



ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL ATRAVÉS DE CARTAS DE CONTROLE

Maria Emilia Camargo (Universidade de Caxias do Sul)

kamargo@terra.com.br

**Walter Priesnitz Filho (Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Farroupilha)**

prof.walter@gmail.com

Suzana Leitão Russo (Universidade Federal de Sergipe)

suzana.ufs@hotmail.com

**Angela Isabel dos Santos Dullius (Universidade Federal de Santa
Maria)**

angeladullius@gmail.com

José Mauricio Carré Maciel (Universidade de Caxias do Sul)

jose.mauricio@gmail.com

As técnicas estatísticas do controle do processo (SPC) são intensamente usadas na indústria para a monitoração de processos e melhoria de qualidade. As cartas tradicionais de controle (SPC) são baseadas na suposição fundamental que as observações são estatisticamente independentes e distribuídas normalmente quando o processo está sob controle. Na prática, entretanto, as observações nem sempre são independentes e cartas tradicionais do SPC não podem ser apropriadas para monitorar, controlar e melhorar a qualidade dos processos. Neste trabalho, apresentamos a análise de um processo com dados autocorrelacionados referentes a resistência à tração e o alongamento do fio de polipropileno da Indústria Têxtil Oeste Ltda, de Mondaí, Santa Catarina. Os dados foram coletados no período de 1º de março a 30 de junho de 2009. O procedimento consiste em primeiramente modelar os dados do processo através de um modelo de função de transferência e depois construir cartas de controle para os resíduos. Concluindo, pode-se afirmar que as cartas de controle construídas através dos resíduos que foram obtidos pela função de transferência são eficientes para detectar

Palavras-chaves: Monitoração; Função de Transferência; Cartas de Controle.

1. INTRODUÇÃO

Com as mudanças que estão ocorrendo no mundo empresarial, as empresas cada vez mais para se manterem lucrativas e competitivas precisam adquirir competências. Segundo (Noble, 1997; Rolstadås, 1998) para que isto aconteça as empresas devem manter procedimentos de alta qualidade de produtos e tempos de produção baixos de seus processos produtivos, bem como orientação aos seus clientes.

As cartas de controle são ferramentas que podem ser utilizadas para a monitoração e ajuste destes processos. Nas cartas tradicionais de controle de Shewhart (1931) as observações são tratadas como independentes e identicamente distribuídas, enquanto que em várias situações reais as observações referentes a processos de manufatura ou de serviços são autocorrelacionados (Montgomery, 1996). Os efeitos da autocorrelação podem ser na subestimação da variância do processo, provocando um aumento de alarmes falsos, como na subestimação da capacidade do processo, deixando de atender ao cliente, o qual deve ser o foco da preocupação das empresas.

Este trabalho teve como objetivo construir uma carta de controle alternativa, baseado na função de transferência de Box & Jenkins (1976) para a resistência à tração e o alongamento do fio de polipropileno da empresa Oeste Ltda, de Mondaí, Santa Catarina, para o período de 1º de março a 30 de junho de 2009.

O artigo encontra-se estruturado em seis seções. Na segunda seção encontra-se a fundamentação teórica. A metodologia está apresentada na terceira seção. A análise dos resultados e a conclusão encontram-se na quarta seção, e finalmente, a última seção, traz as referências bibliográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Modelos de Função de Transferência

Seja uma série temporal bivariada, denotada por (X_t, Y_t) com $t \in Z = (0, \pm 1, \pm 2, \dots)$, para um processo discreto. Se as variáveis estiverem relacionadas de maneira que X_t seja a variável de entrada e Y_t a variável de saída tem-se um processo conhecido como sistema dinâmico. Considerando que relação seja linear, pode-se expressá-la da seguinte forma:

$$Y_t = \sum_{j=0}^{\infty} v_j X_{t-j}, t \in Z \quad (1)$$

onde: $Y_t = (v_0 + v_1 B + v_2 B^2 + \dots) X_t$ ou

$$Y_t = v(B) X_t \quad (2)$$

A equação (2) denomina-se filtro linear ou modelo de função de transferência linear. O polinômio de grau infinito em B , $v(B)$ é conhecido como função de transparência de filtro. Os pesos v_0, v_1, v_2, \dots são as respostas impulsivas ou função de resposta de impulso do sistema. Diz-se que o sistema é estável quando a série $v(B)$ converge para $|B| \leq 1$. A condição de estabilidade implica que mudanças finitas na série de entrada resultam em mudanças finitas na série de saída (Box & Jenkins, 1976; Box et al., 1994).

