

EMÍLIO RUDOLFO FEY NETO



**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO
CANÔNICA APLICADA EM SISTEMA
DE PRODUÇÃO CONTÍNUO**

Dissertação apresentada à Pontifícia
Universidade Católica do Paraná para a
obtenção do título de Mestre em
Informática Aplicada.

Linha de Pesquisa: Otimização de
Sistemas Produtivos.

Orientador: Dr. Anselmo Chaves Neto
Co Orientador: Dr. Raimundo José
Borges de Sampaio

Fey Neto, Emílio R.

Análise de Correlação Canônica Aplicada em Sistema de Produção Contínuo
Curitiba, 1999.

150 páginas

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Departamento de Informática.

1. Análise de Correlação Canônica 2. Controle Estatístico do Processo.



ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA APLICADA DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ.

Exame de dissertação nº 016

Aos 10 dias do mês de dezembro de 1999, realizou-se a sessão pública de defesa de dissertação "ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA APLICADA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO CONTÍNUO", apresentada por Emilio R. Fey Neto, ano de ingresso 1996, para obtenção do título de Mestre em Ciências. A Banca Examinadora foi composta pelos seguintes professores:

MEMBROS DA BANCA	ASSINATURA
Presidente: Prof. Dr. Raimundo Sampaio (PUCPR)	
Prof. Dr. Marco Cândido (PUCPR)	
Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto (UFPR)	
Prof. Dr. Reinaldo Castro Souza (PUCRIO)	

De acordo com as normas regimentais a Banca Examinadora deliberou sobre os conceitos a serem atribuídos e que foram os seguintes:

MEMBROS DA BANCA	CONCEITOS
Presidente: Prof. Dr. Raimundo Sampaio (PUCPR)	A
Prof. Dr. Marco Cândido (PUCPR)	A
Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto (UFPR)	A
Prof. Dr. Reinaldo Castro Souza (PUCRIO)	A
Conceito Final	
Aprovado	

Observações da Banca Examinadora

Profº Júlio Cesar Nievola

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada-PUC-PR

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me deram a oportunidade de trabalhar ao lado delas e que confiaram no meu potencial.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente aos meus pais pelo apoio irrestrito em todas as fases da minha vida.

Quero agradecer ao Professor Robert C Burnett pela oportunidade dada ao me aceitar no Programa de Pós Graduação em Informática Aplicada da PUC.

Quero agradecer a PUC – Pr pela chance ímpar de conhecer e passar momentos agradáveis nas aulas de professores como Flávio Bortolozzi, Alcides Calsavara, Edgard Jamhour, Celso Antônio Alves Kaestner, Herivelto Moreira, Roberto Betini, Marilda Aparecida Behrens, Jacques Facon, Julio Cesar Nievola, Raimundo Borges Sampaio e Anselmo Chaves Neto.

Dedico agradecimentos especiais ao Professor, Amigo, Conselheiro, Dr. Anselmo Chaves Neto que soube me orientar em todos os pontos do trabalho e aspectos da minha vida particular, sabendo me motivar nas horas críticas do trabalho quando em alguns momentos pensei em desistir.

Agradeço a PISA, Papel Imprensa S/A por sempre acreditar na proposta e disponibilizar a estrutura necessária, em especial ao Engº Romualdo Maestri, MSc. que acompanhou todos os passos do processo sempre ajudando e fornecendo material para a execução do trabalho.

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	II
SUMÁRIO.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	VI
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVO.....	1
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	4
2.1.1 <i>Processamento da Madeira</i>	4
2.1.2 <i>Área de Fabricação de Pastas</i>	8
2.1.3 <i>Processo TGW</i>	14
2.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA.....	16
2.2.1 <i>Introdução</i>	16
2.2.2 <i>Conceitos e objetivo da Análise de Correlação Canônica</i>	17
2.2.3 <i>Variáveis Canônicas e Correlações Canônicas</i>	18
2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	22
2.3.1 <i>Introdução</i>	22
2.3.2 <i>Fundamentação Estatística do Controle de Qualidade</i>	26
CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	76
3.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO.....	76
3.2 METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISES DO CAVACO TMP.....	81
3.2.1 <i>Coleta</i>	81

3.2.2	<i>Amostra Básica (porção a ser analisada)</i>	81
3.2.3	<i>Análises</i>	81
3.3	INSTRUÇÕES PARA TESTES EM LABORATÓRIOS (PASTA)	86
3.3.1	<i>Consistência</i>	86
3.3.2	<i>Remoção de latência em laboratório</i>	86
3.3.3	<i>Preparo de folhas de papel em laboratório</i>	87
3.3.4	<i>Canadian Standard Freeness (CSF)</i>	87
3.3.5	<i>Rasgo</i>	88
3.3.6	<i>Tração</i>	88
3.3.7	<i>Espessura</i>	88
3.3.8	<i>Gramatura</i>	88
3.3.9	<i>Demais variáveis do processo Indústria</i>	88
3.4	SISTEMA PROPOSTO	89
3.4.1	<i>Introdução</i>	89
3.4.2	<i>Cadastros</i>	91
3.4.3	<i>Estatística</i>	92
3.4.4	<i>Análise de Correlação Canônica</i>	105
	CAPÍTULO 4 -RESULTADOS E CONCLUSÃO	120
	ANEXO A – MANUAL DO SISTEMA	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

Lista de Figuras

FIGURA 1 - TAMBOR DESCASCADOR	5
FIGURA 2 - DISCO DO PICADOR (PICADOR ABERTO)	6
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO PÁTIO DE MADEIRA	7
FIGURA 4 - FORMAÇÃO DA CELULOSE	9
FIGURA 5 - CELULOSE (INTACTA E COM DESENVOLVIMENTO DE FIBRILOS)	9
FIGURA 6 - REFINADOR <i>TWIN 66</i> ABERTO	12
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA TMP	13
FIGURA 8 - ARRANJO ESQUEMÁTICO DO DESFIBRADOR	14
FIGURA 9 - EXEMPLO DE GRÁFICO \bar{X}	43
FIGURA 10 - QUADRO MOSTRANDO TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA	44
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA MOSTRANDO UM EXEMPLO DO COTIDIANO.	45
FIGURA 12 - EXEMPLO CLÁSSICO NA INDÚSTRIA.	46
FIGURA 13 - HISTOGRAMA DA VARIÁVEL ESPESSURA DA FIBRA (MADEIRA)	51
FIGURA 14 - EXEMPLO DE DIAGRAMA DE PARETO ANTES DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	52
FIGURA 15 - EXEMPLO DE DIAGRAMA DE PARETO APÓS ACOMPANHAMENTO ESTATÍSTICO DO PROCESSO	53
FIGURA 16 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.	55
FIGURA 17 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.	55
FIGURA 18 - GRÁFICO R (AMPLITUDE)- PARA VARIÁVEL TRAÇÃO.	64
FIGURA 19 - GRÁFICO \bar{X} (MÉDIA) PARA A VARIÁVEL TRAÇÃO.	65
FIGURA 20 - EXEMPLO DE GRÁFICO P	69
FIGURA 21 - EXEMPLO DE GRÁFICO C	71
FIGURA 22 - FLUXO DO PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DA PASTA TMP. (PONTOS DE COLETA DA AMOSTRA). OBSERVAR PONTOS 1, 2, 3	80
FIGURA 23 - EXEMPLO DE SAÍDA DA MÁQUINA	82
FIGURA 24 - MODELO DE ENTIDADE E RELACIONAMENTO PARA O EXPERIMENTO ESTATÍSTICO	90
FIGURA 25 HISTOGRAMA DA VARIÁVEL CSF, ELABORADO A PARTIR DOS DADOS DA TABELA 5	98
FIGURA 26 GRÁFICO DE CONTROLE BASEADO NOS DADOS DA TABELA 6	100
FIGURA 27 GRÁFICOS DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO BASEADOS NA TABELA 7	102

Lista de Tabelas

TABELA 1 - FONTE PISA :VARIÁVEL ESPESSURA DA FIBRA DA MADEIRA 23/07/1998 - 31/04/1999.....	50
TABELA 2 - DADOS DA VARIÁVEL TRAÇÃO AO GRUPO QUALIDADE.....	64
TABELA 3 - VALORES CALCULADOS PARA OS GRÁFICOS DE CONTROLES.....	64
TABELA 4 - [MONTGOMERY - 1990 PAG 372].....	74
TABELA 5- DADOS COLETADOS PELA PISA E QUE ESTÃO NA BASE DE DADOS DO SISTEMA UTILIZADOS AQUI PARA EXEMPLIFICAR ALGUNS PROCEDIMENTOS.....	93
TABELA 6-TABELA EXEMPLO DE DADOS COLETADOS NA PISA A PARTIR DE 23/07/98 15:00 ATÉ 04/08/1999 ÀS 09:00 DA VARIÁVEL CSF.....	99
TABELA 7 - EXEMPLO DE DADOS COLETADOS NA PISA A PARTIR DE 23/07/98 15:00 ATÉ 04/08/1999 ÀS 09:00 DA VARIÁVEL CSF	101
TABELA 8 – FATORES PARA CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE. FONTE: MONTGOMERY – 1990.	103

Resumo

A presente dissertação tem por objetivo comparar as fases existentes no processo de produção de uma indústria e indicar qual das fases tem mais influência com a etapa final, utilizando a técnica estatística de Análise de Correlação Canônica e o desenvolvimento de um software capaz de armazenar as informações das fases do processo e acompanhá-las através de Gráficos de Controle (\bar{X} e R), (\bar{X} e S), Histograma, Gráfico P, Gráfico C e Diagrama de Pareto.

O software foi construído para atender não só a situação presente nesta dissertação, mas também outras situações de processo produtivo envolvendo indústrias que tenham etapas de produção.

No caso estudado tem-se uma indústria de fabricação de papel – PISA (Papel Imprensa S/A), que possui as seguintes etapas Madeira – Pasta – Qualidade.

A aplicação da técnica estatística Análise de Correlação Canônica nos dados coletados através de um experimento controlado mostrou que a correlação canônica é mais forte entre as fases Pasta e Qualidade do que entre as fases Madeira e Qualidade.

Resumo

A presente dissertação tem por objetivo comparar as fases existentes no processo de produção de uma indústria e indicar qual das fases tem mais influência com a etapa final, utilizando a técnica estatística de Análise de Correlação Canônica e o desenvolvimento de um software capaz de armazenar as informações das fases do processo e acompanhá-las através de Gráficos de Controle (\bar{X} e R), (\bar{X} e S), Histograma, Gráfico P, Gráfico C e Diagrama de Pareto.

O software foi construído para atender não só a situação presente nesta dissertação, mas também outras situações de processo produtivo envolvendo indústrias que tenham etapas de produção.

No caso estudado tem-se uma indústria de fabricação de papel – PISA (Papel Imprensa S/A), que possui as seguintes etapas Madeira – Pasta – Qualidade.

A aplicação da técnica estatística Análise de Correlação Canônica nos dados coletados através de um experimento controlado mostrou que a correlação canônica é mais forte entre as fases Pasta e Qualidade do que entre as fases Madeira e Qualidade.

Abstract

The present dissertation has the objective of compare the existent phases of the production process of an industry and denote which phases have more influency with the final stage, using the statistical technique of Canonical Correlation Analysis and the development of a software capable of store the information of the process's phases and follow them through Control Graphics (\bar{X} e R), (\bar{X} e S), Histogram, P Graphic, C Graphic and Pareto's Diagram.

The software was built to attend not just the present situation in this dissertation, but even to other situations of the productive process involving industries that have production stages.

In the studied case we have a paper manufacture industry – PISA (Papel Imprensa S/A), which has the following phases: Wood, Folder, Quality.

The application of the statistical technique of Canonical Correlation Analysis to the collected data by a controled experiment showed that the canonical correlation is stronger between the Folder and Quality phases than the Wood and Quality phases

Abstract

The present dissertation has the objective of compare the existent phases of the production process of an industry and denote which phases have more influency with the final stage, using the statistical technique of Canonical Correlation Analysis and the development of a software capable of store the information of the process's phases and follow them through Control Graphics (\bar{X} e R), (\bar{X} e S), Histogram, P Graphic, C Graphic and Pareto's Diagram.

The software was built to attend not just the present situation in this dissertation, but even to other situations of the productive process involving industries that have production stages.

In the studied case we have a paper manufacture industry – PISA (Papel Imprensa S/A), which has the folowing phases: Wood, Folder, Quality.

The aplication of the statistical technique of Canonical Correlation Analysis to the collected data by a controled experiment showed that the canonical correlation is stronger between the Folder and Quality phases than the Wood and Quality phases

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Descrição do Problema

Muitas empresas que possuem uma linha de produção onde existem 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 deste estudo, tem-se uma indústria de fabricação de papel de imprensa (PISA) 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 impresso o jornal. O problema principal abordado neste trabalho é identificar qual das duas etapas tem maior influência na qualidade do papel. Tanto poderia ser a qualidade da madeira que depende do teor de resina, umidade, densidade básica, espessura do cavaco, comprimento do cavaco, comprimento da fibra, largura da fibra, espessura da fibra, diâmetro do lúmen, entre outras variáveis; como a elaboração da pasta que depende de vários fatores (variáveis), tais como: pressão dos discos, diluição de água, pressão de operação, potência de força, entre outros. Assim, pretendeu-se identificar a etapa mais fortemente relacionada com a qualidade do produto final, para a partir daí controlar-se adequadamente os fatores a ela associados.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo identificar a fase do processo produtivo mais associada com a qualidade do papel através da análise de dados obtidos

em um experimento controlado e fornecer uma ferramenta para que a empresa possa conhecer, aplicando métodos estatísticos, o seu processo de produção e alcançar uma melhoria na qualidade final do seu produto e em consequência uma redução nos custos de fabricação. A ferramenta desenvolvida está dividida em três partes, que são:

- Cadastro: permite que seja feito o registro das fases existentes na produção e das variáveis que representam as características pertencentes a cada fase. Assim, identifica-se cada amostra coletada, registra-se os dados de cada amostra formando o banco de dados para as análises estatísticas de controle.
- Análise Estatística: permite calcular as principais estatísticas amostrais utilizadas no controle tais como média, máximo, mínimo, amplitude, desvio-padrão, erro-padrão, variância para uma ou mais variáveis que podem ser selecionadas pelo usuário. E, também, permite estimar a correlação entre duas variáveis ou construir a matriz de correlação para várias variáveis apontadas pelo usuário e finalmente permite acompanhar o processo produtivo pelos gráficos de controle da média, da amplitude e desvio-padrão (\bar{X} , R e S), Gráfico P, Gráfico C, além do 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, com o grupo de variáveis que representam as características da matéria prima (Madeira) ou as características do processo (Pasta). De forma que a qualquer instante a administração verifica como está o relacionamento entre a qualidade e a madeira ou entre a qualidade e a pasta e, também entre madeira e pasta se houver interesse.

1.3 Organização do Trabalho

Esta dissertação está organizada em quatro partes. No segundo capítulo registra-se uma Revisão de Literatura que aborda o processo da fabricação do papel, a metodologia estatística multivariada da Análise de Correlação Canônica e as técnicas de Controle Estatístico do Processo. Já no terceiro capítulo tem-se a parte de Material e Métodos, onde se descreve os testes de laboratório e meios de classificação do cavaco, o local de coleta dos dados experimentais (laboratórios) e registro dos dados. Descreve-se ainda o sistema computacional que processa todas as informações coletadas. Finalmente, no quarto capítulo, apresenta-se os resultados e conclusões do experimento e propõe-se sugestões.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

2.1 PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DO PAPEL

2.1.1 Processamento da Madeira

O processo industrial de fabricação do papel tem início no pátio de depósito de madeira. As operações são iniciadas com a preparação da madeira para a etapa seguinte, a fabricação de pastas. A PISA fabrica pastas através de dois processos: o TMP (*Thermo Mechanical Pulp*) e o TGW (*Thermo Groundwood*), utilizando como matéria-prima cavacos de *pinus taeda* para o processo TMP e toretes da mesma espécie para o processo TGW. Neste trabalho aborda-se somente o processo TMP.

O processo inicia com o recebimento de toretes de 2,4 e 4,8 m. Os toretes de 4,8 m são então serrados ao meio. Os toretes de 2,4 m entram na linha de produção de duas maneiras: passando pelas serras, que transformam-nos em toretes de 1,2 m e ajustam o comprimento ou diretamente pela mesa que alimenta o tambor descascador. O descascador nada mais é que um tambor girando constantemente com a lateral posicionada horizontalmente, sendo que de um lado da base circunferencial ocorre a alimentação e na extremidade oposta a saída dos toretes descascados. No tambor, tanto os toretes de 1,2 m quanto os de 2,4 m são descascados. O tempo de retenção do material neste equipamento é de aproximadamente 15 minutos, podendo haver a necessidade de um aumento do tempo no inverno, já que as cascas encontram-se mais fortemente aderidas ao caule (clima seco). O descascamento ocorre devido ao abrasão entre os toretes e às suas constantes quedas no interior do equipamento. A parede interna do descascador possui dispositivos para garantir a funcionalidade deste equipamento (longarinas - barras longitudinais).

As cascas são queimadas na caldeira da fábrica. A *figura 1* mostra o tambor descascador.

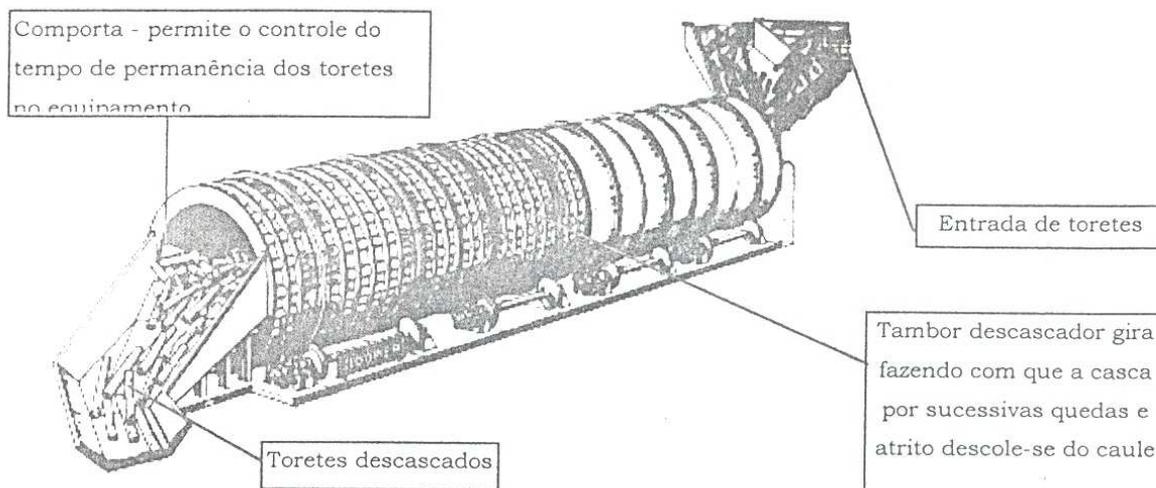


Figura 1 - Tambor descascador

Os toretes descascados de 1,2 m. podem então ser separados estando prontos para o processo TGW. Durante sua passagem, o operador visualiza tocos e toras fora de especificação e os retira da linha jogando-os na correia que conduz ao picador. Esta medida é importante pois toretes fora de especificação causam problemas durante a alimentação dos desfibradores (principal equipamento do processo TGW).

A PISA possui dois picadores de disco. O disco possui 2,4 m de diâmetro sendo os suportes das facas montados em aberturas radiais (ver *figura 2*). Os suportes são projetados com quebrador de cavacos. A granulometria do cavaco pode ser regulada aumentando ou diminuindo o ângulo de inclinação do suporte das facas em relação ao disco. A entrada dos toretes é inclinada em relação ao disco. Eles são então forçados contra o disco, em alta rotação, que os corta em pequenos pedaços.

O disco picador é semelhante a um fatiador de queijo, porém, como o número de facas do picador é maior, consegue-se um maior número de cortes a cada rotação completa do disco, produzindo-se cavacos. No picador, os toretes são alimentados com o comprimento paralelo ao diâmetro do disco.

