvino.

Tudo o que vivi nestes dois anos foi de grande importância para mim e nunca esquecerei. Obrigada a todos que contribuíram para que mais uma etapa da minha vida fosse cumprida.

## Resumo

Gomes, Renata Miranda; Epprecht, Eugenio Kahn (Orientador). **Detecção de Viés na Previsão de Demanda**. Rio de Janeiro, 2011. 66p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Essa dissertação teve como objetivo propor dois novos métodos para detecção de viés na previsão de demanda. Os métodos consistem numa adaptação de duas técnicas de controle estatístico de processos, o gráfico de controle de EWMA e o algoritmo CUSUM, ao contexto de detecção de viés na previsão de demanda. O desempenho dos métodos foi analisado por simulação, para diversos casos de mudança na inclinação (tendência) da série de dados (mudança de modelo constante para modelo com tendência; alteração na tendência de série crescente; estabilização de série crescente em um patamar constante), e com diferentes parâmetros para os métodos. O estudo limitou-se a séries sem sazonalidade e aos métodos de previsão de amortecimento exponencial simples e de *Holt*. Os resultados mostraram a grande superioridade do gráfico de EWMA proposto e apontam questões para pesquisas futuras.

## Palavras-chave

Previsão de Demanda; Erro de Previsão; Viés da Previsão; Método de Amortecimento Exponencial Simples; Método de *Holt*; Modelo Constante; Modelo Crescente; Gráfico de EWMA; Gráfico de CUSUM; Algoritmo CUSUM; Razão de Viés.

## Abstract

Gomes, Renata Miranda; Epprecht, Eugenio Kahn (Advisor). **Bias Detection in Demand Forecasting**. Rio de Janeiro, 2011. 66p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The purpose of this dissertation is to propose two new methods for detection of biases in demand forecasting. These methods are adaptations of two statistical process control techniques, the EWMA control chart and the CUSUM control chart (or CUSUM algorithm), to the context of the detection of biases in demand forecasting. The performance of the proposed methods was analyzed by simulation, for several magnitudes of changes in the trend of the series (change from a level series to a series with a trend, changes in the trend parameter, and stabilization of a series with a trend in a constant average level) and with different parameters for all methods. The study was limited to non-seasonal models and to the methods of simple exponential smoothing and Holt's Exponential Smoothing. The results have shown the superiority of the EWMA method proposed and indicate issues for future research.

## Keywords

Demand forecasting; Forecast error; Forecast bias; Simple Exponential Smoothing; Holt's Exponential Smoothing; Level model; Trend model; EWMA Control Chart; CUSUM Control Chart; CUSUM algorithm; Tracking Signal.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. Modelos Estruturais de Séries temporais e Métodos de Previsão Correspondentes .....	15
2.1.1. Modelo Constante.....	15
2.1.2. Método de Média Móvel .....	16
2.1.3. Método de Amortecimento Exponencial Simples .....	18
2.1.4. Modelo Linear .....	19
2.1.5. Método de Amortecimento Exponencial Duplo ou de Holt.....	19
2.2. Erro de Previsão da Demanda .....	21
2.2.1. Medidas de Dispersão do Erro de Previsão de Demanda .....	22
2.2.2. Viés da Previsão de Demanda .....	24
2.3. Gráficos de Controle para Análise do Erro de Previsão de Demanda.....	25
2.3.1. Gráfico de CUSUM.....	26
2.3.2. Gráfico de EWMA .....	27
3. MÉTODOS PROPOSTOS PARA DETECÇÃO DE VIÉS.....	29
3.1. Gráfico de CUSUM.....	29
3.2. Gráfico de EWMA.....	30
4. ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	32
4.1. Medidas de Desempenho.....	32
4.2. Metodologia de Obtenção das Medidas de Desempenho.....	36
4.3. Resultados e Análise.....	38
5. CONCLUSÕES E INDICAÇÕES PARA PESQUISA FUTURA.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
APÊNDICE 1 – Fórmulas de Regressão Linear para Dados Históricos.....	53
APÊNDICE 2 – Programa em C utilizado para obtenção dos valores de NMA nos métodos analisados.....	56

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Notação das variáveis para as fórmulas apresentadas no texto desta dissertação.....	11
<b>Tabela 2.</b> Simulação da Previsão da Demanda com Média Móvel de 10 semanas.....	17
<b>Tabela 3:</b> Resultados para Modelo Constante.....	40
<b>Tabela 4:</b> Resultados para Modelo Crescente.....	44