Às vezes, o efeito de uma mudança na série de entrada não se manifesta imediatamente sobre a série de saída, mas após “ b ” instantes de tempo:

$$Y_t = v(B) X_{t-b} \quad (3)$$

onde:

$$X_{t-b} = B_b X_t$$

e o parâmetro inteiro “ b ” é denominado defasagem.

O modelo pode conter ainda, um ruído independente de X_t :

$$Y_t = v(B)X_{t-b} + \eta_t \quad (4)$$

O ruído η_t , em geral, não é ruído branco, e pode ser representado por um modelo Autoregressivo - Média Móveis (ARMA). O modelo (4) que relaciona Y_t e X_t , conforme Box & Jenkins (1976), contém um número infinito de pesos (v_0, v_1, \dots), portanto não é parcimonioso. Assim, se $v(B)$ for uma função racional, pode-se escrevê-la:

$$v(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} \quad (5)$$

onde:

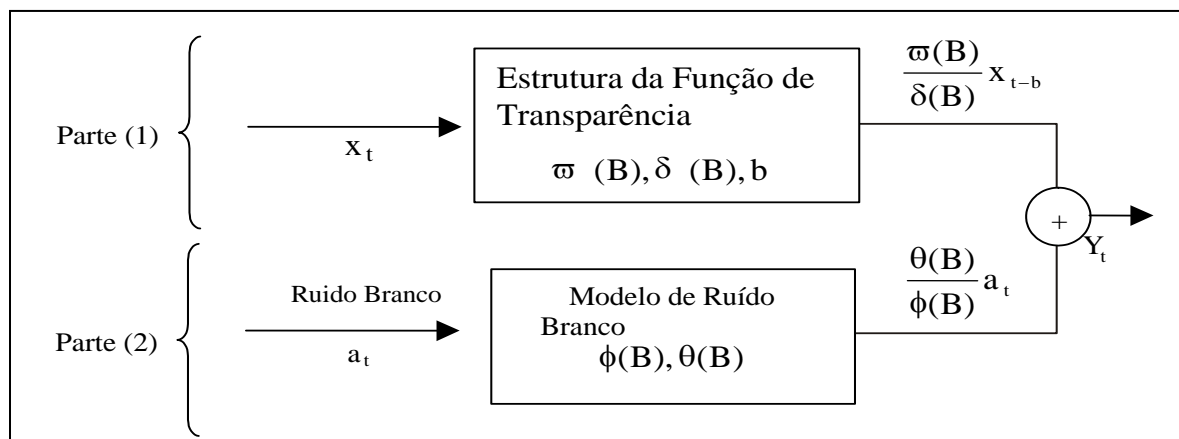
$$\omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \dots - \omega_s B^s \quad \text{e} \quad \delta(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r$$

são polinômios de graus “s” e “r”, respectivamente e que o erro η_t possa ser modelado por um modelo ARMA(p,q). Assim, a equação (5) pode ser representada por :

$$\delta(B)Y_t = \varpi(B)X_{t-b} + \frac{\phi(B)}{\theta(B)}a_t \quad (6)$$

sendo a_t um ruído branco. A Figura 1 apresenta o modelo de função de transferência com uma entrada e uma saída.

Figura 1 – Modelo de Função de Transferência



Na parte (1) da Figura 1, tem-se a estrutura da função de transferência que mostra a influência da característica de qualidade de entrada sobre a característica de qualidade de saída. Na parte (2), o modelo de ruído representado por um processo Autoregressivo-Médias Móveis (ARMA(p,q)). Finalmente, as duas partes é que formam o modelo completo de função de transferência (Camargo, 1992).