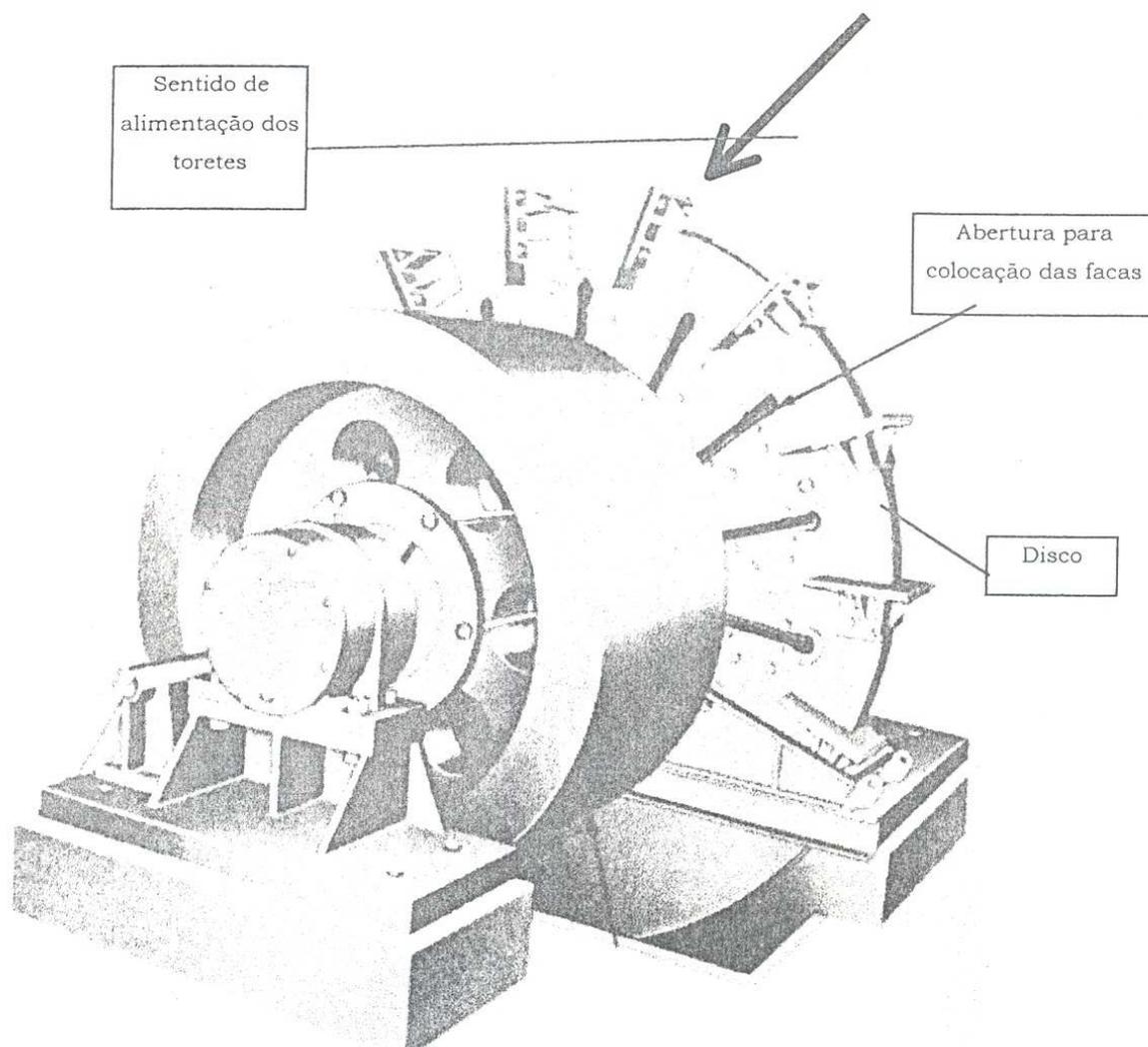


Figura 2 - Disco do picador (picador aberto)

Os cavacos são então conduzidos a silos. Cada silo alimenta uma peneira vibratória distinta, onde os cavacos são classificados. Três linhas saem das peneiras: uma delas com os finos gerados no picador; outra com cavacos grandes (dimensões acima das requeridas ou cavacos *oversize*) e outra de cavacos com dimensões ideais para o processo. Aqueles e esses são conduzidos a um monte que alimentará a caldeira, estes seguem para o monte para posterior alimentação nos refinadores (equipamento do processo TMP). O transporte é basicamente efetuado por correias e roscas transportadoras. A *figura 3* resume a descrição.

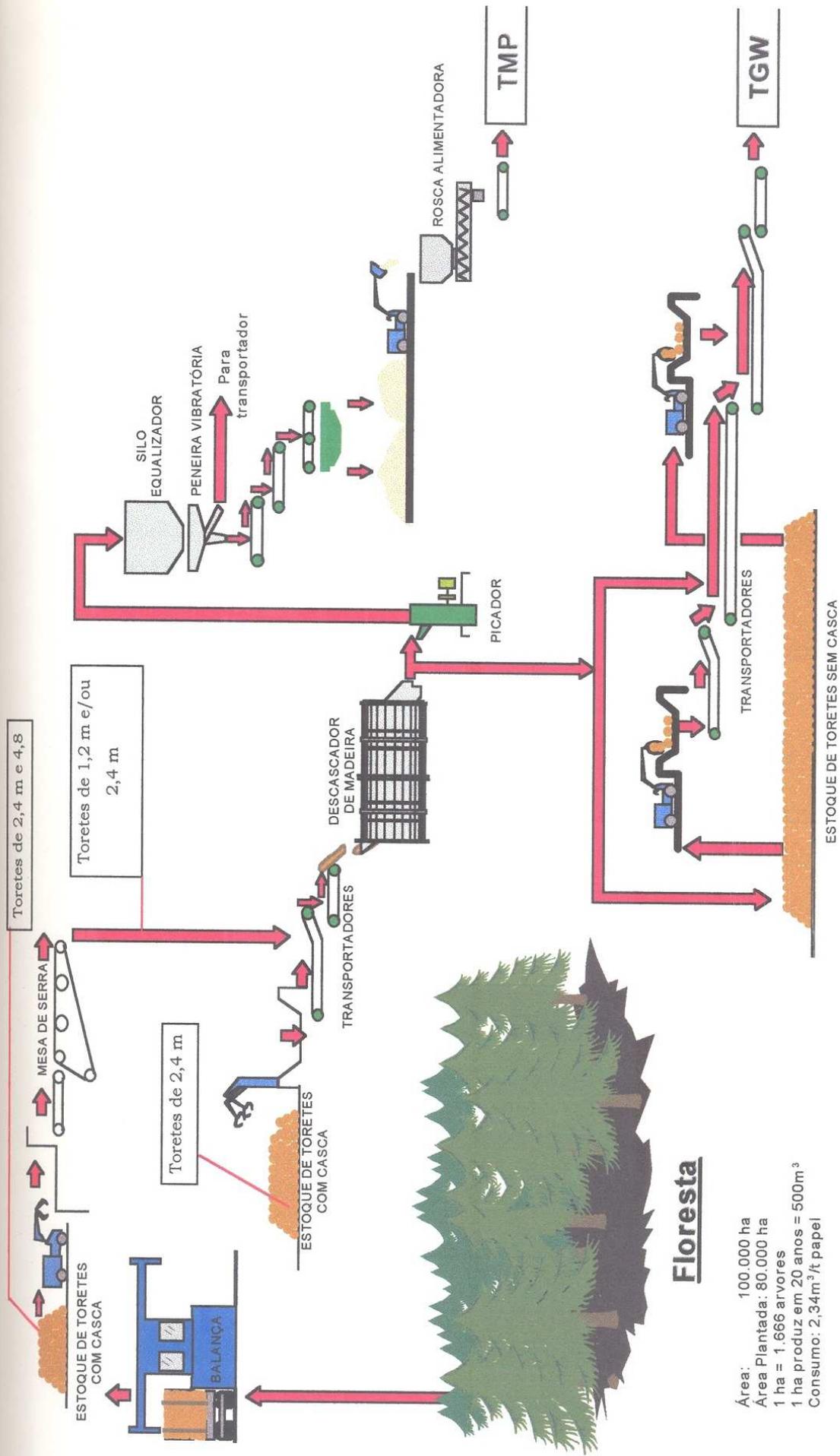


Figura 3 - Fluxograma do pátio de madeira

2.1.2 Área de Fabricação de Pastas

O material constituinte da madeira de principal interesse para a indústria papelreira é a celulose. A celulose é um polissacarídeo formado por unidades do monossacarídeo β -D-glucose, que ligam-se entre si dando origem a um polímero linear (ver Figura 4). A fibra de celulose consiste em uma mistura de moléculas de celulose de tamanhos diferentes. A lignina é um produto polimérico natural amorfo, que confere rigidez à parede da célula e na madeira age como um agente permanente de ligação entre as células, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra. Conclui-se que a madeira é formada por fibras em múltiplas camadas, ligadas entre si por forças interfibrilares e pela lignina, que age como ligante. Para a separação destas fibras, unidas por forças coesivas intermoleculares, é necessário despende uma certa quantidade de energia. A qualidade, as características e as utilizações da pasta produzida serão, teoricamente, funções da quantidade de energia aplicada. Deste modo pode-se definir o processo de polpação como sendo o processo de separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e, ou mecânica. O processo mecânico clássico é resultante da aplicação à madeira de intensas forças de cisalhamento, que rompem as ligações entre as fibras. Como resultado obtém-se um rendimento elevado, pois o material perdido é constituído de finos e de solúveis em água. A pasta resultante é composta de fibras intactas, feixes de fibras e fibras danificadas. Percebe-se que quanto menor o uso de energia mecânica menor o rendimento e mais intactas saem as fibras. As fibras obtidas por processos puramente químicos, precisam ainda passar por tratamento mecânico para que sejam desenvolvidos fibrilos em sua superfície. São os fibrilos que entrelaçam-se e unem-se por ligações hidrogénio para formar o papel (Figura 5).

A PISA fabrica pastas através de dois processos: TMP (*Thermo Mechanical Pulp*) e TGW (*Thermo Groundwood*), ambos processos mecânicos (a TMP na verdade é um processo termomecânico); e compra de terceiros a pasta química (denominada comercialmente *Kraft* ou Celulose) utilizada na composição do seu papel imprensa. Resumidamente, a área de fabricação de

pastas objetiva a obtenção de pastas de alto rendimento, mantendo as fibras com características desejáveis para uma boa formação do papel, tais como comprimento de fibras e fibrilação adequados, além de outros aspectos que serão discutidas adiante.

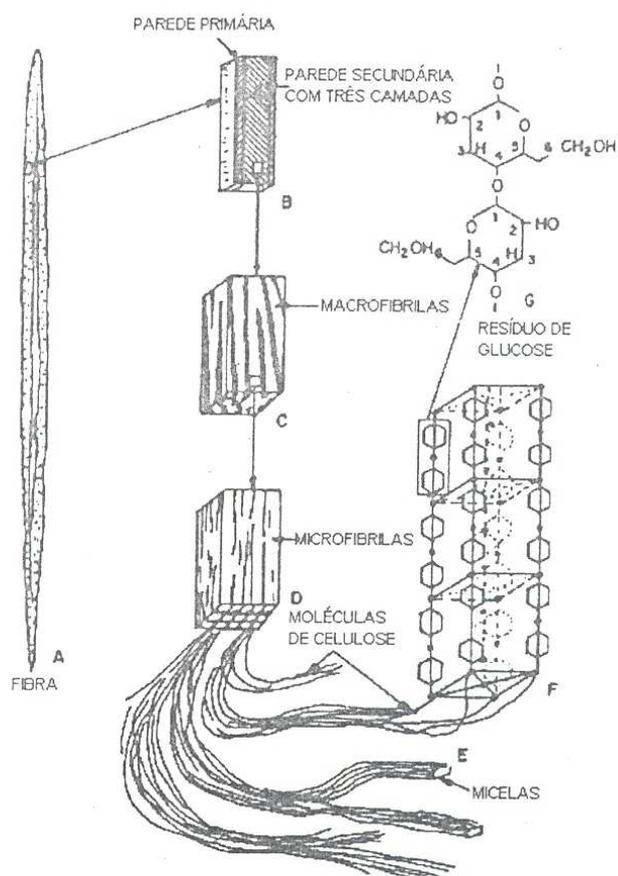


Figura 4 - Formação da celulose

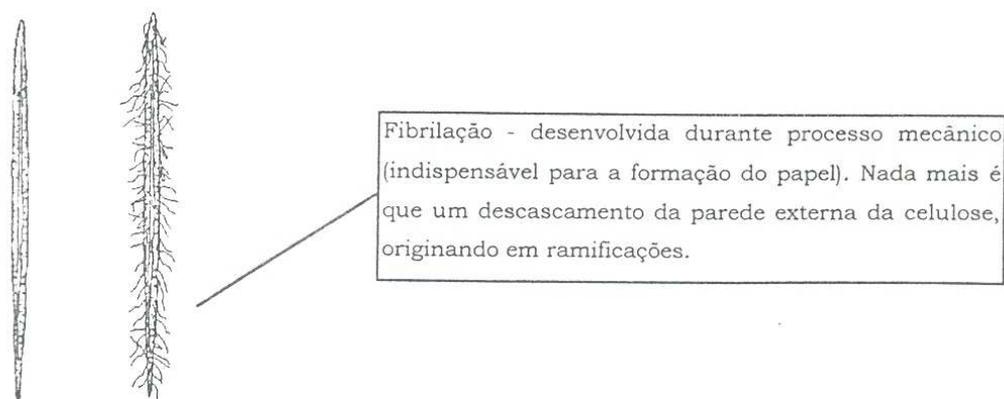


Figura 5 - Celulose (intacta e com desenvolvimento de fibrilos)

2.1.2.1 Processo TMP

A pasta termomecânica, produto do processo TMP, é constituída de material fibroso, sob a forma de suspensão aquosa, proveniente do processo de desfibramento de cavacos de madeira em refinadores. Nestes equipamentos os cavacos são submetidos a efeito mecânico sob ação de temperaturas elevadas, resultando daí uma separação das fibras. O calor tem por função enfraquecer a força de união das fibras, já que a lignina quando submetida ao calor começa a amolecer. Com isto reduz-se a força necessária para separar as fibras, possibilitando uma maior preservação de seu comprimento.

O processo TMP inicia com a lavagem de cavacos visando a retirada de materiais estranhos ao processo, bem como a retirada de cavacos fora de especificação. Os cavacos especificados e lavados seguem para o silo vibratório.

O silo vibratório descarrega os cavacos via mesa de alimentação para a rosca de alimentação e de selagem (*plug screw feeder*), que além de servir como tampão de selagem do sistema pressurizado dos refinadores (manter pressão no refinador), faz o papel de medidor e controle de produção (aumentando-se a rotação da rosca, alimenta-se mais cavacos e, conseqüentemente, aumenta-se a produção). A rosca comprime os cavacos e extrai certa quantidade de água juntamente com alguns constituintes solúveis da madeira. Deste ponto os cavacos caem via um "T" para a rosca distribuidora, projetada para dividir o fluxo de cavacos em duas partes idênticas, alimentando ambas as zonas do refinador *Twin 66* uniformemente.

O conceito de refinagem *twin* (dupla) se deve ao disco rotativo com duas faces (rotor), girando entre dois discos estacionários (estatores), porém móveis axialmente (ver Figura 6). Os cavacos entram no refinador no centro dos discos, espalhando-se em sua superfície. Cada disco do refinador possui, fixado sobre sua superfície, peças em forma de setor circular, as quais são denominadas segmentos de disco. A face externa do segmento, parte que está em contato com os cavacos e a pasta, possui desenhos formados por barras e espaços vazios. Cada tipo de desenho tem uma função específica: seção de

barras grossas (quebra dos cavacos), seção intermediária e seção de barras finas (para refinação).

No processo TMP há a formação de um colchão de fibras entre os discos do refinador. Com o movimento do rotor, as fibras atitam-se entre si, ou seja no processo de refinação, ocorre um trabalho entre as próprias fibras. Daí resulta a separação entre elas bem como a formação de fibrilos.

As placas estacionárias (estatores) movem-se axialmente acionadas por cilindros hidráulicos montados na ponta externa da carcaça. Estes movimentos servem para aumentar ou diminuir a potência aplicada no refinador. Devido à alta energia aplicada, grande parte da umidade dos cavacos ou da pasta é convertida em vapor. Esta umidade deve ser repostada a fim de manter na zona de refinação, uma consistência ideal, o que é feito adicionando-se água. Cada refinador é equipado com uma válvula de descarga na parte inferior da carcaça para descarregar o condensado na hora do aquecimento do refinador.

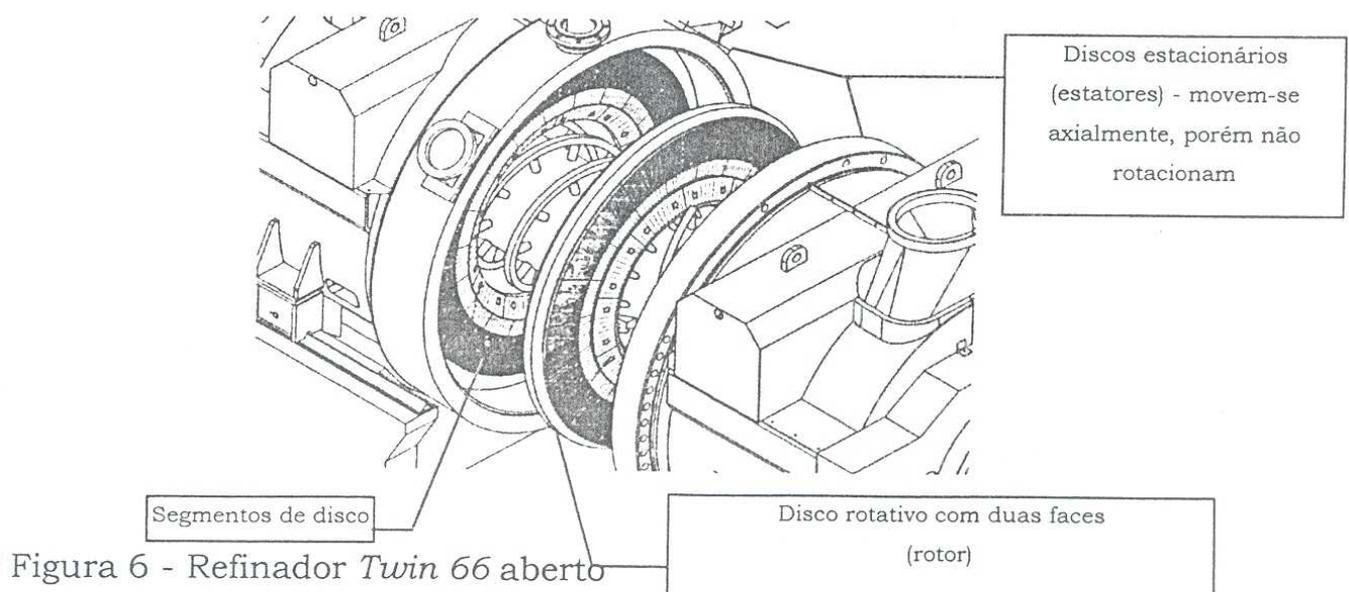
A refinação é feita em dois estágios: no refinador primário, que refina os cavacos, e no refinador secundário, que refina a pasta produzida no primeiro refinador proporcionando um acabamento melhor às fibras. Do refinador secundário a pasta segue para o tanque de latência. O objetivo principal deste tanque é dar tempo suficiente para que as fibras possam relaxar, já que elas encontram-se encurvadas, dobradas e torcidas devido ao alto nível de energia aplicada e alta consistência nos refinadores. Durante a remoção da latência, as fibras são agitadas por um forte agitador, o que combinado com temperatura em torno de 90 graus Celsius, remove praticamente todas as deformações geradas nos refinadores. Outras variáveis de influência na remoção da latência são o tempo de retenção e a consistência. Do tanque de latência a pasta segue para os depuradores.

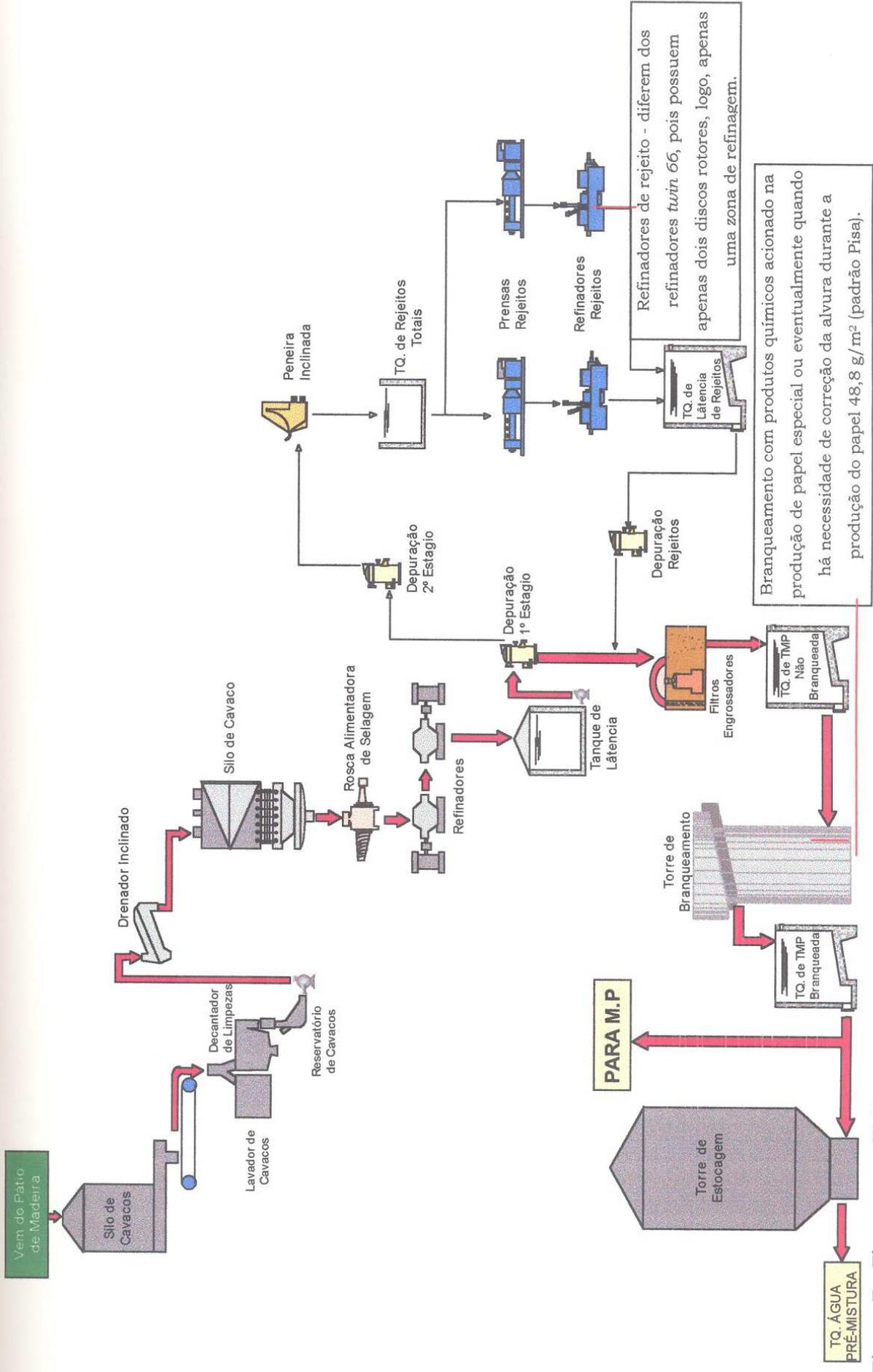
A finalidade principal da depuração é a remoção das impurezas e camadas de fibras entrelaçadas contidas na massa e que prejudicam a aparência da folha, produzindo quebras no papel. Pode-se afirmar de maneira simplificada que a depuração é semelhante a um peneiramento. Dos depuradores a massa segue para os filtros que têm por função concentrar a massa a uma consistência entre dez e quatorze por cento para que posteriormente a pasta seja novamente diluída, porém, desta vez,

controladamente. A massa é concentrada também para que haja uma redução de volume, facilitando a estocagem. Dois tipos de filtro executam esta tarefa: o filtro de tambor e o filtro a disco. O primeiro possui um tambor instalado dentro de uma gamela e gira com uma parte submersa na pasta diluída. O tambor é constituído de um cilindro feito de chapas de aço, com a parte externa revestida de uma tela fina, apoiado sobre uma chapa perfurada sobre as canaletas de drenagem. Cada canaleta está ligada através do eixo tubular até a válvula de vácuo, localizada em uma das extremidades do tambor. As fibras da pasta são então retidas pela tela e a água é coletada nas canaletas e descarregadas pela válvula de vácuo. A pasta é coletada logo acima através de pequenos rolos destacadores.

