

# QUALIDADE DE UM SISTEMA CONTÍNUO DE PRODUÇÃO: APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA

**Anselmo Chaves Neto**

PPGMNE/DEST- UFPR

C.P. 19081 - Centro Politécnico – CEP 81.531-990 – Curitiba (PR)

[anselmo@est.ufpr.br](mailto:anselmo@est.ufpr.br)

**Emílio Rudolfo Fey Neto**

Centro Universitário Campos de Andrade – UNIANDRADE

[feyneto@uol.com.br](mailto:feyneto@uol.com.br)

**Isabella Andreczewski Chaves**

EESC/ USP

[isabellachaves@yahoo.com.br](mailto:isabellachaves@yahoo.com.br)

**Resumo:** *O objetivo deste trabalho é comparar as fases existentes no processo de produção de uma indústria e identificar a mais associada com a qualidade do produto final, utilizando a técnica da Análise de Correlação Canônica. Os dados para aplicação da técnica foram obtidos de um experimento controlado conduzido em uma indústria típica. Os resultados da análise são apresentados.*

**Palavras-chave:** *Análise de Correlação Canônica, Métodos Multivariados, Sistema Contínuo de Produção.*

## 1. INTRODUÇÃO

Muitas empresas que possuem linha de produção com pelo menos duas etapas de processamento até o produto final, têm dificuldade em saber qual das etapas tem maior influência no resultado final e, conseqüentemente, controlar melhor a qualidade dos seus produtos. No caso estudado, tem-se uma indústria de fabricação de papel de imprensa e existem duas etapas fundamentais na elaboração do produto. Na primeira fase, a matéria prima é recebida, picada, e transformada em cavaco. Já na segunda, o cavaco produzido anteriormente é transformado em pasta e por sucessivas operações consegue-se o papel onde é feita a impressão. O problema principal abordado neste trabalho é identificar qual das duas etapas (processamento do cavaco e processamento da pasta) tem maior influência na qualidade do papel. Este foi o objetivo principal deste trabalho. Os dados observados das variáveis envolvidas em cada fase do processo foram obtidos através de um experimento controlado. Construiu-se também uma ferramenta computacional de metodologia estatística univariada e multivariada, para que a empresa possa analisar os dados periodicamente coletados do seu processo de produção e, assim, alcançar uma melhoria na qualidade final do seu produto e, em conseqüência, uma redução nos custos de fabricação. A ferramenta computacional foi desenvolvida em ambiente visual em (C++ Builder) e é absolutamente genérica. Compõe-se de três partes que são:

- **Cadastro:** permite que seja feito o registro das variáveis de cada fase existente no processo de produção. Assim, identifica-se cada amostra coletada, registra-se os dados e forma-se o banco de dados. Análises estatísticas posteriores são conduzidas seguindo os passos do Controle Estatístico de Processo clássico e Análise de Correlação Canônica.

- **Análise Estatística:** permite calcular as principais estatísticas amostrais utilizadas de controle estatístico de processo, construir cartas de controle, calcular a capacidade do processo para cada variável e estimar a matriz de correlação entre as variáveis apontadas pelo usuário e, finalmente, permite acompanhar o processo produtivo pelos gráficos de controle da média, da amplitude e do desvio padrão. Disponibiliza, ainda, os gráficos: p, C, histograma e diagrama de Pareto.
- **Análise de Correlação Canônica:** permite ao usuário estimar o grau de associação entre o grupo de variáveis que representam os fatores de qualidade do produto e o grupo de variáveis que representam as características da primeira fase (processamento do cavaco) ou da segunda fase (as características do processamento da pasta). De forma que a qualquer instante a administração verifica como está o relacionamento entre as variáveis da qualidade do produto e as variáveis do processamento do cavaco ou do processamento da pasta.

## 2. O EXPERIMENTO REALIZADO

Ao coletar as informações para alimentar a base de dados seguiu-se um planejamento para controlar-se os fatores de confundimento e minimizar a variância das variáveis. Assim o experimento foi conduzido da seguinte forma:

1. Fixou-se as fases do processo de fabricação do papel nas quais se tem interesse e identificou-se as variáveis correspondentes a cada fase;
2. Escolheu-se os locais para coletar o material amostral;
3. Fixou-se os horários para a coleta do material de forma rigorosa;
4. Registrou-se adequadamente em um banco de dados os valores experimentais;
5. Definiu-se os responsáveis pela coleta do material amostral que em seguida foram treinados;
6. Identificou-se o material recolhido em manteve-se a padronização na coleta das amostras (nos procedimentos, no pessoal e no material).