2.1.1 Função de Correlação Cruzada

A ferramenta utilizada na análise de dados para a identificação do modelo de função de transferência, ou seja, a direção de causalidade. É a função de correlação cruzada entre a entrada e a saída, a qual mede a dependência normalizada entre as séries X_t e Y_t , denotada por $\rho_{xy}(k)$, segundo Box & Jenkins (1976):

$$\rho_{xy}(k) = \frac{\text{Cov}[X_t, Y_{t+k}]}{[\sigma_x^2 \sigma_y^2]^{1/2}} = \frac{\gamma_{xy}(k)}{[\gamma_{xx}(0)\gamma_{yy}(0)]^{1/2}} \quad (7)$$

com $k \in \mathbb{Z}$, sendo σ_x e σ_y os desvios padrões das séries X_t e Y_t , respectivamente.

Um teste para verificar a significância individual das correlações cruzadas pode ser feito através da comparação de $\rho_{\alpha\eta}(k)$ com dois erros padrões, sendo que $\rho_{\alpha\eta}(k) \sim N(0,1/n)$.

2.1.2 Ciclo Iterativo da Função de Transferência

Os modelos de função de transferência contém parâmetros cujos valores devem se estimados a partir dos dados observados. Na prática, busca-se modelos parcimoniosos, ou modelos que representem adequadamente o processo, mas que tenham o menor número possível de parâmetros. O processo de seleção de um modelo adequado é necessariamente iterativo, ou seja, é um processo de evolução e adaptação ou de tentativas de erro. Para a

construção do modelo usa-se a seqüência do método de Box & Jenkins (1976), com as seguintes etapas:

i) Identificação

Na identificação usa-se os dados e qualquer outra informação com o objetivo de remover as relações dentro de cada série, através da operação denominada pré-branqueamento.

ii) Estimação

A estimação é o uso eficiente dos dados para inferências sobre os parâmetros, estas estão condicionadas à adequação do modelo tentativo, é realizada através do método da máxima verossimilhança.

iii) Validação do modelo

Validação é a verificação do modelo ajustado com relação aos dados, sendo que o objetivo é revelar inadequações do modelo e assim poder melhorá-lo. Tendo sido identificado o modelo, pode-se analisar os resíduos através dos coeficientes de autocorrelação.

2.2 Carta de Controle baseado na Função de Transferência

As cartas de controle estatístico de processos, estão cada vez mais sendo utilizados desde a sua introdução por Shewhart (1931). Na análise de um processo produtivo há sempre o interesse de se detectar, o mais rapidamente possível, a ocorrência de causas assinaláveis, cuja conseqüência é a fabricação de itens fora das especificações e por conseguinte um aumento nos custos envolvidos. Para se aplicar a função de transferência com o objetivo de

controle é necessário que a variável de entrada e a de saída apresentem causalidade unidirecional.