O filtro de disco é constituído por discos com telas posicionados paralelamente uns aos outros. Os discos possuem dupla face e funcionam com vácuo. A pasta circula lateralmente às telas sendo succionadas e aderidas na tela dos discos. Os discos rotacionam lentamente sendo as fibras coletadas na parte superior do equipamento através de jatos d'água com pressão suficiente para descolar as fibras da tela.

As pasta é então diluída e estocada; a água extraída retorna ao processo. A Figura 7 mostra o Fluxograma da TMP.





Branqueamento com produtos químicos acionado na produção de papel especial ou eventualmente quando há necessidade de correção da alvura durante a produção do papel 48,8 g/m² (padrão PISA).

Refinadores de rejeito - diferem dos refinadores twin 66, pois possuem apenas dois discos rotores, logo, apenas uma zona de refinagem.

Figura 7 - Fluxograma TMP

2.1.3 Processo TGW

Os equipamentos utilizados no processo TGW são: desfibradores, desagregador, depuradores e filtros engrossadores (filtros de tambor).

O desfibrador é, sem dúvida, o equipamento mais importante do TGW. Cada desfibrador de pedra com alimentação por correntes está equipado com uma pedra abrasiva, de formato cilíndrico, com diâmetro de 1,8 m e 1,37 m de comprimento, que gira a uma velocidade constante de 277 rpm.

Sobre a pedra em rotação é comprimido, através das correntes, um feixe de toras úmidas produzindo o desfibramento. Durante a operação de desfibramento há uma grande dissipação de calor na zona de contato com a pedra. Este calor é aproveitado para amaciar a lignina e facilitar a separação das fibras mecanicamente. A pedra trabalha submersa, obtendo-se um controle de temperatura mais eficiente, e é constantemente afiada para que seja mantida a abrasividade (ver *figura 8*). A região sobre a pedra e onde estão as toras é denominada *magazine*. A pedra é permanentemente molhada com chuveiros (em número de quatro - dois deles para controle de temperatura, um para limpeza e outro para controle de consistência) e a pasta produzida cai na tina (câmara abaixo da pedra). As fibras da tina podem voltar à zona de desfibramento recebendo um tratamento mecânico complementar; assim, as camadas mais externas das fibras acabam fissurando por fadiga, favorecendo a fibrilação (ver *figuras 4 e 5*).

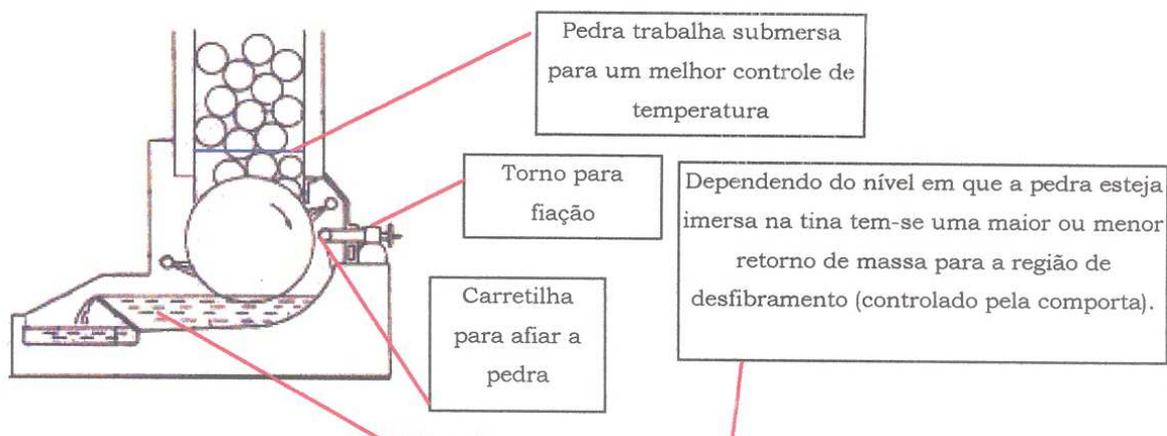


Figura 8 - Arranjo esquemático do desfibrador

Dos desfibradores a pasta segue, via uma canaleta comum, para uma série de peneiras vibratórias que separam material grosseiro não desfibrado

(lascas de madeira). A pasta então é enviada aos depuradores e aos filtros engrossadores, sendo posteriormente diluída e armazenada. As lascas e os palitos são conduzidos ao desagregador (que trabalha semelhante a um liquidificador) indo posteriormente à linha [DECHANDT FILHO, 1999].

2.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA

2.2.1 Introdução

Em muitas situações reais surge o problema estatístico de se estimar o grau de associação entre duas variáveis (Y e X, uma aleatória e a outra aleatória ou fixa), entre uma variável dependente Y (aleatória) e um conjunto de variáveis independentes fixadas $\underline{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ (covariáveis) e finalmente entre dois conjuntos de variáveis ($\underline{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_{n1}]$ e $\underline{Y}' = [Y_1, Y_2, \dots, Y_{n2}]$). No primeiro caso o grau de dependência entre as variáveis X e Y é dado pelo parâmetro ρ conhecido como correlação linear simples entre as duas variáveis e definido pela expressão:

$$\rho(X, Y) = E\left[\left(\frac{X - \mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{Y - \mu_y}{\sigma_y}\right)\right] \quad -1 < \rho < 1$$

onde E é o operador esperança matemática [Mood et al., 1986]. Este parâmetro é estimado com base na amostra aleatória composta por n pontos amostrais $[(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)]$ conforme a estatística definida por:

$$\hat{\rho}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

onde \bar{x} e \bar{y} correspondem as médias amostrais das variáveis X e Y, respectivamente. No segundo caso, onde se deseja a correlação entre uma variável aleatória Y e um conjunto de variáveis fixadas $\underline{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$, obtém-se o ajuste do modelo da relação entre Y e \underline{X} , pelo modelo linear em p - 1 variáveis $\underline{Y} = \underline{X}\underline{\beta} + \underline{\varepsilon}_i$ com X sendo a matriz do modelo de ordem n x p e utilizando as informações dos n pontos amostrais do tipo $[Y_i, (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi})]$ e, a partir dos resultados do ajuste obtém-se o **coeficiente de correlação múltipla ao quadrado R^2** dado pela expressão

$$R^2 = \frac{SQ_{regr}}{SQR} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad 0 < R^2 < 1$$

Onde \hat{y} é a estimativa do suposto Y no ponto i

E \bar{y} é a média da amostra de Yi

Por último, no terceiro caso, quando se deseja o relacionamento entre dois conjuntos de variáveis aplica-se a técnica estatística conhecida como Análise de Correlação Canônica, que é descrita a seguir.

2.2.2 Conceitos e objetivo da Análise de Correlação Canônica

A Análise de Correlação Canônica é uma técnica estatística que trata da **identificação e quantificação da associação** entre dois grupos de variáveis $\underline{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_{n1}]$ e $\underline{Y}' = [Y_1, Y_2, \dots, Y_{n2}]$. O objetivo dessa técnica é determinar as combinações lineares $\underline{c}_1 \underline{x}$ e $\underline{c}_2 \underline{y}$ tais que tenham a **maior correlação possível**. Tais correlações podem dar discernimento sobre o relacionamento entre os dois conjuntos de variáveis. A idéia é determinar primeiro o par de combinações lineares (c.l's) que tenha a maior correlação. Em seguida, obtém-se o segundo par de combinações lineares, que tenha a segunda maior correlação, escolhido entre todos os pares não correlacionados com o primeiro par já selecionado. E assim sucessivamente. As variáveis, pares de combinações lineares, são chamadas de **variáveis canônicas** e suas correlações são as **correlações canônicas**. Pode-se entender a Análise de Correlação Canônica como uma extensão da Análise de Regressão Múltipla. Na Análise de Regressão Múltipla tem-se as variáveis quando formam o conjunto das covariáveis \underline{x} com $p - 1$ variáveis e o conjunto da variável resposta y com uma única variável. A solução do problema de regressão múltipla trata de achar a combinação linear $\underline{\beta}' \underline{x}$, com $\underline{\beta}$ sendo o vetor de parâmetros, que é altamente correlacionada com y . Já na Análise de Correlação Canônica o conjunto \underline{y} contém $p \geq 1$ variáveis e procura-se os vetores \underline{c}_1 e \underline{c}_2 para os quais a correlação entre $\underline{c}_1 \underline{x}$ e $\underline{c}_2 \underline{y}$ é máxima. Se \underline{x} é interpretado como o *causador*

de \underline{y} , então $\underline{c}_1 \underline{x}$ pode ser chamado o *melhor preditor* e $\underline{c}_2 \underline{y}$ o *mais provável critério*. As correlações canônicas medem a força da associação entre os dois conjuntos de variáveis. O aspecto de maximização da técnica representa uma tentativa de concentrar um relacionamento dimensionalmente alto entre dois conjuntos de variáveis em uns poucos pares de variáveis canônicas.

Para melhor entender a idéia fundamental da técnica é aconselhável uma exemplificação: suponha o vetor de variáveis \underline{x} que corresponde a resultados do conjunto das técnicas administrativas e o conjunto de variáveis \underline{y} que correspondem a medidas de variáveis de qualidade. Alguém pode estar interessado em saber qual dos conjuntos de técnicas administrativas é mais relacionado com o conjunto das variáveis de qualidade e também predizer os resultados de um dos conjuntos em função do outro. A Análise de Correlação Canônica ajuda neste sentido.

2.2.3 Variáveis Canônicas e Correlações Canônicas

Seja um vetor aleatório p-dimensional \underline{X}_1 e outro vetor aleatório \underline{X}_2 q-dimensional $p \leq q$. Suponha que \underline{X}_1 e \underline{X}_2 tenham médias $\underline{\mu}_1$ e $\underline{\mu}_2$ e matrizes de covariância Σ_{11} e Σ_{22} , com $\underline{\mu}_i = E(\underline{X}_i)$, $\Sigma_{ii} = E(\underline{X}_i - \underline{\mu}_i)(\underline{X}_i - \underline{\mu}_i)'$ e $\text{cov}(\underline{X}_1, \underline{X}_2) = E\{(\underline{X}_1 - \underline{\mu}_1)(\underline{X}_2 - \underline{\mu}_2)'\} = \Sigma_{12} = \Sigma_{21}$ (matriz de covariância cruzada). Considere ainda o par de combinações lineares $U = \underline{a}'\underline{X}_1$ e $V = \underline{b}'\underline{X}_2$, tal que:

$$\begin{aligned} V(U) &= \underline{a}'V(\underline{X}_1)\underline{a} = \underline{a}'\Sigma_{11}\underline{a} \\ V(V) &= \underline{b}'V(\underline{X}_2)\underline{b} = \underline{b}'\Sigma_{22}\underline{b} \\ \text{cov}(U, V) &= \underline{a}'\text{cov}(\underline{X}_1, \underline{X}_2)\underline{b} = \underline{a}'\Sigma_{12}\underline{b} \\ \text{corr}(U, V) &= \frac{\underline{a}'\Sigma_{12}\underline{b}}{\sqrt{\underline{a}'\Sigma_{11}\underline{a}}\sqrt{\underline{b}'\Sigma_{22}\underline{b}}} \end{aligned}$$

então :

o primeiro par de combinações lineares U e V com variâncias unitárias e com correlação máxima é chamado de primeiro par de variáveis canônicas; da mesma forma outras variáveis canônicas são obtidas.

Observa-se que a correlação entre U e V dependem dos coeficientes \underline{c}_1 e \underline{c}_2 , então quais os valores desses coeficientes que maximizam $\rho(U,V)$? A resposta é maximizar $\underline{c}_1' \Sigma_{12} \underline{c}_2$ com a restrição de $\underline{c}_1' \Sigma_{11} \underline{c}_1 = \underline{c}_2' \Sigma_{22} \underline{c}_2 = 1$ para que a correlação não dependa da escala de \underline{c}_1 e \underline{c}_2 . Então definiremos como primeiro par de variáveis canônicas o par de c.l.'s U_1 e V_1 que tendo variâncias unitárias maximiza a correlação $\rho(U,V)$; o segundo par é obtido da mesma forma entre todas as escolhas não correlacionados com a primeira escolha e assim sucessivamente. Então desta forma é enunciado o resultado seguinte:

“Sejam os vetores \underline{X} e \underline{Y} de dimensão p e q e com matrizes de covariâncias Σ_{11} e Σ_{22} respectivamente e covariância cruzada Σ_{12} e ainda as c.l.'s $U = \underline{c}_1' \underline{X}$ 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 autovetor correspondente ao maior autovalor ρ_1^{*2} de $\Sigma_{11}^{-1/2} \Sigma_{12} \Sigma_{22}^{-1} \Sigma_{21} \Sigma_{11}^{-1/2}$ que tem p autovalores $\rho_1^{*2} \geq \rho_2^{*2} \geq \dots \geq \rho_p^{*2}$ e p autovetores \underline{e}_i $i = 1, 2, \dots, p$ 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 correspondentes aos autovalores $\rho_1^{*2} \geq \rho_2^{*2} \geq \dots \geq \rho_q^{*2}$.”

PROVA: a prova deste resultado escapa ao objetivo deste trabalho e pode ser encontrada em [Johnson & Wichern, 1988]

As variáveis canônicas obtidas do resultado enunciado têm as seguintes propriedades:

$$V(U_k) = V(V_k) = 1 \quad k = 1, 2, \dots, p$$

$$\text{Cov}(U_k, U_\ell) = 0 \quad k \neq \ell$$

$$\text{Cov}(V_k, V_\ell) = 0 \quad k \neq \ell \quad \text{e} \quad k, \ell = 1, 2, 3, \dots, p$$

Assim, as variáveis canônicas U_k com $k = 1, 2, 3, \dots, p$ são da forma:

$$U_k = \underline{e}_k' \Sigma_{11}^{-1/2} \underline{X}$$

E as variáveis canônicas V_k com $k = 1, 2, 3, \dots, p$ são da forma:

$$V_k = \underline{f}'_k \Sigma_{22}^{-1/2} \underline{Y}$$

e com $\underline{a}_k' = \underline{e}'_k \Sigma_{11}^{-1/2}$ tem-se $U_k = \underline{a}_k' \underline{X}$ e com $\underline{b}_k' = \underline{f}'_k \Sigma_{22}^{-1/2}$ tem-se $V_k = \underline{b}_k' \underline{Y}$ e são formados os pares de variáveis canônicas U_1 e V_1 , U_2 e V_2 , U_p e V_p , sendo que a máxima correlação canônica é obtida para o primeiro par.

Por outro lado, quando as variáveis estão padronizadas ou seja $Z_i = \frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}$ trabalha-se da mesma forma e as matrizes de covariância Σ são substituídas pelas matrizes de correlação ρ no resultado anterior. E, as correlações canônicas permanecem as mesmas. Portanto, pode-se trabalhar com Σ ou com ρ .

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 as variáveis canônicas. No caso das correlações entre as variáveis originais do primeiro grupo \underline{X} e as correlações canônicas desse grupo tem-se a matriz de ordem $p \times p$:

$$\rho(U, \underline{X}) = A \Sigma_{11} V_{11}^{-1/2}$$

e as correlações entre as variáveis originais do segundo grupo com as respectivas variáveis canônicas são dadas pela matriz abaixo de ordem $q \times q$:

$$\rho(V, \underline{Y}) = B \Sigma_{22} V_{22}^{-1/2}$$

e as correlações entre as variáveis originais do segundo grupo e as variáveis canônicas do primeiro grupo são dadas pela matriz de ordem $p \times q$:

$$\rho(U, \underline{Y}) = A \Sigma_{12} V_{22}^{-1/2}$$

e finalmente as correlações entre as variáveis originais do primeiro grupo com as variáveis canônicas do segundo grupo são dadas pela matriz de ordem $q \times p$:

$$\rho(V, \underline{X}) = B \Sigma_{21} V_{11}^{-1/2}$$

onde A é a matriz de ordem $p \times p$ formada com os vetores \underline{a} nas colunas, B é a matriz de ordem $q \times q$ com os vetores \underline{b} nas colunas e $V^{-1/2}$ é a

matriz diagonal com os desvios padrões das variáveis originais respectivas na diagonal.

Se as variáveis originais estão padronizadas tem-se as matrizes enunciadas acima na forma: $\rho(U, Z_x) = A_z \rho_{11}$, $\rho(U, Z_y) = A_z \rho_{12}$, $\rho(V, Z_y) = B_z \rho_{22}$ e $\rho(V, Z_x) = B_z \rho_{21}$ sendo que as matrizes A e B são construídas a partir da matriz de correlação. É importante observar que as correlações obtidas não são afetadas pela padronização.

A aplicação da técnica de Análise de Correlação Canônica a situações reais é feita a partir das estimativas amostrais das matrizes populacionais. Assim, tem-se as matrizes S estimando as matrizes Σ e usa-se os autovetores obtidos das estimativas amostrais na construção dos coeficientes de correlação canônica que serão \hat{a} e \hat{b} respectivamente para o primeiro e segundo grupo.

2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO.

2.3.1 Introdução

Tradicionalmente qualidade está associada com produtos tipo relógio Rolex, automóveis Rolls Royce e outros artigos de alto luxo. São artigos extraordinariamente caros e que conferem um maior *status* social aos seus proprietários. Tecnicamente conceituamos qualidade como uma característica do processo de produção que deve ser medida pela proporção de bens ou serviços que atingem as propriedades especificadas em projeto. Este é o conceito de qualidade vigente desde a década de 20 quando as primeiras idéias de controle de qualidade foram estabelecidas por W. A. Shewhart [SHEWHART, 1980]. Mais modernamente [TAGUCHI, 1986] introduziu um novo conceito para qualidade. Qualidade, segundo Taguchi, é uma característica do produto associada ao prejuízo sofrido pela sociedade como conseqüência da variação funcional do produto (ou serviço) e seus efeitos adversos a partir do momento em que o produto (ou serviço) é recebido pelo consumidor.

A evolução dos mercados mundiais e a disputa desses mercados pelas nações industrializadas foi sempre muito grande. O mercado internacional de produtos manufaturados foi dominado pela indústria da Grã-Bretanha desde o surgimento da era industrial até praticamente a crise dos anos 30. A indústria americana vinha se desenvolvendo de forma acentuada até a grande crise de 1929. Após a 2ª guerra mundial os americanos tiveram na prática o monopólio dos mercados mundiais, acentuadamente nos anos 50 e 60. A partir daí passou a sofrer concorrência do Japão, Europa e países do 3º mundo em menor escala. Qualidade não era o objetivo mais importante da indústria americana dessa época. Os seus produtos eram vendidos no mundo todo e muito procurados. Da indústria automobilística que praticamente não tinha concorrência nenhuma até a indústria eletro-eletrônica que dominava completamente os mercados não existia razão alguma para se preocuparem com a competitividade. Essa situação de conforto fez com que os métodos de

Controle de Qualidade idealizados pelo Sr. Shewhart não fossem empregados de forma plena.

O Japão no final da 2ª guerra mundial estava completamente destruído. A sua indústria inexistia e tinha perdido completamente os seus mercados. Mas, em 1947 com a visita e palestras de W.E. Deming [DEMING, 1990] a JUSE (União Japonesa para a Ciência e a Engenharia) idéias novas começaram a nortear o destino do Japão. A JUSE é uma entidade que foi fundada, entre outros, por K. Koyanagi e que tinha o objetivo de promover a reconstrução do Japão. Assim, recebeu muito bem as idéias do Sr. W.E. Deming de melhoria contínua dos produtos. Os métodos estatísticos de Controle de Qualidade foram incentivados e passaram, com o tempo, a ser empregados praticamente em toda indústria japonesa. O sucesso foi tal que Deming foi homenageado com o empréstimo do seu nome ao maior prêmio de qualidade existente no mundo, o prêmio Deming criado no Japão.

Em 1950 perto de 400 engenheiros haviam assistido às palestras sobre métodos estatísticos de controle da qualidade e a partir daí milhares foram treinados nessas técnicas. Em 1960 K. Ishikawa criou os Círculos de Controle de Qualidade, completando o controle dos produtos da matéria prima até o consumidor. O aperfeiçoamento contínuo (Kaizen) passou a ser quase uma religião no Oriente e o sucesso disso tudo fez do Japão o 2º PIB mundial.

No início da década de 80, W. E. Deming estava de volta a sua terra para tentar promover ali a recuperação da indústria americana. Elaborou então os seus 14 pontos para a recuperação da indústria americana e os resultados o mundo inteiro está vendo já faz algum tempo. Os Estados Unidos da América estão em uma situação econômica muito boa e o Japão em crise. O nível da qualidade dos produtos foi equilibrado e a crônica deficiência em matéria prima dos japoneses fez com que os orientais ficassem em posição de desvantagem. Os 14 pontos do Dr. Deming (assim eles são conhecidos) são os seguintes:

1º) Estabelecer a constância de finalidade para melhorar o produto e o serviço;

Significa que deste modo a empresa evitará a falência e continuará operando daqui a 20 ou 30 anos. Esse processo de aperfeiçoamento contínuo requer a participação de todos.