FASES DO PROCESSO			
PROCESSAMENTO DO CAVACO	PROCESSAMENTO DA PASTA		QUALIDADE DO PRODUTO
	REFINADOR IV	REFINADOR V	
DENSIDADE BÁSICA	Gap-Te	Gap-Te	Alvura
UMIDADE	Gap-De	Gap-De	Tração
RESINA	Pressão Te	Pressão Te	Rasgo
ESPESSURA DA FIBRA 4MM, 6MM, 8MM e 18 MM	Pressão De	Pressão De	Densidade
Comprimento do Cavaco: Finos, Palitos, > 45, < 45	Diluição	Diluição	CSF
Largura da fibra	Pressão de Operação	Pressão de Operação	
Diâmetro do Lúmen	Potência	Potência	
Comprimento da Fibra	CEE	CEE	
Espessura da Fibra	Durabilidade de Discos Externos	Durabilidade de Discos Externos	
	Durabilidade de Discos Internos Estator	Durabilidade de Discos Internos Estator	

	Durabilidade de Discos Rotor	Durabilidade de Discos Rotor	
--	------------------------------	------------------------------	--

### 3. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA

A Análise de Correlação Canônica busca identificar e quantificar a associação entre dois conjuntos de variáveis. Este grau de associação é medido pela correlação entre uma combinação linear das variáveis de uma das fases de interesse e uma combinação linear das variáveis da outra fase. A idéia é, primeiro, determinar o par de combinações lineares com maior correlação e em seguida outros pares com correlações mais baixas, sucessivamente, de forma que se tem uma medida de força de associação entre os dois conjuntos de variáveis. As variáveis representadas pelos pares de combinações lineares são denominadas variáveis canônicas. Adiante, tem-se o par de combinações lineares formado por U e V,

$$U = \underline{c}'_1 \underline{X} \quad \text{e} \quad V = \underline{c}'_2 \underline{Y}$$

e, a correlação entre as variáveis U e V é chamada de correlação canônica [5],  $\text{corr}(U,V) = \rho^*$ . As variáveis canônicas são determinadas pelo resultado seguinte [3]:

“Sejam os vetores  $\underline{X}$  e  $\underline{Y}$  de dimensão p e q, respectivamente, com matrizes de covariâncias  $\Sigma_{11}$  e  $\Sigma_{22}$ , matriz de covariância cruzada  $\Sigma_{12}$  e, ainda, as combinações lineares  $U = \underline{c}'_1 \underline{X}$  e  $V = \underline{c}'_2 \underline{Y}$ . Então a máxima  $\text{corr}(U,V)$  é alcançada em  $\text{corr}(U,V) = \rho^*_1$  com  $\underline{c}_1 = \underline{e}_1 \Sigma_{11}^{-1/2}$  e  $\underline{c}_2 = \underline{f}_1 \Sigma_{22}^{-1/2}$  onde  $\underline{e}_1$  é o autovalor correspondente ao maior autovalor  $\rho_1^{*2}$  de  $\Sigma_{11}^{-1/2} \Sigma_{12} \Sigma_{22}^{-1} \Sigma_{21} \Sigma_{11}^{-1/2}$  que tem p autovalores  $\rho_1^{*2} \geq \rho_2^{*2} \dots \geq \rho_p^{*2}$  e p autovalores  $\underline{e}_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, p$  e  $\underline{f}_1$  é o autovetor correspondente ao maior autovalor de  $\Sigma_{22}^{-1/2} \Sigma_{21} \Sigma_{11}^{-1} \Sigma_{12} \Sigma_{22}^{-1/2}$  que tem q autovetores  $\underline{f}_i$   $i = 1, 2, 3, \dots, q$  correspondentes aos autovalores  $\rho_1^{*2} \geq \rho_2^{*2} \dots \geq \rho_q^{*2}$ ”.