3. METODOLOGIA

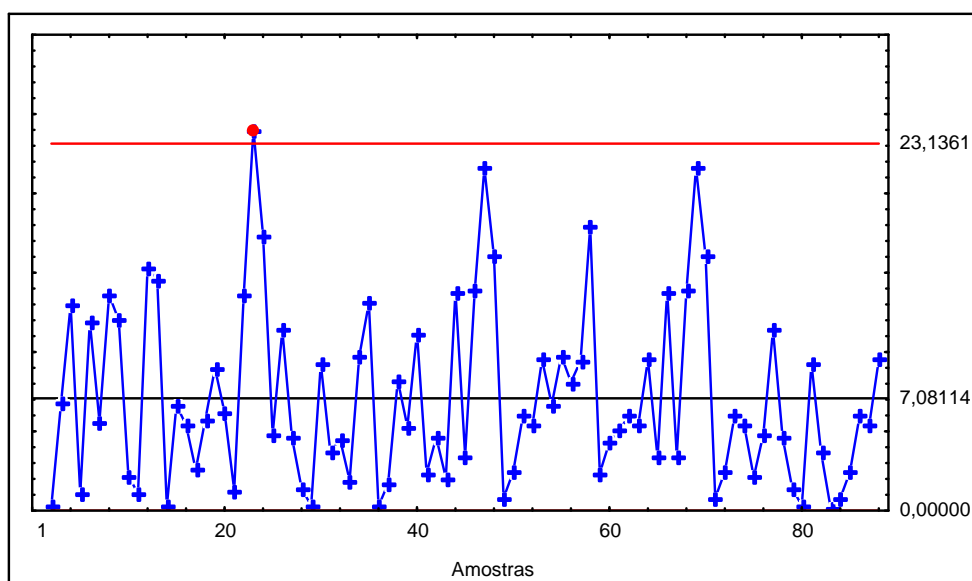
O método de pesquisa científica do ponto de vista da natureza e da forma de abordagem do problema proposto para este projeto pesquisa enquadra-se, de acordo com Silva & Menezes (2001), na categoria de Pesquisa Aplicada Quantitativa. A Pesquisa Aplicada Quantitativa tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos com o uso de recursos e técnicas estatísticas, que no caso foi de desenvolver modelos de função de transferência em conjunto com as cartas de controle para monitorar processos produtivos cujas observações das características de qualidade em estudo sejam autocorrelacionados e apresentem causalidade unidirecional.

As características analisadas foram a resistência à tração e o alongamento do fio de polipropileno da Industria Têxtil Oeste Ltda, de Mondaí, Santa Catarina, para o período de 1º de março a 30 de junho de 2009.

4. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Inicialmente foi realizado o teste da correlação cruzada, com o objetivo de verificar a existência de causalidade entre as características em estudo. O teste de causalidade confirmou a existência da relação unidirecional significativa ao nível de 5%. Após o ajuste de vários modelos tentativas, o modelo que melhor se ajustou aos dados originais, com um R^2 de 87%, foi o seguinte:

$$Z_t = 4,284 + 0,438 Z_{t-1} + 0,126 X_{t-2} + \varepsilon_t \quad (8)$$

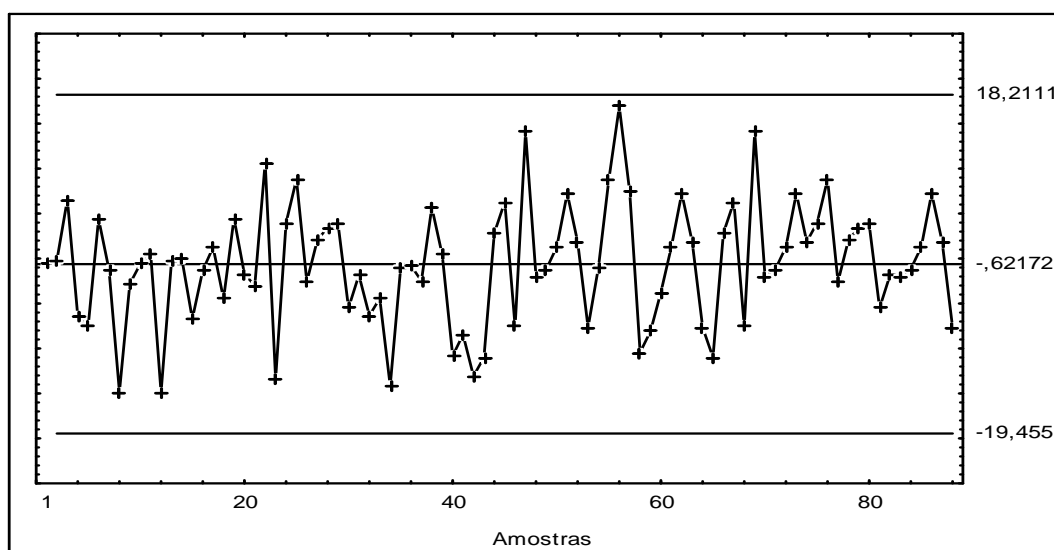


Com o modelo ajustado encontrou-se a série de resíduos. Para esta série foram construídas as cartas de controle para a média (Figura 2) e para amplitude (Figura 3).