2°)Adotar a nova filosofia;

Nova filosofia de adquirir administração empresarial significa não aceitação dos níveis tradicionais de defeitos, erros, material inadequado, pessoal incompetente e mal treinado.

3°)Acabar com a dependência da inspeção em massa;

É ineficiente, causa e resolve o problema errado. Mais importante que achar uma não conformidade é não fazê-lo. Qualidade não é consequência da inspeção mas da melhoria do processo.

4°)Cessar a prática de avaliar as transações apenas com base no preço;

A prática de comprar pelo menor preço é igualmente danosa. Economia de custos são frequentemente obtidos através de sacrifícios na uniformidade e confiabilidade do produto.

5°)Melhorar sempre e constantemente o sistema de produção e serviço;

A busca da redução do desperdício e contínua melhoria na qualidade deve ser estendida a todas as atividades(compras, projeto, engenharia, métodos, manutenção, vendas, transporte, contabilidade e Assistência Técnica).

6°)Instituir o treinamento e o retreinamento;

Porque uma parcela significativa dos erros e defeitos numa linha de produção são causados por desconhecimento sobre o trabalho a ser executado.

7°)Instituir a liderança;

Liderar, a supervisão dos trabalhadores é responsabilidade da administração, os trabalhadores precisam ter liberdade e ser encorajados a comunicarem a supervisão detalhes que precisam ser modificados no trabalho.

8°)Afastar o medo;

O medo leva a perda de produtividade. O trabalhador deve ter liberdade de perguntar 4, 5, 10 vezes o que deve ser feito, deve se sentir seguro.

Medo no trabalhador revela problemas na contratação, treinamento e supervisão.

9°) Eliminar as barreiras entre as áreas e o meio;

Caso exista barreiras entre as diversas áreas de uma empresa isto pode levar a especificações equivocadas, materiais inadequados e etc.... Os departamentos não devem funcionar como entidades estanques e sim devem estar constantemente trocando informações para melhorar a qualidade do produto final.

10°) Eliminar Slogans, Exortação e metas para os empregados;

Os cartazes, Slogans, exortações muitas vezes não mostram a realidade da empresa podendo gerar desconforto nos funcionários e ao invés de motivá-los será apenas mais um fator de desmotivação.

11°) Eliminar as cotas numéricas;

Nada é pior para a imagem da empresa do que entregar aos seus clientes um produto fora das especificações. Muitas vezes isto ocorre devido as cotas numéricas existentes em uma empresa, pois o trabalhador para cumprir as cotas definidas pela empresa não se preocupará com os todos os detalhes necessários podendo gerar um produto com a qualidade insatisfatória.

12°) Remover as barreiras do orgulho da execução;

Uma das causas da baixa produtividade é a desmoralização do trabalhador. Condições adversas, instruções confusas e material inadequado.

13°) Instituir um sólido programa de educação e retreinamento.

Uma organização não precisa de apenas gente boa; precisa de gente que vai-se aprimorando sempre através de formação adequada.

14°) Agir no sentido de concretizar a transformação.

A administração deverá assumir e enfrentar cada um dos 13 princípios acima, e as moléstias fatais e obstáculos existentes.

2.3.2 Fundamentação Estatística do Controle de Qualidade.

O Controle Estatístico de Processo é apoiado em algumas distribuições de probabilidade. A seguir detalha-se as principais distribuições de probabilidade que são usadas em Controle Estatístico de Processo ou em Engenharia da Qualidade de um modo mais geral. [CHAVES NETO, 1998].

2.3.2.1 Distribuições Discretas de Probabilidade

a) A distribuição Bernoulli

A distribuição de probabilidades Bernoulli é aquela cuja função de probabilidade (f.p.) possui a forma:

$$P(X = x) = p_X(x) = \theta^x (1 - \theta)^{(1-x)}, x = 0, 1 \text{ e } 0 < \theta < 1$$

e com esperança matemática (média) e variância σ^2 definidas, respectivamente, por $\mu = E(X) = \theta$ e $V(X) = \sigma^2 = \theta(1-\theta)$. Esta distribuição é usada na indicação de peça perfeita (0) ou defeituosa (1), se o "sucesso" de interesse é peça defeituosa.

b) Distribuição Binomial

A distribuição de probabilidades Binomial é aquela cuja função de probabilidade (f.p.) possui a forma:

$$P(X = x) = p_X(x) = \binom{n}{x} \theta^x (1 - \theta)^{n-x}, x = 0, 1, \dots, n \text{ e } 0 < \theta < 1$$

Os parâmetros média e variância dessa distribuição são, respectivamente:

$$\mu = E(X) = n\theta \text{ e } V(X) = \sigma^2 = n\theta(1-\theta)$$

A distribuição Binomial conta o número de sucessos em n provas independentes do tipo Bernoulli. As provas tipo Bernoulli são experimentos que só conduzem a um de dois resultados "sucesso" ou "fracasso". A distribuição Binomial é usada freqüentemente em Controle de Qualidade e é o modelo de probabilidade indicado quando se amostra uma população que possui a fração de defeituosos θ . Assim se o tamanho da amostra é n , tem-se pela expressão acima a probabilidade de se obter x itens defeituosos na amostra de tamanho n .

Uma estatística muito importante em Controle Estatístico da Qualidade é a variável aleatória:

$$\hat{\theta} = \bar{x} = \frac{y}{n}, \text{ onde } y \sim b(n, \theta)$$

Esta estatística estima a verdadeira proporção de itens não-conformes na população (probabilidade de um item defeituoso) e é conhecida como fração amostral de defeituosos. A esperança e a variância dessa estatística são:

$$E(\hat{\theta}) = \theta \text{ e } V(\hat{\theta}) = \frac{\theta(1-\theta)}{n}$$

c) Distribuição de Poisson

Uma v.a. X tem distribuição de Poisson quando a sua função de probabilidade (f.p.) é dada por:

$$P(\theta) \rightarrow P(X = x) = p_x(x) = \frac{\theta^x e^{-\theta}}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots \text{ e } \theta \in \mathfrak{R}^+$$

$$E(X) = \mu = \theta \text{ e } V(X) = \sigma^2 = \theta$$

Uma aplicação importante desta distribuição de probabilidade, encontrada em Controle Estatístico de Qualidade, está em utilizá-la como um modelo para o número de defeitos que podem ocorrer por unidade do produto. A unidade do produto pode ser entendida como unidade de comprimento, unidade de área, unidade de volume, unidade de tempo, etc. Neste trabalho estudou-se a fabricação de papel, que é uma produção do tipo contínuo, da mesma forma que a produção de tecidos. Neste caso a contagem de não

conformidades é feita em função do número de “quebras” do jornal durante a impressão que depende obviamente da qualidade do papel de impressão. A medida da qualidade é feita, então, em número de quebras por unidade do produto, sendo a unidade do produto igual a 100 bobinas de papel. Apenas como referência, é bom que se diga que este índice no Japão e Canadá é de 1 por mil e no Brasil este número é de 1 por cem. Desta forma a distribuição de Poisson é usada no gráfico de controle indicado para este caso.

d) Distribuição Hipergeométrica

Uma v.a. X tem distribuição hipergeométrica quando a sua f.p. tem a expressão:

$$P(X = x) = \frac{\binom{D}{x} \binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \quad \begin{array}{l} x = 0, 1, 2, \dots, \min(n, D) \\ D = 0, 1, 2, \dots, N \\ n = 1, 2, 3, \dots, N \\ N = 1, 2, 3, \dots \end{array}$$

$$E(X) = \mu = n \frac{D}{N} \quad e \quad V(X) = n \frac{D}{N} \left(1 - \frac{D}{N} \right) \left(\frac{N-n}{N-1} \right)$$

A situação do modelo hipergeométrico é aquela onde existe uma população finita composta por N itens. Uma parte da população é formada por itens com alguma característica especial ou não-conformes, D ($D \leq N$). Uma amostra aleatória com tamanho n é selecionada da população, sem reposição, e o número de itens com aquela característica especial é observado, X . Neste caso a variável aleatória (v.a.) X tem distribuição hipergeométrica e a sua f.p. é dada pela expressão acima.

Este modelo de probabilidade é indicado quando se estão selecionando uma amostra aleatória (a.a.) com n itens, sem reposição, de um lote com um total de N , sendo que do total D são defeituosos. Assim a v.a. X representa o número de itens defeituosos ou fora de especificação presentes na amostra.

e) Distribuição de Pascal

A distribuição de Pascal, da mesma forma que a Binomial, é baseada nas chamadas "provas de Bernoulli". Seja uma seqüência de provas independentes, cada uma com a probabilidade de sucesso θ e suponha que X denota a prova na qual ocorreu o r -ésimo sucesso. Então X é uma v.a. com Distribuição de Pascal e tem a seguinte f.p.:

$$bn(r, \theta) \rightarrow P(X = x) = p_X(x) = \binom{x-1}{r-1} \theta^r (1-\theta)^{x-r}$$

$$x = r, r+1, r+2, \dots, \text{ e } r \geq 1 \text{ (inteiro)}$$

$$E(X) = \mu = \frac{r}{\theta} \text{ e } V(x) = \sigma^2 = \frac{r(1-\theta)}{\theta^2}$$

A Distribuição de Pascal é interessante em dois casos especiais:

1)- Quando $r > 1$ obtêm-se na forma da distribuição de Pascal uma v.a. com distribuição Binomial Negativa. Na distribuição Binomial Negativa se fixa o número de sucessos, r , e se observa o tamanho da amostra, X , necessário para que aquele número de sucessos seja obtido.

2)- Quando $r = 1$ tem-se uma v.a. com a chamada distribuição geométrica que conta o numero de provas Bernoulli até que ocorra o primeiro sucesso, a f.p. adquire a forma:

$$P(X = x) = (1-\theta)^{x-1} \theta$$

pois resulta para $\frac{(x-1)!}{(r-1)!(x-1-r+1)!}$ com $r=1$ o seguinte

$$\frac{(x-1)!}{(1-1)!(x-1)!} = \frac{(x-1)!}{(x-1)!} = 1$$

2.3.2.2 Distribuições Contínuas de Probabilidade

a) Distribuição Normal

Uma v.a. X tem distribuição Normal ou Gaussiana quando a sua função densidade de probabilidade (f.d.p.) tem a forma:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}, x \in \mathfrak{R}, \mu \in \mathfrak{R} e \sigma > 0$$

Na distribuição Gaussiana a probabilidade da v.a. X assumir um valor entre a e b ($a < b$) é dado por:

$$P(a < X < b) = \int_a^b f_X(x) dx$$

A média e a variância da v.a. X são dadas por:

$$E(X) = \mu e V(X) = \sigma^2$$

Na prática é mais fácil trabalhar-se com a chamada distribuição Normal Padrão, correspondente a v.a. Z que tem média 0 e variância 1,

$$Z = \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \sim N(0,1)$$

$$f_Z(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} z^2\right\}, z \in \mathfrak{R}$$

$$E(Z) = \mu = 0 e V(Z) = \sigma^2 = 1$$

Veja que a $P(a < X < b) = P\left(\frac{a-\mu}{\sigma} < \frac{X-\mu}{\sigma} < \frac{b-\mu}{\sigma}\right) = P(z_1 < Z < z_2)$

b) Distribuição Exponencial

Uma v.a. X tem distribuição Exponencial quando a sua f.d.p é dada pela expressão,

$$E(\theta) \rightarrow f_x(x) = \theta e^{-\theta x}, x > 0 \text{ e } \theta > 0$$

$$E(X) = \mu = \frac{1}{\theta} \text{ e } V(X) = \sigma^2 = \frac{1}{\theta^2}$$

A distribuição Exponencial é muito usada em confiabilidade como modelo da v.a. tempo de falha de um componente de um sistema. Assim, o parâmetro θ é chamado de taxa de falha do sistema e a média $\frac{1}{\theta}$ é denominada tempo médio até falhar. A taxa de falha do sistema, θ , é considerada constante no tempo, dada a distribuição Exponencial ser considerada uma distribuição "sem memória" pois não leva em conta o envelhecimento do equipamento. Uma proposta mais realista é a de que a taxa de falhas aumenta com o envelhecimento, o que não é considerado na distribuição Exponencial.

É importante definir-se aqui o que se entende por taxa de falhas ou função risco:

$$\lambda(t) = \frac{f_x(t)}{1 - F_x(t)}$$

onde $f_x(t)$ é a f.d.p. da v.a. T e $F_x(t)$ é a f.d.

No caso da distribuição exponencial tem-se esta taxa constante,

$$\lambda(t) = \frac{\theta e^{-\theta t}}{1 - (1 - e^{-\theta t})} = \theta$$

c) Distribuição Gama

Uma v.a X tem distribuição chamada Gama quando a sua f.d.p tem a seguinte expressão,

$$f_X(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, \quad x \geq 0, \quad \alpha > 0 \text{ e } \beta > 0$$

onde Γ é a função matemática gama igual a

$$\Gamma(m+1) = \int_0^\infty x^m e^{-x} dx = m!$$

e a função gama generalidade é

$$\int_0^\infty x^m e^{-ax^n} dx = \frac{\Gamma\left(\frac{m+1}{n}\right)}{n \cdot a^{\frac{m+1}{n}}}$$

$\Gamma(m+1) = m\Gamma(m) = m!$ (fórmula de recorrência)

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}$$

A média e a variância da v.a. X com distribuição Gama são dadas por,

$$E(X) = \mu = \frac{\alpha}{\beta} \text{ e } V(X) = \sigma^2 = \frac{\alpha}{\beta^2}$$

Algumas distribuições importantes são derivadas da Gama, ou seja são Gama com valores específicos para os parâmetros, tais como:

c1) Distribuição Exponencial

Quando $\alpha=1$ a distribuição Gama torna-se uma Exponencial com parâmetro β .

C2) DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO

Quando $\alpha = \frac{\nu}{2}$ e $\beta = \frac{1}{2}$ a distribuição Gama torna-se uma distribuição χ^2_ν (qui-quadrado com ν graus de liberdade) cuja f.d.p é dada por:

$$f_X(x) = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{\nu}{2}}}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} x^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-\frac{1}{2}x}, \quad x \geq 0 \text{ e } \nu \in \mathbb{N}^*$$

A esperança e a variância da v.a. X são dadas por,

$$E(X) = \nu \text{ e } V(X) = 2\nu$$

d) distribuição Weibull

Uma v.a. X tem distribuição Weibull quando a sua f.d.p. é definida por:

$$f_X(x) = \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta}, \quad x \in \mathfrak{R}^+, \alpha \in \mathfrak{R}^+, \beta \in \mathfrak{R}^+$$

Se $\beta = 1$ a distribuição Weibull torna-se uma exponencial com parâmetro α .

A média e a variância da v.a. X com distribuição Weibull são respectivamente:

$$E(X) = \mu = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ e } Var(X) = \sigma^2 = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\}$$

A principal característica da distribuição de Weibull é a de que possui a taxa de falhas variando no tempo,

$$\lambda(x) = \alpha\beta \cdot x^{\beta-1}, \quad x > 0$$

sendo que quando o parâmetro $\beta > 1$ $\lambda(x)$ aumenta, e a taxa de falhas $\lambda(x)$ diminui quando $\beta < 1$, passando a constante quando $\beta=1$, como se pode ver na função acima.

OBS.: É comum encontrar-se na literatura a f.d.p. da v.a. Weibull escrita em uma forma diferente da clássica, que é a definida anteriormente.

Esta forma diferente ocorre quando se faz $\beta = a$ e $\alpha = \frac{1}{b^a}$, obtendo-se

$$f_X(x) = \frac{a x^{a-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a}}{b^a}, x > 0, a > 0, b > 0$$

e) Distribuição "t" de Student

Sejam as v.a.'s $Z \sim N(0,1)$ e $U \sim \chi_v^2$, então a v.a. $T = \frac{Z}{\sqrt{\frac{U}{v}}}$ tem

distribuição t_v , onde v é o número de graus de liberdade. A estatística $\frac{(x-\mu)}{s}$, onde $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ tem distribuição t com um número de graus de liberdade (G.L's) igual ao denominador de s^2 (estimador de σ^2). A esperança e a variância da v.a. T são dadas por:

$$E(T) = \mu = 0 \text{ e } V(T) = \frac{n}{n-2}$$

A diferença básica entre a distribuição t de Student e a distribuição Normal Padrão é a de que a variância da t é um pouco maior, como se pode observar na expressão da variância de T .

2.3.2.3 Amostragem da Distribuição de Bernoulli

Seja a amostra aleatória de tamanho n , $[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]$, tomada de um processo que segue a distribuição Bernoulli com probabilidade de sucesso θ ($0 < \theta < 1$). Dessa amostra pode-se obter a variável aleatória (estatística)

$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, que é o estimador do parâmetro θ e sabe-se que o numerador dessa estatística $\sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = Y$ é uma variável aleatória com distribuição Binomial com parâmetros n e θ .

$$Y \sim b(n; \theta)$$

A média da variável aleatória \bar{x} , quando \bar{x} é obtida de uma amostra aleatória de um processo Bernoulli, é igual ao parâmetro θ , $E(\bar{x}) = \mu = \theta$ e a variância é dada por:

$$V(\bar{x}) = \sigma^2 = \frac{\theta(1-\theta)}{n}.$$

2.3.2.4 Amostragem da Distribuição de Poisson

Seja a amostra aleatória de tamanho n , $[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]$, tomada de uma distribuição de Poisson com parâmetro θ . Da amostra tem-se a estatística

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{y}{n}$$

onde y é uma variável aleatória igual a somatória do numerador. A variável aleatória $y = \sum_{i=1}^n x_i$ com $x_i \sim P(\theta)$ (distribuição de Poisson com parâmetro θ) também tem distribuição de Poisson, mas com parâmetro igual a $n\theta$, $y \sim P(n\theta)$. A média de \bar{X} é o parâmetro θ , $E(\bar{X}) = \mu = \theta$ e a variância é

$$V(\bar{X}) = \sigma^2 = \frac{\theta}{n}.$$

2.3.2.5 Estimação dos Parâmetros das Distribuições

2.3.2.5.1 Introdução

Para se estimar os parâmetros (desconhecidos) de uma distribuição de probabilidade $f(X)$, deve-se tomar uma amostra aleatória dessa distribuição e usar estatísticas oriundas da amostra para se construir os estimadores. Suponha que se deseja estimar o verdadeiro diâmetro de um mancal (parâmetro μ) e também o desvio-padrão σ das peças fabricadas. O procedimento estatisticamente correto é tomarmos uma amostra aleatória composta por n mancais. Para se falar com números, seja $n = 25$ mancais. É claro que se mediu os diâmetros dos mancais, encontrando-se $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$. Da amostra tem-se a média amostral, por exemplo:

$$\bar{x} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} x_i = 1,500$$

A média amostral \bar{x} é usada para a estimação pontual do parâmetro $\mu = E(X)$, então uma boa avaliação pontual da média do processo é 1,500. A amostra aleatória forneceu ainda uma variância amostral

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,0016$$

resultando um desvio-padrão $s = 0,04$. Estas estimativas dos parâmetros μ e σ são consideradas muito boas, pelas qualidades dos estimadores usados (\bar{x} e s).

2.3.2.5.2 Qualidade dos Estimadores

Uma estatística para ser considerada um bom estimador deve possuir as seguintes propriedades:

1ª) O estimador deve ser **não-viciado** ou seja, se a estatística T é um estimador não-viciado do parâmetro θ então a esperança matemática (média) de T deve ser igual ao parâmetro θ .

$$E(T) = \theta$$

Isto significa que como T é uma variável aleatória, logo tem uma distribuição de probabilidade, a média da distribuição de T é o próprio parâmetro θ a ser estimado. A distribuição de T tem centro em θ .

Exemplo: A média amostral $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ é um estimador não-viciado do parâmetro populacional μ da $N(\mu; \sigma^2)$, pois $E(\bar{x}) = \mu$.

2ª) O estimador deve ser preferencialmente de mínima variância (**eficiente**) ou seja, entre todos os estimadores existentes do parâmetro θ deve-se utilizar aquele cuja distribuição tenha a menor variância.

Exemplo: A variância amostral $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ é um estimador de mínima variância para o parâmetro populacional σ^2 da $N(\mu; \sigma^2)$.

3ª) O estimador deve ser **consistente** ou seja, a medida que se aumenta o tamanho da amostra, n , a diferença entre o estimador e o parâmetro diminui, chegando a coincidência quando n é o tamanho da população.

4ª) O estimador deve ser **suficiente** ou seja, o estimador é função de uma estatística que resume todas as informações que a amostra aleatória tem sobre o parâmetro.

Exemplo:

A média aritmética \bar{x} é função de $\sum_{i=1}^n x_i$ que é a estatística que resume todas as informações sobre o parâmetro μ que a amostra traz.

Todos os estimadores em uso na estatística são consistentes e suficientes. Muitos são não-viciados e de variância mínima. Um estimador que é não-viciado e de variância mínima é chamado de UMVU (uniformly minimum-variance unbiased) ou seja "não-viciado uniformemente de mínima variância".

2.3.2.5.3 Estimadores dos Parâmetros das Principais Distribuições

O quadro abaixo apresenta os parâmetros das principais distribuições usadas em Controle Estatístico de Qualidade e os seus estimadores: Estimador Uniformemente de Mínima Variância Não-viciado (UMVU), Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV) e Estimador pelo Método dos Momentos[MM].

Distribuição	Parâmetro	estimador	Tipo do estimador
Bernoulli	$\mu = \theta$	\bar{x}	UMVU, EMV
Binomial	$\mu = n\theta$ $\sigma^2 = n\theta(1-\theta)$	$n\bar{x}$ $x(n-x)/(n-1)$	UMVU
Hipergeométrica se $x(N+1)/n$ não int. se $x(N+1)/n$ int se $x(N+1)/n$ int.	tam. pop. N D D D	nD/x $[x(N+1)/n]$ int $x(N+1)/n$ $x(N+1)/n-1$	EMV
Poisson	$\mu = \theta$	\bar{x}	UMVU, EMV
Normal	μ σ^2 σ^2	\bar{x} s^2 $\hat{\sigma}^2$	UMVU, EMV UMVU EMV
Exponencial	$\mu = 1/\theta$ $\mu = \theta$	$1/\bar{x}$ \bar{x}	UMVU, EMV UMVU, EMV
Gama	$\mu = \alpha/\beta$ $\mu = \alpha$ $\mu = \beta$	\bar{x} $(\bar{x}^2 / \hat{\sigma}^2)$ $(\bar{x} / \hat{\sigma}^2)$	UMVU M.M M.M.