As variáveis canônicas são artificiais e não têm significado físico, contudo elas podem ter uma interpretação subjetiva. A interpretação é feita em função dos coeficientes de correlação entre as variáveis originais dos conjuntos e variáveis canônicas, ou seja,  $\rho_{u,\underline{x}}^{(1)} = A \Sigma_{11} V_{11}^{-1/2}$ ,  $\rho_{u,\underline{x}}^{(2)} = B \Sigma_{22} V_{22}^{-1/2}$ ,  $\rho_{u,\underline{x}}^{(2)} = A \Sigma_{12} V_{22}^{-1/2}$  e  $\rho_{u,\underline{x}}^{(1)} = A \Sigma_{21} V_{11}^{-1/2}$ , onde A e B são as matrizes contendo os coeficientes canônicos.

### 4. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Comparando os resultados obtidos da Análise de Correlação Canônica entre as variáveis da fase de processamento do cavaco e as da qualidade do produto e também das variáveis da fase processamento da pasta e as da qualidade do produto obtidos dos dados coletados no período estudado, obteve-se os seguintes resultados:

- A Correlação Canônica entre as variáveis do processamento do cavaco e as variáveis da qualidade do produto resultou em 0,734665. Na interpretação dos coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as variáveis canônicas observou-se que a espessura da fibra de 4mm tem uma forte correlação inversa (-0,700028) com as variáveis do conjunto qualidade; já a espessura da fibra de 8mm tem uma correlação de moderada (0,683221) para forte com as variáveis do conjunto qualidade, já as variáveis comprimento da fibra, finos e teor de resina têm correlações moderadas com aquele conjunto de variáveis. Assim, estas variáveis devem ter controle privilegiado em relação às demais para se assegurar uma qualidade ótima.

- A Correlação Canônica entre as variáveis do processamento da pasta e as variáveis da qualidade do produto resultou em 0,906803, sendo que na interpretação dos coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as variáveis canônicas observou-se que a variável pressão de operação 04 tem uma forte correlação inversa (-0,92235) com as variáveis do conjunto Qualidade e a variável pressão de operação 05 também tem forte correlação inversa (-0,78405). As variáveis que apresentam correlação de moderada para forte são: pressão TE-04 (-0,7175), pressão DE-04 (-0,72644), durabilidade Disco Int. (0,715892), Gap TE-04 (0,659469), GapDE-04 (0,60477) e CEE-5 (-0,60769). Estas variáveis merecem um controle rigoroso e de um modo geral todas as variáveis da fase processamento da pasta devem ser controladas, pois são as que mostram maior relacionamento com as da qualidade, como mostraram os números da análise.
- A Correlação Canônica entre a alvura e o processo é forte (0,848009) e moderada (0,560688) com o cavaco. A tração é moderada e inversa tanto com o processo como com o cavaco (-0,68456 e -0,63456).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Chaves Neto, Anselmo, 1998, Técnicas Estatísticas Aplicadas a Engenharia da Qualidade, Notas de Aula. UFPR, Curitiba.
- Johnson, Richard A.; Wichern, Dean W., 1988, Applied Multivariate Statistical Analysis, Second edition, New Jersey, Prentice Hall International.
- Shewhart, W.A., 1980, Economic Control of Quality of Manufactured Product, Chelsea, Book Crafters.

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

### QUALITY IN CONTINUO SYSTEM OF PRODUCTION: CANONICAL CORRELATION ANALYSIS APPLICATION

**Anselmo Chaves Neto**

PPGMNE/DEST- UFPR

C.P. 19081 - Centro Politécnico – CEP 81.531-990 – Curitiba (PR)

[anselmo@est.ufpr.br](mailto:anselmo@est.ufpr.br)

**Emílio Rudolfo Fey Neto**

Centro Universitário Campos de Andrade – UNIANDRADE

[feyneto@uol.com.br](mailto:feyneto@uol.com.br)

**Isabella Andreczewski Chaves**

EESC/ USP

[isabellachaves@yahoo.com.br](mailto:isabellachaves@yahoo.com.br)

***Abstract.** The present work has the objective of compare the existent stages into the production process of an industry and denote which stages has more influence with the quality. It was applies the statistical technique of Canonical Correlation Analysis. The application of this multivariate technique was done into collected data through a controlled experiment that indicated a stronger canonical correlation between the product final quality and intermediate stage of the production process. The results are presented.*

***Key words:** Canonical Correlation Analysis, Multivariate Methods, Continuo System of Production*