Figura 2 – Carta de controle para a média do processo

Figura 3 – Carta de controle para a variabilidade do processo

Em relação a média pode-se afirmar que o processo está sob controle, isto pode ser observado na Figura 2. Pela Figura 3, pode-se constatar que existe um valor fora acima do limite superior de controle, indicando que o processo está fora de controle na variabilidade.



Na Tabela 1 apresenta-se o comportamento do número médio de amostras necessário para que seja detectada uma mudança após a mesma ter ocorrido no processo, ou seja, quantas amostras são necessárias até que o gráfico de controle sinalize que o processo realmente está fora de controle após um desvio médio do nominal (ARL) obtidos pela carta de controle tradicional de Shewhart e pela carta dos resíduos obtidas através da função de transferência, bem como a eficiência relativa.

Tabela 1. Valores de ARL(1) para a carta de Shewhart, ARL(2) para a carta dos resíduos da função de transferência e a eficiência relativa

δ	ARL(1)	ARL(2)	$\frac{ARL(1)}{ARL(2)}$
0,00	370,00	370,00	1,00
0,25	232,80	34,68	3,83
0,50	32,76	11,40	2,87
1,00	24,8	8,80	2,82
1,50	5,60	2,30	2,43
2,00	2,36	1,02	2,31
3,00	0,89	0,48	1,85
4,00	0,46	0,28	1,64

Assim, pode-se concluir que as cartas de controle construídas através dos resíduos obtidos pela função de transferência mostraram-se sensíveis às mudanças no processo representativo da produção do fio de polipropileno, utilizando-se para análise as variáveis: a resistência à tração e o alongamento do fio de polipropileno da Industria Têxtil Oeste Ltda, de Mondaí, Santa Catarina., para o período de 1º de março a 30 de junho de 2009, como pode-se comprovar através das Figuras 2 e 3 e do comportamento dos ARLs na Tabela 1.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOX, G. E. P. & JENKINS, G. M. (1976): "TIME SERIES ANALYSIS: FORECASTING AND CONTROL". San Francisco: Holden-day.

BOX E.P., JENKINS, G.M. & REINSEL, G.C. (1994): "TIME SERIES ANALYSIS: FORECASTING AND CONTROL". Prentice All, Englewood Cliffs, New Jersey. 1994.

CAMARGO, M. E. (1992): “MODELAGEM CLÁSSICA E BAYESIANA: UMA EVIDÊNCIA EMPÍRICA DO PROCESSO INFLACIONÁRIO BRASILEIRO”. Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis, SC.

MONTGOMERY, D.C. (1996): “INTRODUCTION TO STATISTICAL QUALITY CONTROL”. 3ª Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York.

NOBLE, J. S. (1997): “AN INTEGRATED DYNAMIC PERFORMANCE MEASUREMENT SYSTEM FOR IMPROVING MANUFACTURING COMPETITIVENESS”. International Journal of Production Economics - Vol. 48 -pgs. 207, 225.

OLIVEIRA, O., ET AL. (2004): “GESTÃO DA QUALIDADE: TÓPICOS AVANÇADOS”. Pioneira Thomson Learning. São Paulo.

ROLSTADÃS, A. (1998): ENTERPRISE PERFORMANCE MEASUREMENT. INTERNATIONAL”. Journal of Operations & Production Management – Vol.18 - pgs. 989,999.

SHEWHART, W. A. (1931): “ECONOMIC CONTROL OF QUALITY OF MANUFACTURED PRODUCT”. New York, D. Van Nostrand.

SILVA, E. L. & MENEZES, E. M. (2001): METODOLOGIA DA PESQUISA E ELABORAÇÃO DE DISSERTAÇÃO. 3ª edição revisada. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. Disponível em www.ead.ufms.br/marcelo/orienta/Metodologia. Acesso em: 10 outubro de 2003.

WEST, D.; DELLANA, S. & JARRETT, J. (2002): “TRANSFER FUNCTION MODELING OF PROCESSES WITH DYNAMIC INPUTS”. Journal of Quality Technology - Vol. 34 - pgs. 120, 131.