2.3.2.6 Variação num Processo

2.3.2.6.1 Introdução

Em geral as características de um produto manufaturado apresentam **variabilidade**. Isto se deve a flutuações na qualidade dos materiais usados e de variações nas condições de operação do processo de produção. A seguir abordaremos as causas dessa variabilidade.

2.3.2.6.2 Causas da Variabilidade

Diversos fatores podem contribuir para a variação no nível de defeitos encontrados num processo. Podem ser, por exemplo, irregularidade no material utilizado na produção (a madeira p.ex. não é perfeitamente uniforme), temperatura, manutenção do equipamento, estado físico dos operadores, etc.. Estes fatores, que podem ser identificados, chamam-se **fatores particulares** ou **causas especiais de variação**. Mesmo eliminando-se todos esses fatores particulares, o processo ainda irá produzir artigos defeituosos. Isto ocorre devido a existência dos **fatores inerentes** ao processo, os quais não são identificáveis. Quando se elimina um a um os fatores particulares de variação, o gráfico de controle mostrará somente a **variação aleatória** causada pelos fatores de variação inerentes ao processo. Neste caso, o processo será estável, ou, de acordo com a terminologia criada por [SHEWHART, 1980], o processo estará sob controle. O gráfico mostrará então um **processo aleatório estacionário**. Quando se consegue atingir a estabilidade, eliminando-se as causas especiais, pode-se construir os **limites de controle**, que delimitam uma região onde com uma grande probabilidade o processo irá operar. Estes limites determinam a chamada **capacidade do processo**.

2.3.2.6.3 Detalhamento da Base Estatística dos Gráficos de Controle

A) LIMITES DE CONTROLE

Seja um processo onde determinada característica do produto tem média fixada em $\mu = 74$ mm e desvio-padrão $\sigma = 0,01$ mm. A estatística representada no gráfico será a média amostral \bar{X} (por exemplo), então trabalhando-se com a distribuição de probabilidade tem-se:

$$E(\bar{X}) = \mu, \quad V(\bar{X}) = \frac{\sigma^2}{n} \quad \text{e} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Se o processo está sob controle, variando apenas por força dos fatores inerentes ao processo (não identificáveis), espera-se que:

$$P(LIC \leq \bar{X} \leq LSC) \geq 1 - \alpha$$

onde α é um número arbitrário, mas fixo e pequeno, da ordem de 1%. Os limites LIC (limite inferior de controle) e LSC (limite superior de controle) são chamados de limites probabilísticos e a probabilidade de uma observação da v.a. \bar{X} situar-se fora desses limites é muito pequena, dado o valor de α . Sendo assim quando ocorrer de uma observação situar-se fora dos limites de controle, isto terá como causa um fator particular (identificável) de variação. É claro que a observação poderá ficar fora dos limites por obra do acaso, mas isto é pouco provável dado α . Uma alternativa para se construir os limites de controle é defini-los em termos de múltiplos do desvio-padrão da v.a. plotada no gráfico (no caso está-se considerando \bar{X}),

$$LIC = \mu_{\bar{x}} - k\sigma_{\bar{x}} \quad \text{e} \quad LSC = \mu_{\bar{x}} + k\sigma_{\bar{x}}$$

onde k é uma constante positiva. Um valor muito usado para k é 3 e tem-se então os limites a 3 desvios padrões. Estes limites podem ser

construídos mesmo nas situações onde a distribuição de probabilidade da v.a. X **não seja conhecida**. Quem garante este fato é a chamada **Desigualdade de Tchebychev**:

$$P(|X - \mu| \geq \varepsilon) \leq \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2} \quad \forall \varepsilon > 0$$

Veja que se fizermos $\varepsilon = k\sigma$ tem-se na desigualdade

$$P(|X - \mu| \geq k\sigma) \leq \frac{\sigma^2}{k^2\sigma^2} \quad \text{e} \quad P(|X - \mu| \geq k\sigma) \leq \frac{1}{k^2}$$

Quando se quer limites de 3 desvios padrões tem-se:

$$P(|X - \mu| \geq 3\sigma) \leq \frac{1}{3^2}$$

$$P(|X - \mu| \geq 3\sigma) \leq 0,1111$$

Considerando a situação onde $\mu = 74,0$ mm é a média da v.a. que está associada com a variável de qualidade e $\sigma = 0,01$ mm é o seu desvio padrão, tem-se para \bar{x} de amostras aleatórias com tamanho $n = 5$ observações tomadas de hora em hora do processo, as estatísticas seguintes:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,01}{\sqrt{5}} = 0,0045$$

$$\text{LIC} = 74,0 - 3 \cdot 0,0045 = 73,9865$$

$$\text{LSC} = 74,0 + 3 \cdot 0,0045 = 74,0135$$

que são os limites de controle a 3 desvios padrões.

A Seguir, uma ilustração apresentando um gráfico de Controle \bar{X} com dados reais e com os limites de 3 desvios padrões.

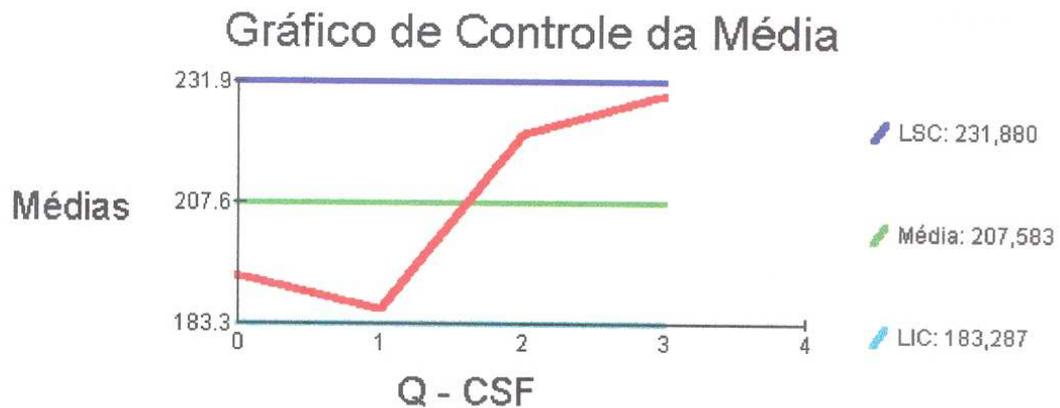


Figura 9 - Exemplo de Gráfico \bar{X} .

B) LIMITES DE CONTROLE, LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E LIMITES NATURAIS DE TOLERÂNCIA

Os limites de controle, LIC e LSC, são estabelecidos com base na variabilidade do processo (medida pelo desvio-padrão σ) e se referem a estatística (v.a.) plotada no gráfico. Já os limites da especificação, LIE e LSE, foram estabelecidos para a característica do produto (v.a. X) que está sendo observada (amostrada) e foram definidos externamente. Eles são em geral fixados pela Administração, pelos Engenheiros de Projeto, pelos Engenheiros de Produção e pelos "designers". Veja que algum conhecimento (pelo menos uma idéia) da variabilidade do processo é fundamental no estabelecimento das especificações. Mas, não existe nenhum relacionamento estatístico ou matemático entre os limites de controle para \bar{X} e os limites de especificação do produto.

Os denominados Limites Naturais de Tolerância são os valores $\mu - 3\sigma$ e $\mu + 3\sigma$, onde μ é a média e σ é o desvio-padrão da v.a. observada X . É sempre desejável que os limites naturais de tolerância situem-se entre os limites da

especificação e este deve ser o objetivo fundamental da Engenharia de Qualidade.

2.3.2.7 Procedimentos Gráficos e Outras Técnicas Úteis no Estudo da Variabilidade de Processos

Na identificação e análise dos problemas que podem surgir em um processo, as técnicas usadas são as seguintes:



Figura 10 - Quadro mostrando técnicas para identificação e análise do problema

A) FLUXOGRAMA

O Fluxograma é uma representação gráfica mostrando todas as fases do processo. O Fluxograma do processo dá uma visão geral de todos os passos do processo. Pode ser aplicado a qualquer caso: fluxo de materiais, fases da operação de vendas, fornecimento do produto, etc. Na identificação do problema no processo, as pessoas com maior conhecimento das fases se reúnem para:

- 1) Desenhar o Fluxograma atual do processo;
- 2) Desenhar o Fluxograma das etapas que o processo deveria seguir se tudo ocorresse bem;
- 3) Comparar os dois gráficos para verificar onde diferem entre si, pois aí estará a raiz do problema.

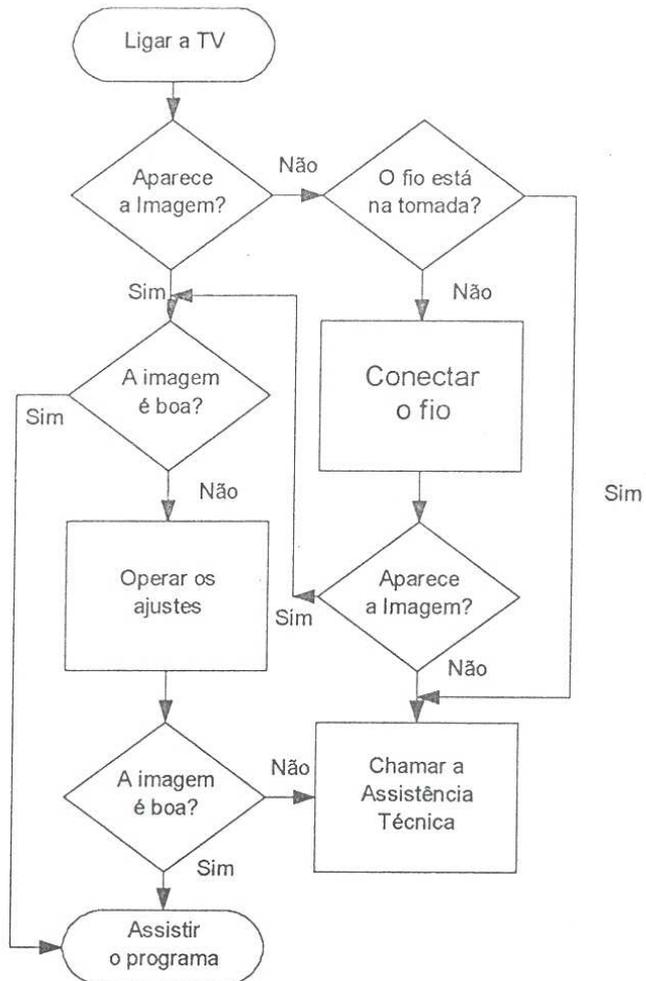


Figura 11 - Fluxograma mostrando um exemplo do cotidiano.

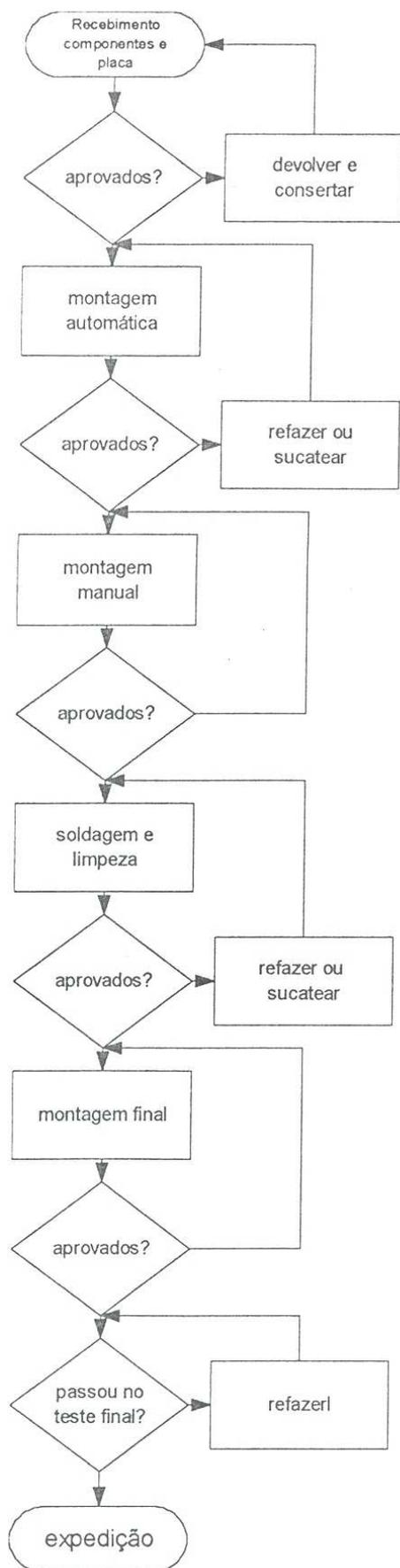


Figura 12 - Exemplo clássico na Indústria.

B) FOLHA DE VERIFICAÇÃO

A folha de verificação é um procedimento usado para responder a pergunta: "com que frequência certos eventos acontecem?". Para uso desta técnica deve ser estabelecido claramente o seguinte:

- fixar qual evento está sendo estudado
- definir o período durante o qual os dados serão coletados
- construir um formulário claro e de fácil manuseio
- coletar os dados honestamente

Defeito	Mês			Total
	1	2	3	
dimensão	II	II	I	5
Acabamento	I	I	I	3
peso	IIII	II	III	9
Total	7	5	5	17

C) BRAINSTORMING

São reuniões com o pessoal envolvido com o problema em estudo a fim de se coletar opiniões sobre causas, bem como soluções possíveis. Existem dois tipos de "brainstorming":

1º) Estruturado

Nesta forma, cada pessoa do grupo dá a sua idéia em cada rodada ou "passa" até que chegue a sua próxima vez. Isto obriga até os mais tímidos a participarem, contudo pode criar certa pressão sobre as pessoas.

2º) Não estruturado

Nesta forma, os membros do grupo simplesmente dão as idéias conforme elas surgem em suas cabeças. Isto cria um ambiente mais relaxado, porém existe o risco da reunião ser dominada pelos mais extrovertidos.

Existem algumas regras que devem ser lembradas:

Nunca criticar idéias.

Escrever em um quadro-negro ou branco todas as idéias. A visão global das idéias servem de estímulo para novas propostas e também evita mal-entendidos.

Escrever as palavras do participante e não a sua interpretação.

Fazer um "brainstorming" rápido, 5 a 15 minutos são suficientes.

D) TÉCNICA NOMINAL DE GRUPO

Quando se aborda algum problema ou a forma de atacar o problema, geralmente ocorre que a seleção do problema foi influenciada por pessoas que falaram mais alto ou têm maior autoridade. Isto cria o sentimento no grupo de que o "seu" problema nunca será abordado. Isto pode gerar uma falta de comprometimento com a solução do problema escolhido e também a idéia de que foi escolhido o problema "errado". A Técnica Nominal de Grupo permite a todos os membros do grupo uma igual participação na seleção de problemas. Esta técnica consiste das seguintes etapas:

1ª) Cada membro do grupo deve escrever ou falar sobre o problema que julgar mais importante. Depois que todos escreverem a sua escolha de problemas recolha o papel com os problemas.

2ª) Escreva os problemas descritos onde todos possam ver. Se houver duplicidade combine-os em um só, mas de acordo com os autores.

3ª) Peça para cada membro do grupo ordenar os problemas pelo grau de importância crescente, segundo o critério de cada um.

Problema	Classificação (Supondo existir 5 pessoas no grupo)
A	3 5 2 3 3 = 16
B	1 1 1 2 1 = 06
C	2 2 3 1 2 = 10
D	5 4 4 5 4 = 22
E	4 3 5 4 5 = 21

O problema cuja soma dos pontos for a mais alta é o escolhido, primeiramente. Da mesma forma, se ao invés de problemas o que se pediu foi sugestões, idéias, a mais votada deve ser considerada primeiro para discussão e depois as seguintes. No exemplo acima o problema (idéia) a ser discutido primeiro é o D.

E) ANÁLISE DO CAMPO DE FORÇAS

Toda vez que se pretende fazer mudanças, sejam pessoais ou organizacionais, existem **forças indutoras e forças restritivas** agindo a favor e contra, respectivamente. É um processo dinâmico. Quando ocorrem mudanças é porque as "forças indutoras" são superiores às "forças restritivas". Assim, pode-se listar estas possíveis forças e analisa-las. Seja o exemplo do cotidiano "perder peso":

FORÇAS INDUTORAS	FORÇAS RESTRITIVAS
Ameaça à saúde	perda de tempo
Obsessão em emagrecer	tendência da família
Roupas apertadas	faltas de recursos para "malhar"
Embaraço pelo peso	costume de açúcar nos alimentos
Imagem negativa	anos de alimentação errada.

A Análise do Campo de Forças ajuda a promover mudanças por que força as pessoas a pensarem juntas sobre todos os aspectos da mudança

pretendida, incentiva o pensamento criativo, encoraja as pessoas a chegar a um consenso sobre a prioridade relativa às forças de um lado e do outro do campo e finalmente é um ponto de partida para a ação.

F) HISTOGRAMA

O histograma dá informações gerais sobre a distribuição de onde vieram as observações. A forma (o padrão, o aspecto) da distribuição é simétrica? É assimétrica? Existe somente um pico? O histograma, também, dá uma idéia da dispersão dos dados. Por natureza o histograma é um gráfico em colunas (barras) e pode se construído com barras horizontais ou verticais. Os dados abaixo correspondem a variável da espessura da fibra da madeira.

9,10	7,30	9,10	7,70	6,70	8,50	7,30	7,10	6,30	6,01	8,92
8,70	7,60	8,70	7,10	6,90	8,10	8,50	8,50	7,80	5,88	6,29
8,70	8,80	7,00	9,60	8,00	7,90	7,60	7,30	6,60	7,44	
9,20	6,80	8,40	8,70	9,50	9,70	8,50	7,50	7,30	6,18	
9,20	7,50	6,80	7,90	8,10	7,20	10,20	8,30	8,40	6,15	
8,60	8,30	8,10	8,40	8,10	9,30	8,10	8,60	6,80	6,66	
9,30	7,50	7,80	8,00	8,10	8,90	7,00	9,90	7,10	8,08	
8,30	7,80	9,40	7,90	8,30	7,90	9,10	8,00	6,80	7,54	
8,50	7,60	8,00	7,90	7,60	9,00	8,20	7,90	7,00	6,66	
7,80	8,10	8,80	8,20	7,30	8,20	8,80	7,70	6,50	6,97	
8,40	6,50	7,60	8,10	9,30	8,20	8,00	8,90	6,40	6,54	
8,50	7,60	8,00	7,20	8,20	7,50	8,50	8,40	7,70	6,97	
9,20	8,50	7,80	7,40	8,50	8,60	8,00	7,80	7,00	6,58	
8,00	6,90	7,50	7,20	7,70	6,90	8,50	8,20	7,90	6,29	
8,80	7,80	7,90	7,70	9,70	7,90	8,10	6,80	7,30	6,25	
8,30	8,10	7,20	7,80	8,10	7,80	8,60	8,70	8,20	5,54	
7,90	9,60	8,50	7,80	9,90	8,00	7,30	8,90	7,58	6,76	
8,00	7,30	9,00	6,60	9,20	8,90	8,50	7,20	6,93	6,34	

Tabela 1 - Fonte Pisa :Variável Espessura da fibra da Madeira 23/07/1998 - 31/04/1999

Uma descrição dos dados feita pelo sistema desenvolvido é:

Variável: espessura da fibra - Madeira

Tamanho da amostra	182
Média	7.894
Mediana	7.900
Desvio padrão	0.899
Erro padrão	0.067
Mínimo	5.540
Máximo	10.200
Amplitude	4.660
Variância	0.809

O histograma dos dados da espessura da fibra da madeira fornecido pelo sistema desenvolvido é:

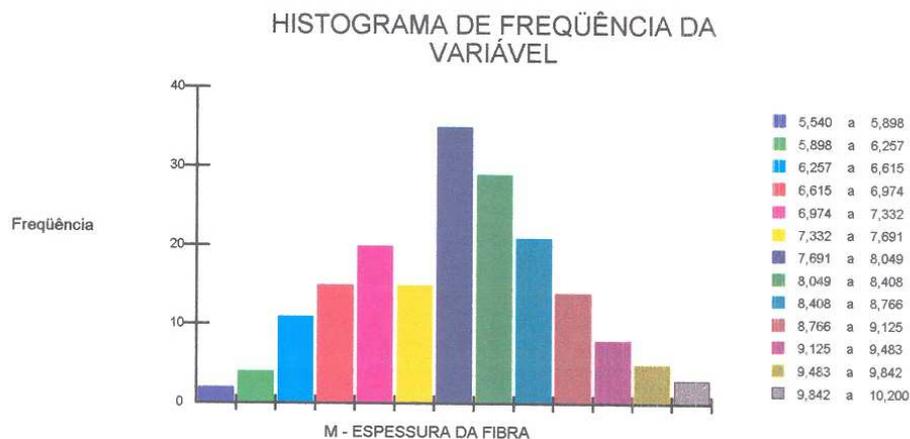


Figura 13 - Histograma da Variável Espessura da Fibra (Madeira)

Analisando-se a descrição numérica e gráfica dos dados conclui-se que:

A espessura mais comum da fibra está no intervalo de 7,691 a 8,049.

A distribuição é simétrica, observando o histograma vemos que ela é simétrica, pois a maior parte das espessuras situam-se no intervalo de 6,257 a 9,483mm. Poucos valores situam-se acima de 9,483 e poucos valores situam-se abaixo de 6,257.