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Gráfico $NMA_1$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,1$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=50$ .....	41
<b>Figura 2:</b> Gráfico $NMA_1$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,1$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=100$ .....	41
<b>Figura 3:</b> Gráfico $NMA_1$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,3$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=50$ .....	42
<b>Figura 4:</b> Gráfico $NMA_1$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,3$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=100$ .....	42
<b>Figura 5:</b> Gráfico $NMA$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,1$ ; $\beta=0,03$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=50$ .....	46
<b>Figura 6:</b> Gráfico $NMA$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,1$ ; $\beta=0,03$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=100$ .....	46
<b>Figura 7:</b> Gráfico $NMA$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,3$ ; $\beta=0,1$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=50$ .....	47
<b>Figura 8:</b> Gráfico $NMA$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,3$ ; $\beta=0,1$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=100$ .....	47
<b>Figura 9:</b> Gráfico $NMA$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,3$ ; $\beta=0,03$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=50$ .....	48
<b>Figura 10:</b> Gráfico $NMA$ versus $\Delta b$ para $\alpha=0,3$ ; $\beta=0,03$ ; $\omega=0,04$ e $NMA_0=100$ .....	48

## Simbologia

**Tabela 1:** Notação das variáveis para as fórmulas apresentadas no texto desta dissertação.

Variável	Descrição	Variável	Descrição
<b>t</b>	Instante de tempo ou período de uma observação da série	<b>EQM</b>	Erro quadrático médio
<b>n</b>	Número de observações da série histórica	<b> A </b>	Desvio absoluto
<b><math>\mu</math></b>	Média (valor esperado) da variável considerada	<b>DAM</b>	Desvio absoluto médio
<b><math>\sigma</math></b>	Desvio-padrão da variável considerada	<b>B</b>	Somatório dos erros até o instante t
<b><math>\sigma^2</math></b>	Variância da variável considerada	<b>SC</b>	Soma cumulativa do erro de previsão para o método gráfico
<b><math>\hat{\phantom{x}}</math></b>	Um 'chapéu' sobre um parâmetro significa estimador do parâmetro, e um 'chapéu' sobre uma variável significa valor previsto da variável	<b>TS</b>	Razão de viés
<b><math>\bar{\phantom{x}}</math></b>	Uma 'barra horizontal' sobre uma variável significa média aritmética da variável, por exemplo: $\bar{X}$ é a média aritmética de X	<b><math>Z_t</math></b>	Valor padronizado da variável demanda no instante t
<b><math>(\phantom{x})_0</math></b>	O índice zero subscrito à uma variável significa valor inicial da variável, por exemplo: $EQM_0$ é o erro quadrático médio inicial (em $t=0$ )	<b><math>S_t^+</math></b>	Valor, no instante t, da estatística CUSUM para detectar aumentos na média da variável considerada
<b>X</b>	Demanda	<b><math>S_t^-</math></b>	Valor, no instante t, da estatística CUSUM para detectar reduções na média da variável considerada
<b>a</b>	Nível da demanda	<b>d</b>	Valor de referência para o gráfico de CUSUM
<b>b</b>	Tendência (taxa de aumento ou declínio da demanda por unidade de tempo)	<b><math>\delta</math></b>	Módulo da magnitude do deslocamento da média que é relevante detectar, em unidades de desvio-padrão
<b>e</b>	Flutuação aleatória, 'ruído'	<b><math>K_C</math></b>	Limite de controle ou intervalo de decisão do gráfico de CUSUM
<b><math>\alpha</math></b>	Constante de amortecimento para a estimativa do nível	<b><math>Y_t</math></b>	Valor, no instante t, da estatística EWMA
<b><math>\beta</math></b>	Constante de amortecimento para a estimativa da tendência	<b><math>\lambda</math></b>	Constante de amortecimento para o gráfico de controle EWMA
<b><math>\omega</math></b>	Constante de amortecimento para a estimativa do EQM	<b><math>K_E</math></b>	Fator de abertura dos limites de controle do gráfico de EWMA
<b><math>\varepsilon</math></b>	Erro de previsão da demanda	<b><math>\varepsilon_p</math></b>	Erro de previsão da demanda padronizado