A amplitude da dispersão dos dados é $R = X_{[n]} - X_{[1]} = 10,2 - 5,54 = 4,66$

G) DIAGRAMA DE PARETO

O diagrama de Pareto é um gráfico para indicar qual problema, relacionado com a variabilidade dos dados, deve ser solucionado primeiro afim de se eliminar não conformidades e melhorar o processo. Existem muitos aspectos da produção que podem ser melhorados, tais como: número de defeituosos, tempo de execução de tarefas, etc. Devido a quantidade de pequenos problemas é difícil se saber por onde começar. O diagrama de Pareto é uma ajuda neste sentido e é o primeiro passo na direção do melhoramento do processo. A seguir apresentamos duas figuras com gráficos de Pareto antes do aperfeiçoamento de um processo e depois do aperfeiçoamento, a fim de ilustrar o texto.



Figura 14 - Exemplo de Diagrama de Pareto antes do Controle Estatístico do Processo



Figura 15 - Exemplo de Diagrama de Pareto Após Acompanhamento Estatístico do Processo

O Diagrama de Pareto revela se uma tentativa de aperfeiçoamento produziu resultado positivo, pois ele mede o impacto do aperfeiçoamento. Isto pode ser visto nos diagramas anteriores. Pelo diagrama a administração do processo inspecionou os fatores que poderiam causar o defeito A. Perguntou-se aos trabalhadores cujas tarefas estavam relacionadas com estes fatores se existia algum problema ou necessidade no seu trabalho. Os trabalhadores foram levados a se engajar na solução do problema de muitos defeituosos Tipo A. Sugestões surgiram e após a implantação das inovações tem-se o segundo diagrama. Os outros tipos de defeitos também foram atacados, nas circunstâncias de cada um. O segundo diagrama reflete o resultado final e pode-se observar que:

- número de defeituosos diminuiu após o melhoramento;
- geralmente quando o melhoramento é eficaz a ordem das barras no diagrama é trocada.

H) DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

É um método gráfico para auxiliar a análise de problemas que facilita a identificação das causas de variação da característica de qualidade em questão. A configuração do Gráfico de Causa e Efeito permite separar organizadamente as quatro principais causas de variação: máquina, método de trabalho, materiais e mão-de-obra (o meio ambiente também pode ser a 5ª causa de variabilidade)

a) Materiais

- Matéria-prima não homogênea.
- A matéria-prima difere levemente na composição conforme seja a fonte de suprimento e diferenças no tamanho podem ocorrer dentro de limites aceitáveis;

b) Máquinas

- Desgaste, uso inadequado ou falta de ajuste em ferramentas, máquinas ou equipamentos.
- O equipamento pode parecer estar funcionando uniformemente, mas suas partes podem estar de alguma forma com pequenos desajustes, gastas ou não ser apropriadas para aquele uso.

c) Método

- A Falta de padronização no método de trabalho.
- O método de trabalho, embora programado de acordo com o processo prescrito, pode conduzir a variações no produto;

d) Mão-de-obra

- Os operadores podem não estar adequadamente preparados para as tarefas.
- Diagrama de Causa e Efeito, mostrado a seguir, é feito no início das operações no sentido de se aperfeiçoar o processo.

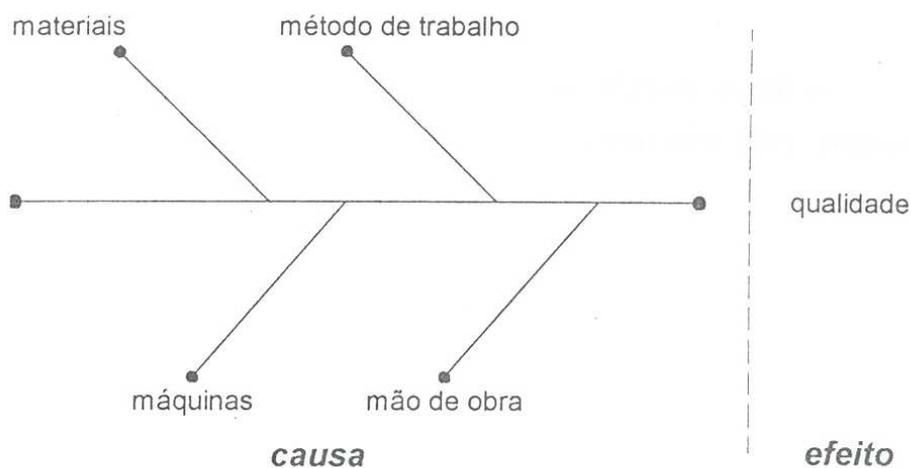


Figura 16 - Diagrama de Causa e Efeito.

O Diagrama de Causa e Efeito é útil na ordenação das causas da variabilidade. A construção deste diagrama pode seguir os passos seguintes:

1º) Determinar a característica de qualidade de interesse. Trata-se da característica que se deseja melhorar ou controlar. Suponha que se está interessado em "defeitos na pintura" de um bem de consumo.



2º) Relacione os principais fatores que podem causar a falha como galhos do tronco principal



Figura 17 - Exemplo de Aplicação do Diagrama de Causa e Efeito.

Uma vez construído o Diagrama de Causa e Efeito deve-se analisar todas as causas, quantificar o grau de intensidade das possíveis causas e partir para eliminação dessas causas.

2.3.2.8 Gráficos de Controle e o Aperfeiçoamento do Processo

2.3.2.8.1 Introdução

Como já se disse, pode-se obter o aperfeiçoamento de um processo de produção de duas maneiras:

- 1ª) Eliminação de um fator particular (causa especial) de variação.
- 2ª) Alteração na estrutura do processo.

Os fatores particulares de variação são detectados por pontos fora dos limites de controle ou pela presença de um comportamento sistemático, não aleatório, no gráfico de controle. Um dos principais objetivos no Controle de Qualidade é a redução da variabilidade no produto. Os fatores particulares são o motivo principal da falta de uniformidade dos itens produzidos. Só existe um modo seguro e com base científica de se descobrir as causas da variabilidade ou seja de identificar fatores particulares de variação, é a aplicação de Técnicas Estatísticas. É importante levar em conta que alterações no processo com o objetivo de melhorar a performance do produto só devem ser executadas quando ele se encontra sob controle. Caso contrário, os efeitos das modificações poderão ficar camufladas pela presença de causas especiais de variação.

2.3.2.8.2 Aplicações dos Gráficos de Controle

As aplicações fundamentais dos Gráficos de Controle são:

1ª) Verificar se em determinado período um processo estava sob controle. Isto é feito examinando-se o gráfico correspondente ao período de interesse.

2ª) Orientar a Administração na manutenção do processo sob controle. Se o processo está sob controle é possível ignorar a flutuação caótica das observações, exceto no caso de ser notado alguma observação fora dos limites de controle. É claro que deve-se olhar com atenção a ocorrência de uma tendência (um padrão) em alguma direção. Isto é indicação de que alguma coisa além do acaso está influenciando o valor das observações.

O objetivo principal dos Gráficos de Controle é como se viu do exposto anteriormente fornecer informações úteis no aperfeiçoamento do processo. Quando se atinge o controle estatístico do processo tem-se várias vantagens, tais como:

- fração de defeituosos permanece constante (na média)
- custos e índices de qualidade serão previsíveis
- produtividade será máxima com o sistema corrente etc.

Existem várias razões para o uso dos Gráficos de Controle, tais como:

1ª) O Gráfico de Controle é uma técnica para melhorar a produtividade, pois: reduz desperdício de insumos, de retrabalho e conseqüentemente aumenta a produtividade, diminui os custos e finalmente a capacidade de produção aumenta (medida em números de artigos bons por hora).

2ª) O Gráfico de Controle é eficaz na prevenção de defeituosos, pois ajuda a manter o processo sob controle e portanto coerente com a filosofia “faça certo na 1ª vez”. Se a empresa não tem um processo eficiente, você está pagando alguém para produzir artigos inadequados.

3ª) O Gráfico de Controle impede ajustamentos desnecessários no processo, pois distingue entre ruído aleatório e variação anormal. Nenhum outro meio, inclusive o operador humano, é eficiente nesta distinção. Se o

processo é ajustado sem base no Gráfico de Controle, freqüentemente, o que ocorre é um aumento da variância do ruído aleatório e isto pode resultar na deterioração da performance do processo. Assim, o Gráfico de Controle é coerente com a filosofia "se ele não está quebrado, não o conserte".

4ª) O Gráfico de Controle fornece informações para que o operador faça um diagnóstico sobre o processo, podendo conduzir a implementação de uma mudança que melhore o desempenho do processo.

5ª) O Gráfico de Controle fornece informação sobre a capacidade do processo, pois traz informações sobre o valor de importantes parâmetros do processo e sua estabilidade no tempo e, assim uma estimativa da capacidade do processo pode ser feita. Esta informação é muito útil para quem projeta o produto e o processo.

2.3.2.8.3 Tipos de Gráficos de Controle

Um Gráfico de Controle varia conforme os dados que ele contenha. Conforme a característica investigada seja uma v.a. contínua ou discreta tem-se um tipo de gráfico. De forma que, se os dados são contínuos ele deverá ser construído com a média amostral, \bar{X} , e com a amplitude amostral, R . Já com dados discretos deve-se trabalhar com as estatísticas amostrais número de defeituosos ($n\hat{\theta}$) e com a fração de defeituosos $\hat{\theta}$. Desta forma podemos classificar os Gráficos de Controle nas categorias:

a) Gráficos de Controle por Atributos

b) Gráficos de Controle por Variáveis

No Gráfico de Controle por Atributos um produto é classificado como possuindo ou não um atributo ou qualidade. Assim, o produto atende ou não a uma especificação. Os itens que não satisfazem a especificação são denominados defeituosos. Muitas vezes o interesse da Administração está na

fração de unidades defeituosas em produção. Por outro lado, freqüentemente está-se interessado na evolução de uma característica quantitativa (diâmetro de um pino por exemplo). Neste caso trabalha-se com o Gráfico de Controle por Variáveis. Na verdade existem vários tipos de Gráficos de Controle, contudo com aplicação menos freqüente do que os tipos citados acima.

A) GRÁFICOS DE CONTROLE POR VARIÁVEIS

No acompanhamento de um aspecto quantitativo da qualidade, em geral, se controla tanto o valor médio daquele como sua variabilidade, através de gráficos separados. O controle do valor médio do desempenho do processo é feito através do gráfico médio (Gráfico \bar{x}). A variabilidade do processo é controlada pelo gráfico do desvio-padrão (Gráfico s) ou, o que é mais comum pelo gráfico da amplitude (Gráfico R). Deve-se manter sob controle tanto o desempenho médio como a variabilidade do processo.

A1) Gráfico \bar{X}

Suponha que a característica de qualidade que se pretende controlar tenha uma distribuição Gaussiana com média μ e desvio-padrão σ , ambos conhecidos. Na prática não se conhece os parâmetros μ e σ . Deve-se estima-los a partir de uma amostra em um período anterior quando o processo está sob controle. O tamanho de uma amostra para este tipo de estimativa deve ser de 20 a 25 observações. E, como a estatística pivô z , abaixo, tem distribuição Normal Padrão $N(0,1)$

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

tem-se que

$$P(-z_{1-\alpha/2} \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \leq z_{1-\alpha/2}) = 1 - \alpha$$

$$P\left(\bar{x} - z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha.$$

que é o intervalo de confiança de nível $1 - \alpha$ para o parâmetro μ a média do processo.

Portanto, pode-se usar os limites do intervalo de confiança como limites de controle para a média,

$$\text{LIC} = \bar{x} - z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{LSC} = \bar{x} + z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Suponha, agora que m amostras aleatórias de tamanho n são disponíveis ou seja tem-se m amostras com n observações cada uma. A magnitude de n é da ordem de 4, 5 ou 6 observações. Das m amostras obtêm-se as médias amostrais:

$$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_m$$

e também a média amostral global, considerando todas as $m \cdot n$ observações

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m}$$

Deste modo $\bar{\bar{X}}$ é o melhor estimador da média do processo μ .

O valor do escore padronizado, em geral, é fixado em 3 para se ter os limites a 3σ (três desvios padrão), $z_{1-\alpha/2} = 3$. Agora, para se construir os limites de controle está faltando apenas a estimativa do desvio-padrão σ . Em controle de qualidade é tradicional estimar-se o desvio-padrão usando-se a amplitude amostral R , ao invés da expressão baseada em s^2 . É claro que o estimador s também pode ser usado. No caso da estimativa com base na amplitude amostral, se X_1, X_2, \dots, X_n é a amostra de tamanho n , então a amplitude da

amostra, R , é dada pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo da amostra, isto é:

$$R = x_{(n)} - x_{(1)}$$

A amplitude da amostra de uma distribuição Normal, R , e o desvio-padrão da distribuição, σ , têm um relacionamento conhecido:

$$W = R/\sigma$$

Esta variável aleatória W é chamada amplitude relativa e a média da distribuição de W é representada por d_2 . Assim, um estimador do desvio-padrão σ é dado por:

$$\hat{\sigma} = R/d_2$$

O valor de d_2 é função do tamanho da amostra n . Agora, tomando-se m amostras de tamanho n , disponíveis, obtém-se a amplitude amostral média \bar{R} ,

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

e uma boa estimativa de σ é:

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

Mas, por qual razão se usa o estimador de σ , dado acima quando se dispõe de estatística mais eficiente (s)? A resposta é a simplicidade de cálculo e também porque a eficiência de $\hat{\sigma} = R/d_2$ é praticamente a mesma de s quando o tamanho da amostra é baixo ($n < 10$). Finalmente, com as estimativas de todos os parâmetros tem-se os limites de controle:

$$LIC = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

$$LSC = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

A quantidade $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ é uma constante que depende apenas do tamanho da amostra n , logo pode também ser tabelado como d_2 resultando para os limites a forma:

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

Os valores da constante A_2 e da média d_2 da amplitude relativa W são dados na Tabela 8, para os tamanhos de amostras mais usados:

A2) Gráfico R

Como a amplitude R está relacionada com o desvio-padrão do processo σ , a variabilidade do processo pode ser controlada por meio do gráfico dos valores da amplitude amostral R , para sucessivas amostras. Um gráfico deste tipo é denominado Gráfico R. Para se construir os limites de controle há necessidade de se conhecer o desvio-padrão de R , σ_R . Um estimador de σ_R pode ser construído a partir da distribuição da amplitude relativa $W = R/\sigma$, supondo que a característica que se quer controlar tenha distribuição Gaussiana. O desvio-padrão de W é denotado por d_3 e é uma função conhecida do tamanho da amostra n . Então, já que $R = W\sigma$ o desvio-padrão de R é dado pela expressão:

$$\sigma_R = d_3\sigma$$

e como σ é desconhecido se usa o estimador construído anteriormente

$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$, de modo que se tem:

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \bar{R} / d_2$$

Portanto, os limites de controle a 3 desvios padrões (que é o usual), para a amplitude R, são dados por:

$$LIC = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \bar{R} / d_2 = \bar{R} \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \right)$$

$$LSC = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \bar{R} / d_2 = \bar{R} \left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2} \right)$$

e a quantidade entre parênteses pode ser, facilmente, tabelada de modo que se tem:

$$D_3 = \left(1 - \frac{d_3}{d_2} \right) \quad \text{e} \quad D_4 = \left(1 + \frac{d_3}{d_2} \right)$$

e, finalmente, os limites são:

$$LIC = \bar{R}.D_3 \quad \text{e} \quad LSC = \bar{R}.D_4$$

Exemplo : Os dados a seguir referem-se a observações da variável tração do papel.

Amostra	Observações						X_i	R_i
1	20,90	19,30	22,80	21,20	24,50	21,00	21,62	5,20
2	19,80	18,00	15,60	18,60	17,40	24,30	18,95	8,70
3	19,40	19,10	19,90	18,80	16,70	18,90	18,80	3,20
4	16,20	19,50	18,30	17,20	23,20	21,90	19,38	7,00
5	20,90	22,00	21,60	19,10	20,00	18,80	20,40	3,20
6	24,20	22,60	19,30	18,40	21,90	19,60	21,00	5,80
7	19,50	21,00	21,00	17,00	22,40	20,70	20,27	5,40
8	19,30	19,10	16,60	18,90	19,60	18,80	18,72	3,00
9	19,40	17,40	19,30	20,40	16,40	19,60	18,75	4,00
10	17,60	19,10	18,80	23,30	19,10	20,60	19,75	5,70
11	21,90	20,00	20,90	18,60	17,40	20,90	19,95	4,50
12	18,70	21,30	15,90	19,10	19,50	18,60	18,85	5,40
13	19,50	17,90	21,00	22,40	20,10	17,80	19,78	4,60
14	16,80	16,40	18,30	17,20	17,30	16,60	17,10	1,90
15	21,80	19,70	18,60	20,50	23,10	19,80	20,58	4,50

Tabela 2 - Dados da variável Tração ao Grupo Qualidade.

As estatísticas necessárias a construção dos gráficos de controle da amplitude e da média pelo sistema desenvolvido são:

	Gráfico \bar{X}	Gráfico R
Limite Inferior	17,27	0
Média	19,59	4,80
Limite Superior	21,91	9,60

Tabela 3 - Valores Calculados para os Gráficos de Controles.

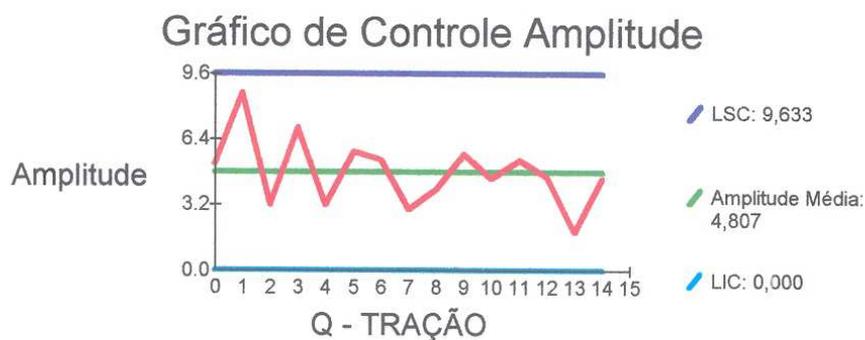


Figura 18 - Gráfico R (Amplitude)- para variável tração.

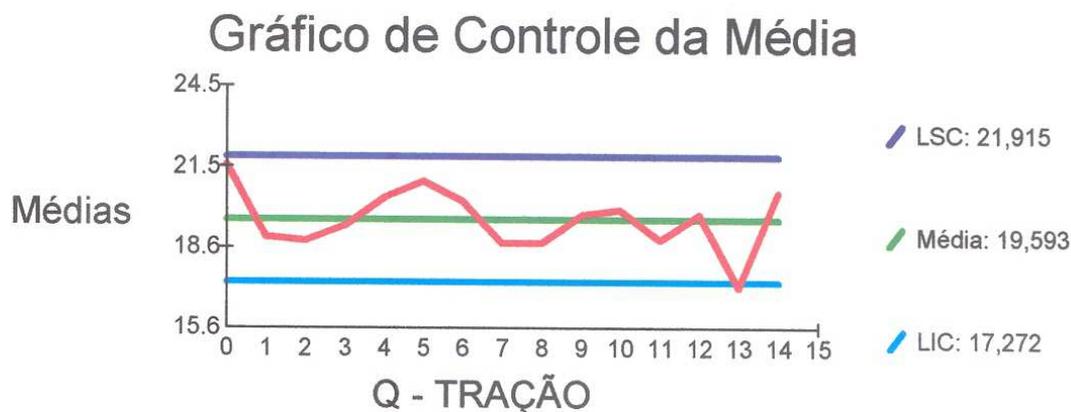


Figura 19 - Gráfico \bar{X} (Média) para a Variável Tração.

Apesar da Figura-18 não ter nenhum ponto fora dos limites de Controle a Figura-19 Indica que o processo está fora de controle no instante 13. Assim, a causa desse fenômeno deve ser investigada e corrigida.

B) GRÁFICOS DE CONTROLE PARA ATRIBUTOS

Muitas vezes, a característica de qualidade não pode ser representada numa forma numérica ou seja os itens produzidos são inspecionados e classificados como conformes (atendem às especificações) ou não-conformes (não atendem às especificações). É comum usar-se a classificação de não-defeituosos e defeituosos quando as exigências de projeto são atendidas ou não. Essas características são chamadas de atributos.

Existem dois tipos de Gráficos de Controle para atributos. O primeiro considera como medida de qualidade a fração de defeituosos produzidos pelo processo e é conhecido como Gráfico P. Já o segundo é usado quando é mais conveniente acompanhar-se o número de defeitos observados por produto, neste caso o gráfico é denominado Gráfico C. Entende-se por fração de artigos defeituosos como a razão entre o número de itens defeituosos e o total de itens. É claro que os itens podem apresentar várias características distintas que são inspecionadas ao mesmo tempo. Se qualquer dessas características estiver fora das especificações de projeto o item é classificado de defeituoso.

B1) GRÁFICO P

A construção do Gráfico de Controle para a proporção de defeituosos é feita com base na distribuição Binomial. Suponha que o processo produtivo esteja operando sob controle ou seja o processo é estável ou melhor todas as causas particulares de variação foram eliminadas. Então, a probabilidade de que um item qualquer seja classificado como defeituoso é $\theta = p$. Esta probabilidade é constante e os itens produzidos são v.a's i.i.d. ou seja independentes, identicamente distribuídas, com distribuição Bernoulli $X_i \sim b(1, p)$. O parâmetro da Bernoulli é p . Quando se toma uma amostra de n unidades do processo e elas são inspecionadas em um dado instante e fixando-se Y como sendo o número de defeituosos existente na amostra, então Y tem uma distribuição Binomial, $Y \sim b(n, p)$, com parâmetros n e p . Estas distribuições já foram estudadas anteriormente.

A fração de defeituosos $\hat{\theta} = \hat{p} = Y/n$ é uma estatística amostral muito importante. Possui média e desvio padrão iguais a

$$\mu_{\hat{p}} = p \text{ e } \sigma_{\hat{p}}^2 = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

O Gráfico de Controle para a proporção de defeituosos pode ser construído das seguintes formas:

1ª) Se a fração de defeituosos é conhecida (ou estimada com base em dados anteriores), p , a linha central é fixada em p

$$LIC = p - 3 \cdot \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$LSC = p + 3 \cdot \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Tomando-se sucessivas amostras de n unidades e calculando-se a fração amostral de defeituosos para cada amostra, obtêm-se os pontos do

gráfico. Se as frações amostrais \hat{p} ficam dentro dos limites e se não aparece nenhum comportamento sistemático, não aleatório, dos pontos no gráfico pode-se concluir, afirmar, que o processo está sob controle.

2ª) Se a fração de defeituosos não for conhecida, ela será avaliada (estimada) a partir de dados observados nos períodos iniciais do processo. Neste caso, deve-se selecionar m amostras de tamanho n . O valor de m , em geral, é de 20 a 25. Assim, o número de defeituosos em cada amostra é Y_i $i = 1, \dots, m$ e a fração amostral de defeituosos é:

$$\hat{p}_i = \frac{Y_i}{n}$$

Os estimadores da média e do desvio-padrão dessa estatística são:

$$\hat{p} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{p}_i \quad e \quad \sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

Portanto, pode-se construir o Gráfico de P usando-se a linha central fixada em \hat{p} e os limites:

$$LIC = \hat{p} - 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

$$LSC = \hat{p} + 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

A seguir apresentamos uma figura com o Gráfico de Controle P para os dados do quadro seguinte:

m=30 n=50

Amostr a	n° def.	fração	Amostr a	n° def.	fração	amostr a	n° def.	fração
1	12	0.24	11	5	0.10	21	20	0.40
2	15	0.30	12	6	0.12	22	18	0.36
3	8	0.16	13	17	0.34	23	24	0.48
4	10	0.20	14	12	0.24	24	15	0.30
5	4	0.08	15	22	0.44	25	9	0.18
6	7	0.14	16	8	0.16	26	12	0.24
7	16	0.32	17	10	0.20	27	7	0.14
8	9	0.18	18	5	0.10	28	13	0.26
9	14	0.28	19	13	0.26	29	9	0.18
10	10	0.20	20	11	0.22	30	6	0.12

a) Analiticamente

As amostras fornecem:

$$\hat{p} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} \hat{p}_i = \frac{1}{30} (0,24 + 0,30 + \dots + 0,12) = 0,2313$$

que é o estimador da verdadeira fração de defeituosos p.

$$\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0,2313(1-0,2313)}{50}} = 0,0596$$

. a linha central é fixa em 0,2313

$$. \text{LIC} = \hat{p} - 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} = 0,2313 - 3 \cdot 0,0596 = 0,0525$$

$$. \text{LSC} = \hat{p} + 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} = 0,2313 + 3 \cdot 0,0596 = 0,4101$$

b) Computacionalmente

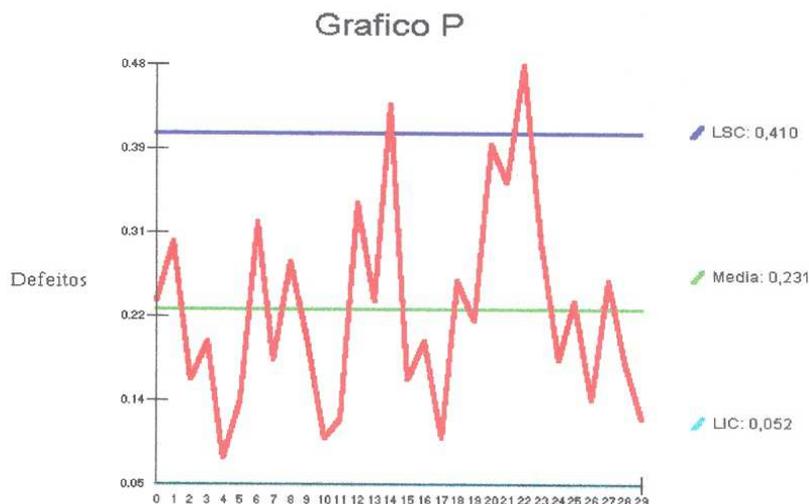


Figura 20 - Exemplo de Gráfico P

No gráfico observa-se que as frações de defeituosos amostrais números 14 e 22 estão acima do limite superior de controle, logo o processo não está sob controle. Estes pontos devem ser investigados afim de se identificar a causa dessa exagerada fração de defeituosos.

B2) GRÁFICOS DE CONTROLE PARA O NÚMERO DE DEFEITOS: C e U

GRÁFICO C

Como se sabe, um artigo é considerado defeituoso quando não satisfaz uma ou várias especificações. Em consequência, um artigo defeituoso irá conter pelo menos um defeito. Em várias situações é perfeitamente possível que uma unidade do artigo contenha vários pontos onde as especificações não foram atendidas. Nas indústrias de produção contínua, como papel, tecidos, etc., é mais razoável a consideração do número de defeitos por unidade do

artigo do que a simples classificação em perfeito/defeituoso. Assim, a construção de gráficos de controle para o número de defeitos segue a distribuição de Poisson. O modelo de Poisson com parâmetro $\theta = c$ para o número de defeitos X observado por unidade do produto é:

$$P(X = k) = \frac{c^k e^{-c}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

A média da v.a. X é o parâmetro c e a variância também é c , logo o desvio-padrão é \sqrt{c} e os limites de controle a 3 desvios padrão serão:

$$LIC = c - 3\sqrt{c}$$

$$LSC = c + 3\sqrt{c}$$

e a linha central é fixada em c . Quando resultar $c - 3\sqrt{c} < 0$ o limite inferior é colocado em zero. Como em geral o parâmetro c é desconhecido, deve-se estima-lo por \bar{x} . A seguir apresentamos uma figura com o Gráfico de Controle C.

Amostra	nº def.	Amostra	nº def.	amostr	nº def.
				a	
1	12	11	5	21	20
2	15	12	6	22	18
3	8	13	17	23	24
4	10	14	12	24	15
5	4	15	22	25	9
6	7	16	8	26	12
7	16	17	10	27	7
8	9	18	5	28	13
9	14	19	13	29	9
10	10	20	11	30	6

A estimativa do parâmetro c é dada pela média amostral.

$$\hat{c} = \bar{x} = \frac{347}{30} = 11,57$$

$$LIC = 11,57 - 3\sqrt{11,57} = 1,37$$

$$LSC = 11,57 + 3\sqrt{11,57} = 21,77$$

A linha central é colocada em 11,57.

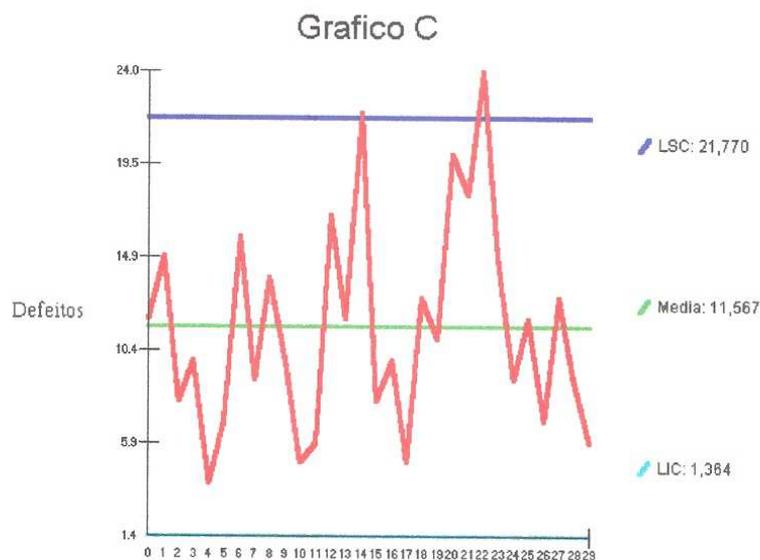


Figura 21 - Exemplo de Gráfico C

GRÁFICO U

No exemplo para o Gráfico C, visto anteriormente, trabalhou-se com um tamanho de amostra igual a unidade de inspeção, 100 unidades. Contudo, poderia ter sido usado várias unidades de inspeção. Supondo que cada ponto do Gráfico de Controle foi obtido com base em n unidades de inspeção, teremos que a v.a. observada Y (número de defeituosos nas n unidades) terá distribuição de Poisson com parâmetro nc (soma de v.a's Poisson com parâmetro θ é Poisson com um parâmetro igual a $n\theta$). Desta forma a distribuição de Y é

$$P(Y = k) = \frac{(nc)^k e^{-nc}}{k!}$$

e se construiria o gráfico da mesma forma que o anterior, a partir deste ponto. Porém, existe uma outra abordagem para o problema. É possível trabalhar-se com o número médio de defeitos por unidade de inspeção. Se Y é o número de defeitos presentes nas n unidades, então o número médio de defeitos por unidade é:

$$U = \frac{Y}{n} \quad Y \sim P(nc)$$

consequentemente os parâmetros da v.a. U são:

$$\mu = E(U) = E\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n}E(Y) = n\frac{c}{n} = c$$

$$\sigma^2 = V(U) = V\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n^2}V(Y) = n\frac{c}{n^2} = \frac{c}{n}$$

O estimador do parâmetro é

$$\hat{c} = \bar{u} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m u_i \quad (\text{média do número médio por unidade em } m \text{ amostras}$$

tamanho n)

então os limites são:

$$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

e a linha de centro é fixada em \bar{u} . O gráfico construído desta forma é chamado de Gráfico do Número de Defeitos por Unidade e denotado por Gráfico U .

2.3.2.9 Análise da Capacidade de Um Processo

2.3.2.9.1 Capacidade do Processo

Capacidade de um processo tem a ver com a uniformidade do processo ou seja tem a ver com a variabilidade do processo, pois a variabilidade é uma medida da uniformidade do processo. Então, entende-se que a capacidade do processo é a sua performance. Os gráficos de \bar{X} e de R fornecem importantes informações sobre a capacidade do processo.

2.3.2.9.2 Razões da Capacidade do Processo

Freqüentemente é conveniente se ter um modo simples de expressar a capacidade de um processo. Uma maneira é usar a RAZÃO DA CAPACIDADE DO PROCESSO (PCR), que já é conhecida,

$$PCR = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$\hat{PCR} = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

A Estatística PCR é também conhecida como Cp, quando o processo só tem um limite de especificação (LSE ou LIE) tem-se a razão da capacidade do processo unilateral:

$$PCR_s = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad \text{somente especificação superior}$$

$$PCR_i = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad \text{somente especificação inferior}$$

A PCR mede a capacidade (habilidade) do processo em produzir de acordo com as especificações. A tabela a seguir dá os valores PCR quando a distribuição da característica de qualidade é normal:

Valores de PCR (Cp) e Número de Defeituosos Esperados (em PPM)		
Distribuição Normal		
PCR	espec. unilateral	espec. bilateral
0.25	226628	453255
0.50	66807	133614
0.60	35931	71861
0.70	17865	35729
0.80	8198	16395
0.90	3467	6934
1.00	1350	2700
1.10	484	967
1.20	159	318
1.30	48	96
1.40	14	27
1.50	4	7
1.60	1	2
1.70	0.17	0.34
1.80	0.03	0.06
2.00	0.0009	0.0018

Tabela 4 - [Montgomery - 1990 Pag 372]

PCR PARA UM PROCESSO NÃO-CENTRADO

O valor da PCR não considera onde a média do processo está localizada com relação às especificações. O valor PCR é uma medida da amplitude das especificações em relação a amplitude 6σ . Pode ocorrer o caso onde em duas distribuições normais tenha-se PCR iguais a 2, porém devido a descentralidade um dos processos tenha na verdade capacidade inferior ao outro. Uma avaliação mais acurada pode ser obtida usando-se a razão da capacidade do processo seguinte:

$$PCR_k = \min(PCR_s, PCR_i) \text{ (Cpk)}$$

Se $PCR_k = PCR$ processo está centrado no ponto médio das especificações

$PCR_k < PCR$ processo não está centrado no ponto médio das especificações

O valor de PCR_k relativamente a PCR é uma medida direta da falta de centralidade do processo.

Capítulo 3 - Material e Métodos

3.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

A obtenção das informações para análise seguiu o experimento delineado segundo os passos descritos abaixo:

1. Fixou-se as fases do processo de fabricação do papel nas quais se tem interesse, neste caso estão as três fases, e identificou-se as variáveis (fatores) correspondentes à cada fase:

Transformação das toras de madeira em cavaco adequado para preparação da pasta (Madeira);

Transformação do cavaco em pasta (Pasta);

Controle de Qualidade(Qualidade).

Em cada uma dessas fases existem variáveis que carregam informações sobre o desempenho do processo completo. São os fatores ou características fundamentais do processo. Assim, pode-se listar:

A) As variáveis que fazem parte da 1ª Fase do processo (Madeira) são:

Densidade básica do cavaco;

Umidade do cavaco;

Teor de resina do cavaco ;

Espessura do cavaco (4mm, 6mm, 8mm e 18mm);

Comprimento do cavaco (finos, palitos, > 45mm e < 45 mm);

Largura da Fibra;

Diâmetro do Lúmen;

Comprimento da fibra;

Espessura da Fibra;

B) As variáveis que representam a 2ª fase do processo (Pasta) são:

Produção;

Cs-04 (consistência da pasta na saída do refinador primário);

Csf -04(Canadian Standard Freeness da pasta na saída do refinador primário);

gap Te -04(Distância entre os Discos do refinador primário durante a operação);

gap De -04(Distância entre os Discos do refinador primário durante a operação);

Pressão hidráulica dos Discos no refinador primário TE-04;

Pressão hidráulica dos Discos no refinador primário DE-04;

Diluição de água no processo do refinador primário;

Pressão de Operação no refinador primário;

Potência aplicada no refinador primário;

CEE(Consumo específico de energia no refinador primário)

Cs-05(Consistência da pasta na saída do refinador secundário);

Csf-05(Canadian Standard Freeness da pasta na saída do refinador secundário);

gap Te-05(Distância entre os discos do refinador secundário durante a operação);

gap De-05(Distância entre os discos do refinador secundário durante a operação);

Pressão hidráulica dos Discos no refinador secundário TE-05;

Pressão dos Discos no refinador secundário DE-05;

Diluição de água no processo do refinador secundário;

Pressão de Operação no refinador secundário;

Potência aplicada no refinador secundário;

CEE(Consumo específico no refinador secundário);

C) As variáveis que representam a 3ª fase do processo (Qualidade) são:

Alvura;
Tração;
Rasgo;
Densidade;
Csf;

2. Escolheu-se os locais para coletar o material amostral, que são:

Cavaco amostrado na esteira de alimentação da indústria ver 1 Figura 22;

Pasta amostrada no refinador primário ver 2 Figura 22;

Pasta amostrada no refinador secundário ver 3 Figura 22;

Pasta para medidas de qualidade na saída do refinador secundário;

3. Fixou-se os horários para coleta do material de forma rigorosa. Foram colhidas duas amostras por dia, com a primeira amostra às 08:30 horas e a segunda às 14:30 horas. Sendo que primeiro coleta-se o cavaco e 30 minutos depois coleta-se a pasta nas saídas dos refinadores. Desta forma mantém-se a correspondência entre a matéria prima que entra no processo e a pasta coletada nas saídas dos refinadores.

4. A empresa definiu e treinou um responsável pela coleta do material amostral.

5. A amostragem foi definida do seguinte modo:

A coleta do cavaco na esteira está melhor descrito no item 3.2 desta dissertação;

Após 30 minutos da coleta do material na esteira, é feita a coleta do material da pasta nas saídas dos refinadores. Este intervalo de tempo é necessário para se garantir que a pasta amostrada seja oriunda do cavaco amostrado primeiramente. Ao se coletar os dados do refinador primário dá-se um intervalo de tempo de 10 minutos até a coleta do material que sai do refinador secundário.

6. Identificou-se o material recolhido utilizando alguns indicativos como:

Local, data e hora do recolhimento;

Codificação do material amostral.

Este procedimento tem por objetivo controlar as amostras coletadas e as informações que serão provenientes dela.

7. Manter uma padronização na coleta das amostras. Em termos de procedimentos, pessoal e material.

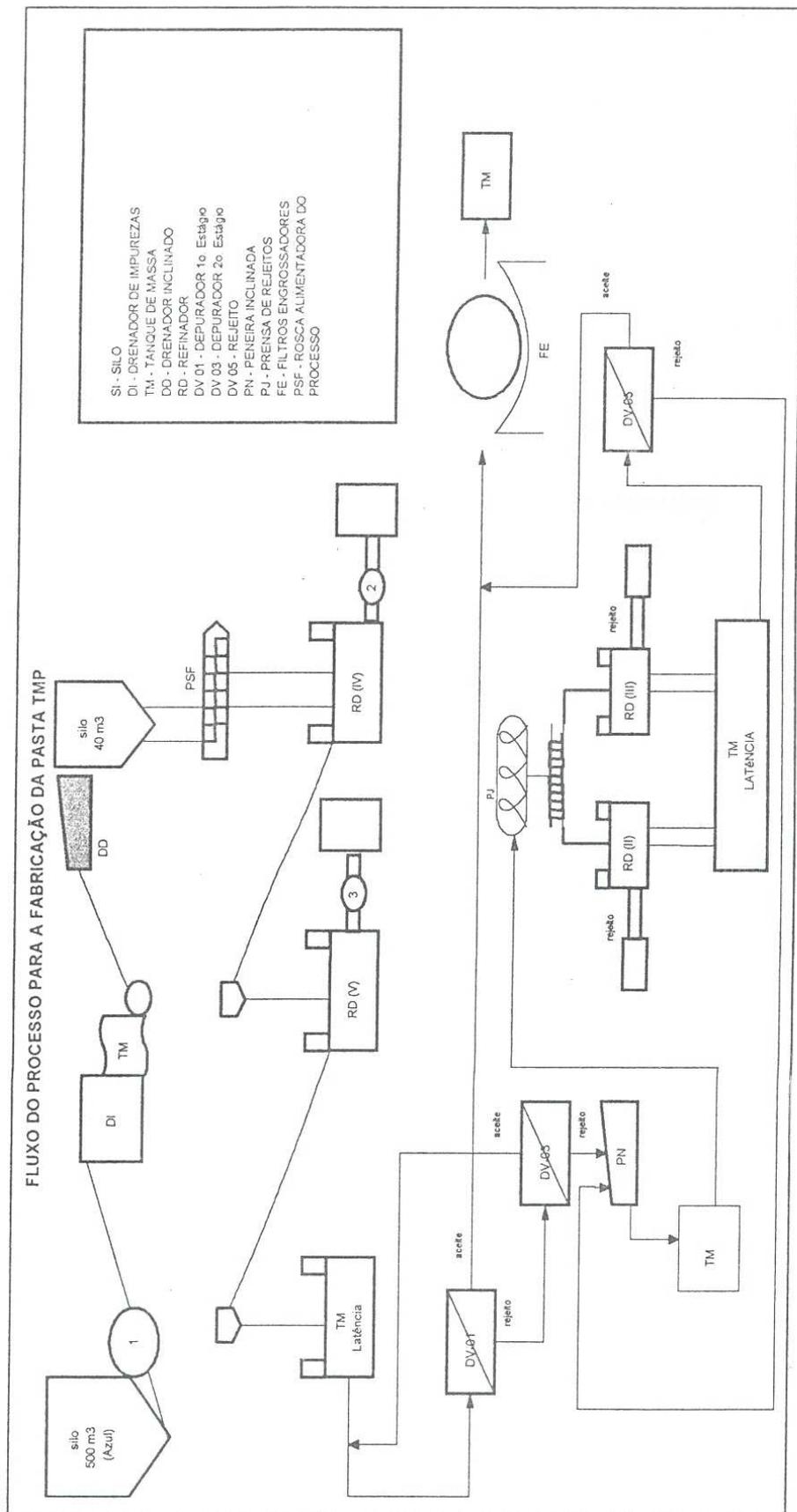


Figura 22 - Fluxo do Processo para Fabricação da pasta TMP. (Pontos de Coleta da Amostra). Observar pontos 1, 2, 3

3.2 Metodologia de Coleta e Análises do Cavaco TMP

3.2.1 Coleta

Realizada em dois períodos(turnos) correspondentes aos horários 08:30 e 14:30 hs. A amostra é coletada em dois pontos da esteira que conduz o cavaco até o silo da TMP. A distância entre o 1° ponto e o 2° ponto é no máximo de 3 metros.

3.2.2 Amostra Básica (porção a ser analisada)

Os cavacos dos dois pontos são misturados. Na seqüência é feito um esqueteamento, isto é, dividido em quatro partes iguais, sendo utilizada um quarto para as análises. Desta porção (1/4) utiliza-se uma sub-amostra para cada análise.

3.2.3 Análises

Classificação de Cavacos;

Umidade;

Densidade Básica;

Teor de Resina;

Dimensões de Fibra;

- Comprimento;
- Largura;
- Espessura da Parede;
- Diâmetro do Lúmen.

3.2.3.1 Classificação de Cavacos

A classificação de cavacos é realizada em um classificador automático TMI autodomtar, modelo 71-78. O resultado do classificador está mostrado na Figura 23, como exemplificação.



MONITOR X PISA-PAPEL DE IMPRENSA S.A.
RELATORIO DE TESTE

DATA: 24.06.99
OPERADOR: CRISTIANO
AMOSTRA: CASCA(%): 0 %
2 MM TEMPO: 2 MIN UMIDADE MEDIA(%): 0 %

TIPO	PESO (GRAMAS)	TOTAL (%)
FINOS	2.78	.1198
PINOS	39.52	1.703
> 45 MM COMP	.01	.0043
< 45 MM COMP	2277.9	98.17
TOTAL	2320.21	100

ESP./TEMPO		< 45 MM COMP		> 45 MM COMP	
MM	MIN	PESO (G)	TOTAL (%)	PESO (G)	TOTAL (%)
4	2	724.61	31.23	0	.000
6	2	1016.73	43.90	.01	.0043
8	1	318.75	13.73	0	.000
18	1	215.81	9.301	0	.000

Figura 23 - Exemplo de Saída da Máquina

3.2.3.2 Umidade do Cavaco

Para medir a umidade do Cavaco é necessário seguir determinados passos:

Coletar a amostra e imediatamente colocar em saco plástico e fechá-lo para que a amostra não perca umidade;

Determinar o peso úmido da amostra(PU);

Secar a amostra em estufa a 105°C até peso constante;

Coloca-la em dessecador para esfriar;

Determinar o peso absolutamente seco(PS)

Calcular a umidade através da expressão:

$$U = ((PU-PS)/PU)*100 \text{ (Umidade base peso úmido)}$$

$$U=((PU-PS)/PS)*100 \text{ (Umidade base peso Seco) onde:}$$

U = Umidade da amostra de madeira, em %;

PU = peso úmido da amostra de madeira, em g;

PS = peso seco da amostra de madeira, em g.

Para efeito deste experimento a equação utilizada para calcular a Umidade é com a base peso úmido.

3.2.3.3 Densidade Básica – Método do máximo teor de Umidade (amostras pequenas – cavacos, baguetas, seções de anéis de cresc., etc)

Imergir a amostra em água até saturação completa, de preferência em um dessecador a vácuo;

Remover o excesso de água superficial com papel absorvente ou pano de algodão e pesá-la rapidamente, obtendo o peso úmido(PU);

Secar a amostra em estufa a 105°C até peso constante;

Retirar a amostra, deixar esfriar em dessecador e pesá-la, obtendo-se o peso seco(PS)

Calcular a densidade pela expressão:

$$DB = (1/((PU/PS)-0,346)) \text{ onde}$$

DB = densidade básica, em g/cm³

PU = peso úmido da amostra, em g;

PS = peso absolutamente seco da amostra, em g;

3.2.3.4 Determinação do Teor de Resina

Transformar a madeira em cavacos pequenos;

Moer os cavacos a fração 10(peneira de 10 mesh)

Misturar bem a serragem e colocar em saco plástico;

Retire uma subamostra de aproximadamente 10 gramas do saco plástico e feche-o imediatamente;

Determine o % absolutamente seco(% a . s.)da subamostra tirando o peso úmido e o peso seco(secagem em estufa a 105 +- 2 graus c. por 12-24 hs)

$$\%a.s. = (\text{Peso Seco}/\text{Peso Úmido}) * 100$$

$$\text{Umidade} = 100 - \%a.s.$$

Pesar equivalente a 2 gramas seca(2 gramas/%a.s. * 100) da amostra normal;

Exemplo: O %a.s. da amostra foi igual a 89,0 %,

$$\text{O peso equivalente a 2 gramas secas} = (2/89,0) * 100$$

$$2 \text{ gramas secas} = 2,247 \text{ gramas úmidas}$$

onde grama seca é equivalente a PS inicial.

Colocar a amostra já pesada no saquinho de papel de filtro(se o saquinho for só dobrado e não costurado o peso da amostra poderá ser feito em cima do próprio papel de filtro – zerado);

Colocar a amostra no copo do extrator e fazer a extração em álcool etílico por 8 horas;

Retirar o saquinho do copo do extrator e secá-lo ao ar por 8 horas;

Abrir o saquinho com cuidado e transferir a serragem para formas pequenas de alumínio, retire o resíduo de serragem do papel de filtro com pincel de cerdas finas;

Levar a serragem à estufa por 4-8 horas;

Tire o peso da serragem (peso seco extraído) com o peso da forma pequena(P_{stotal});

Jogue a serragem e tire o peso da forminha(P_{stara});

Calcule o peso seco da serragem($P_{serr} = P_{stot} - P_{stara}$);

Calcule o teor ou % de resina:

$$\%Resina = 100 - ((\text{Peso Seco Serragem extraída} / \text{Peso seco Inicial}) * 100)$$

utilizando o exemplo mostrado acima o equação ficaria assim:

$$\%Resina = 100 - ((\text{Peso Seco Serragem extraída} / 2) * 100)$$

3.2.3.5 Leitura das Dimensões de Fibras

3.2.3.5.1 Largura, diâmetro do Lúmen, Espessura da Parede (Microscópio)

Identificar o meio da fibra(a região mais larga);

Medir a largura e o diâmetro do lúmen.;

Espessura da fibra é igual a $(\text{Largura da fibra} - \text{diâmetro do lúmen})/2$;

Obs: Medir todas as fibras encontradas no campo(só não medir fibras com a parede danificada). Procurar medir campo que representem a lâmina toda.

3.2.3.5.2 Comprimento(Projeter)

Medir fibras em campos que representem a Lâmina

Medir todas as fibras inteiras;

Nunca medir fibras curtas que estejam quebradas.

Obs: Se houver um alto percentual de fibras longas quebradas, estas podem ser medidas, pois na verdade elas são ainda maiores do que está sendo visto. A medição das mesmas aproximará a média do comprimento medido com o comprimento de fibras médio da amostra antes de ser processada.

3.3 INSTRUÇÕES PARA TESTES EM LABORATÓRIOS (PASTA).

3.3.1 Consistência

Massa expressa em gramas de fibras absolutamente secas, contidas em um volume de cem mililitros. Nada mais é do que uma medida de concentração.

Procedimento para calcular a consistência:

A amostra é homogeneizada (agitada manualmente);

Em seguida, toma-se aproximadamente 10 gramas da amostra (pesada em balança analítica);

Coloca-se a amostra em um Becker completando-o com água até aproximadamente 100 ml;

A amostra é então filtrada no funil de Büchner em papel tarado (sendo este previamente pesado e seu valor registrado);

filtrado é seco com um ferro comum de passar roupas até atingir peso constante (tomando cuidado para não carbonizá-lo);

filtrado seco, com o papel de filtro, é pesado e o valor obtido registrado;

A consistência será:

$$Cs(\%) = \frac{(\text{Peso}_{\text{FILTRADO+PAPELTARADO}} - \text{Peso}_{\text{PAPELTARADO}})}{\text{Peso}_{\text{AMOSTRA}}} * 100$$

3.3.2 Remoção de latência em laboratório

Toma-se uma amostra que possua 30 g de fibras absolutamente secas (a amostra deve ser colocada em recipiente apropriado, onde será acrescentada água até 3000 ml);

A latência é removida em aparelho Domtar Disintegrator G3-6;

Obs.: o aparelho é pré-aquecido com 2 L de água a 95 °C por 2 minutos, antes de se colocar a amostra.

3.3.3 Preparo de folhas de papel em laboratório

Toma-se uma amostra com consistência conhecida e com latência removida;

Divide-se o valor 314,7 pela consistência da amostra;

valor da divisão do item 2 é o volume da amostra que será utilizado para a confecção de cada folha;

Na PISA, utiliza-se o Formador de Folhas Tipo Coluna F-B da Regmed Indústria Técnica de Precisão Ltda;

A folha é formada na tela do aparelho, sendo que, após isto, um cartão *kraft* é colocado sobre ela;

Pressiona-se sobre o cartão *kraft* um rolo com base de feltro para remoção do excesso de umidade (o rolo é passado por três vezes);

Descola-se o cartão *kraft* (a folha estará aderida a ele);

Obs.: são confeccionadas três folhas.

Todas as folhas são então colocadas entre duas camadas de feltro e prensadas a 0,4 MPa por 5 minutos. Após esta prensagem as folhas são viradas e pressionadas por mais 2 minutos;

Coloca-se as folhas em secadeiras por 20 minutos de um lado e por 15 minutos do outro;

Destaca-se as folhas do papel cartão;

As folhas são colocadas em uma sala climatizada ($T=23 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $50 \pm 2\%$) por no mínimo 50 minutos.

3.3.4 Canadian Standard Freeness (CSF)

É a medida de capacidade de drenagem de água através de uma folha em formação. Seu valor fornece o grau de refino da pasta.

Toma-se uma amostra que contenha 3g de fibras absolutamente secas em um copo de Shopper, completando-o até 1000ml;

Mede-se a temperatura da amostra após diluição;

Registra-se o volume drenado (em ml) no *Canadian Standard Freeness Tester*;

valor encontrado no item 3 deve ser corrigido pela temperatura medida em 2 (existe uma tabela para isto);

valor corrigido, dependente da temperatura e do volume drenado, é o CSF.

3.3.5 Rasgo

A resistência ao rasgo mede o trabalho total necessário para o rasgamento completo do papel, a uma distância fixada, depois do rasgo ter sido iniciado por meio de uma faca adaptada ao aparelho.

Determinado em aparelho *tmi* (*Testing Machines Inc.*) *Elmendorf-type* modelo 83.11.00. Mede-se o rasgo de cada folha e calcula-se a média.

3.3.6 Tração

A resistência a tração é relacionada com a durabilidade e utilizada de um papel sujeito a forças de tração.

Determinada no *Tensile Strength Tester* da *Lorentzen & Wettre*. Mede-se a tração de cada folha e calcula-se a média.

3.3.7 Espessura

A espessura de cada folha formada em laboratório é obtida no medidor de espessura Regmed.

3.3.8 Gramatura

Para saber a gramatura das folhas formadas:

Pesa-se as três folhas, de uma única vez;

Multiplica-se o valor obtido por 10,5;

valor resultante será a gramatura média das três folhas.

3.3.9 Demais variáveis do processo Indústria

As variáveis *produção*, *gap*, *pressão dos discos*, *diluição*, *pressão de operação*, *potência* e *CEE* são obtidas diretamente do SDCD. Às 9h e às 15h, o operador de sala de controle

3.4 Sistema Proposto

3.4.1 Introdução

No estudo do problema apresentado no início desta dissertação, fez-se um levantamento de todas as etapas participantes do processo produtivo, de todas as variáveis que podem influir na qualidade do produto em suas respectivas etapas, com a preocupação de não mudar a rotina de coleta dos dados atualmente feita pela empresa. Inicialmente desenvolveu-se um sistema específico com todas as etapas de produção e com todas as variáveis participantes do processo. Assim tudo estaria pré-definido pelo sistema de acordo com o levantamento de dados elaborado. Isto seria um facilitador para a criação do software. Porém, como não havia a certeza de que as variáveis seriam no futuro aquelas definidas no levantamento de dados inicial e para a inclusão de uma nova variável ou até mesmo uma nova etapa teria o agravante de alterar o programa fonte, tentou-se elaborar uma maneira pela qual o usuário teria a condição de incluir uma nova variável ou uma nova etapa da forma mais conveniente. Optou-se por um estrutura de Banco de Dados conforme modelo de Entidade e Relacionamento a seguir(Figura 24), possibilitando total liberdade ao usuário para cadastrar todas as suas etapas e variáveis. Verificou-se no decorrer do trabalho que foi tomada a atitude correta pois houve a necessidade de cadastrar novas variáveis que não foram identificadas no levantamento de dados. Desta forma elaborou-se um sistema totalmente aberto com relação ao cadastro das etapas e variáveis do processo produtivo podendo inclusive ser utilizado por outras empresas que tenham um problema semelhante.

Antes de utilizar as ferramentas para fazer as análises estatísticas disponíveis no sistema é necessário alimentar a base de dados proposta, para isto existe um tópico específico dentro do sistema que chama-se Cadastros. Os cadastros existentes no sistema são: Cadastro de Etapas, Cadastro de Variáveis, Identificação da Amostra, descritos no próximo item. A maneira

como cadastrar e utilizar o sistema estão descritos no final deste dissertação. Ver Anexo – A Manual de Sistema

Modelo de Entidade e Relacionamento para o Experimento Estatístico

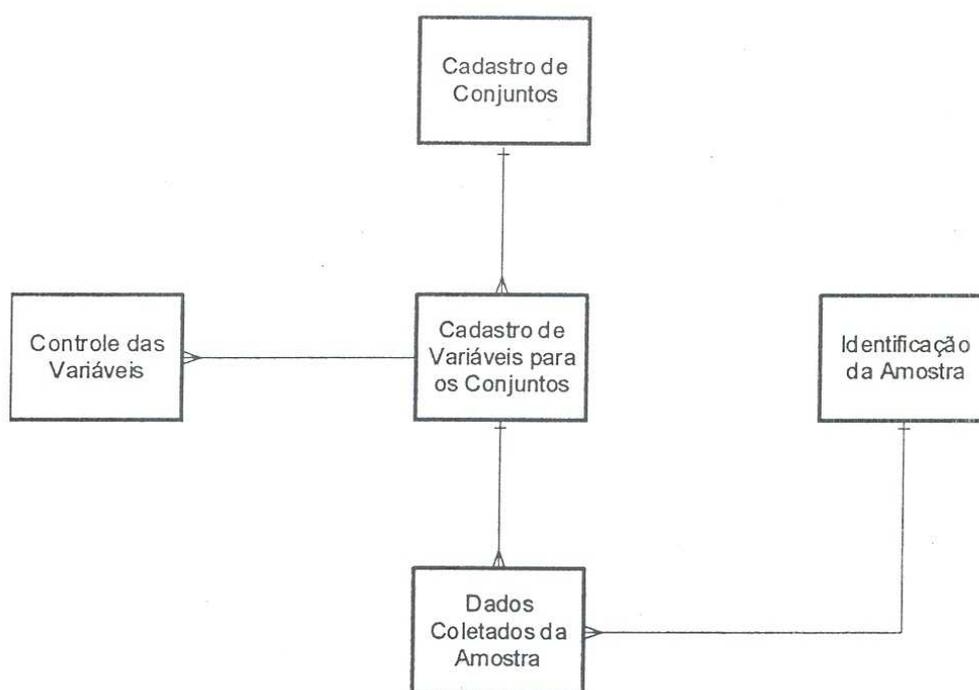


Figura 24 - Modelo de Entidade e Relacionamento para o Experimento Estatístico.

3.4.2 Cadastros

No cadastro de etapas deve-se informar todos os procedimentos(fases) existentes no processo. Cada procedimento ganhará um código único no sistema e deverá ganhar uma descrição, por exemplo: Madeira, Pasta e Qualidade.

No cadastro de variáveis existirá um código único para cada variável devendo ser associada a uma das etapas definidas no cadastro de etapas. O nome de cada variável será identificado no campo Nome da Variável. Neste cadastro informa-se todas as variáveis pertencentes ao processo produtivo da empresa. É importante lembrar que os Cadastros de Etapas e Variáveis serão feitos uma única vez, podendo ser atualizados quando houver necessidade.

No Cadastro do Experimento existirá um código único para cada amostra coletada. Cada registro deste cadastro terá informações que possibilitarão a identificação do cadastro. Tem-se neste cadastro informações como Data da Coleta, Hora da Coleta, Responsável pela Coleta e um campo de Observação. Este último existe apenas para anotações ou para lembrar alguma particularidade da amostra, não sendo utilizado para nenhuma análise pelo sistema.

Após identificar o experimento no sistema deve-se inserir as informações coletadas nas variáveis já definidas. Toda vez que for cadastrado um novo experimento o sistema gerará registros relacionando o experimento com as variáveis previamente definidas, sendo que o usuário precisará apenas informar os valores coletados para cada variável. Ao cadastrar as coletas feitas pela empresa, com o passar do tempo tem-se uma base de dados que servirá para fazer as análises estatísticas definidas pelo sistema bem como a correlação canônica. Estas duas etapas serão mostradas e exemplificadas nos próximos itens.

3.4.3 Estatística

Após alimentar a base de dados do sistema, pode-se trabalhar com esta opção. Ao executar a opção estatística o sistema mostrará duas janelas, a primeira janela terá todas as variáveis pertencentes as etapas do processo produtivo e que foram definidas no Cadastro de Variáveis para que o usuário selecione as variáveis que quiser para efetuar os cálculos estatísticos. A segunda janela mostrará o resultado dos cálculos efetuados. Os cálculos efetuados pelo sistema e que aparecerão na janela são: Média, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão, Erro Padrão, Mediana, Amplitude, Coeficiente de Correlação.

Além destas o sistema disponibiliza outras opções nos quais o resultado não é mostrado na segunda janela e sim em telas próprias. Uma delas é calcular a matriz de correlação entre as variáveis selecionadas, não importa a quantidade de variáveis selecionadas. A outra opção está relacionada aos gráficos. O sistema disponibiliza seis opções de gráficos: Histograma, Gráfico \bar{X} -R e Gráfico \bar{X} -S, Gráfico P, Gráfico C e Gráfico de Pareto. Para calcular o histograma será necessário definir uma variável e o resultado será um gráfico mostrando as classes com as frequências dos valores coletados. Quanto aos gráficos de controle \bar{X} -R e \bar{X} -S, P além de selecionar uma variável, é necessário que os parâmetros dos limites de controle sejam definidos. Para defini-los deve-se informar o tamanho n da amostra aleatória¹ e selecionar a opção apropriada para o cálculo (definição dos limites de controle). Serão calculadas as estatísticas de cada gráfico: limite inferior de controle (LIC), média, limite superior de controle (LSC). Os resultados serão armazenados no banco de dados, para uso da empresa. A forma utilizada para calcular cada gráfico será mostrada mais adiante neste mesmo capítulo.

O sistema permite selecionar um determinado intervalo para fazer as análises estatísticas mostradas anteriormente. Para isto existe uma opção na parte superior da tela. Esta opção é importante pois pode-se, por exemplo, querer fazer uma análise durante determinada estação do ano, bem como

¹ Tamanho n da amostra aleatória solicitada pelo sistema são os valores das observações sucessivas que constituíram uma amostra para cálculo dos limites para gráficos de controle.

selecionar os dados para os gráficos de controle ou ainda testar alguma situação nova e verificar a performance em relação à situação existente. A seguir mostra-se o cálculo em cada opção disponível pelo sistema.

3.4.3.1 Cálculos efetuados pelo sistema

Os Dados a seguir, na Tabela 5 referem-se a observação de cinco variáveis no período de 23/07/1998 às 14:30 até 04/08/1998 às 08:30

Qualidades da pasta TMP na saída do refinador 05						
DATA	HORA	Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	CSF
23/Jul	15:00	59,2	20,9	6,51	268	195
24/Jul	08:30	57,5	19,3	5,34	262	197
24/Jul	15:00	57,6	22,8	5,96	284	187
27/Jul	08:30	58,7	21,2	5,01	258	196
27/Jul	15:00	59,3	24,5	5,41	288	180
28/Jul	09:00	58,9	21	5,51	270	183
28/Jul	15:00	59	19,8	5,19	247	204
29/Jul	09:00	58,7	18	3,88	247	219
30/Jul	09:00	58,7	15,6	5,09	242	242
30/Jul	15:00	59,2	18,6	5,1	280	215
31/Jul	09:00	58,8	17,4	4,3	245	246
04/Ago	09:00	58,5	24,3	6,09	255	227

Tabela 5- Dados Coletados pela Pisa e que estão na Base de Dados do sistema utilizados aqui para exemplificar alguns procedimentos.

3.4.3.1.01 Cálculo da Média.

Média: Para calcular a média utiliza-se a seguinte equação

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Aplicando a equação na Tabela 5 tem-se os seguintes resultados do sistema :

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
58,675	20,283	5,282	262,167	207,583

3.4.3.1.02 Cálculo da Mediana μ

Mediana: Para calcular a mediana utilizamos os seguintes passos:

Ordena-se os dados em valores crescentes e no caso da quantidade de elementos da amostra ser impar escolho o termo central como estimativa da mediana.

No caso da quantidade de elementos da amostra ser par o valor estimado da mediana é a media aritmética entre os dois elementos centrais, aplicando os passos descritos tem-se os seguintes resultados para a mediana:

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
58,750	20,350	5,265	260,00	200,500

3.4.3.1.03 Cálculo do Mínimo $X_{(1)}$

Mínimo: Busca-se o menor valor entre os elementos de uma amostra de uma variável.

Aplicando-se esta definição tem-se os seguintes resultados para o Mínimo.

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
57,500	15,600	3,880	242,000	180,000

3.4.3.1.04 Cálculo do Máximo $X_{(n)}$

Máximo: Busca-se o maior valor entre os elementos de uma amostra de uma variável .

Aplicando-se esta definição tem-se os seguintes resultados para o Máximo:

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
59,300	24,500	6,510	288,000	246,000

3.4.3.1.05 Cálculo da Amplitude $R = X_{(n)} - X_{(1)}$

Amplitude: Busca-se a diferença entre o máximo e o mínimo de uma mesma variável.

Aplicando-se esta definição tem-se os seguintes resultados para a amplitude.

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
1,800	8,900	2,630	46,000	66,000

3.4.3.1.06 Cálculo da Variância.

Variância: a variância amostral s^2 estima a verdadeira variância populacional σ^2 e mede quanto os dados estão dispersos em torno da média, assim ela é uma estimativa da medida de variabilidade dos dados.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Aplicando-se a equação na Tabela 5 tem-se os seguintes resultados para o cálculo da variância

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
0,335	7,407	0,525	253,424,	493,538

3.4.3.1.07 Cálculo do Desvio Padrão

Desvio Padrão: o desvio padrão s estima o verdadeiro padrão populacional σ , e tem a vantagem de estar na mesma unidade de medida dos dados, e não elevado ao quadrado como é o caso da variância. Mede a dispersão dos dados em torno de um valor médio.

$$s = \sqrt{s^2}$$

Aplicando a equação na Tabela 5 tem-se os seguintes resultados para o cálculo do desvio padrão

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
0,579	2,722	0,725	15,919	22,216

3.4.3.1.08 Cálculo do Erro Padrão

Erro Padrão: É uma medida da dispersão da média amostral \bar{X} .

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Aplicando a equação na Tabela 5 tem-se os seguintes resultados para o cálculo do Erro Padrão

Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	Csf
0,167	0,786	0,209	4,596	6,413

3.4.3.1.09 Correlação e Matriz de Correlação

Correlação: É uma estatística que mede o grau de relacionamento entre duas variáveis. É definido por:

$$\hat{\rho}_{xy} = E \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)$$

Para medir o associação entre variáveis X e Y. A variação de ρ_{xy} está entre 1 e -1

Onde:

$\rho_{xy} = 1$ o relacionamento entre X e Y é perfeito com uma variação direta;

$\rho_{xy} = -1$ o relacionamento também é perfeito mas inverso;

$\rho_{xy} = 0$ a correlação entre as variáveis não existe.

O Parâmetro ρ_{xy} é estimado pela correlação amostral dada por:

$$r = \hat{\rho}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

A diferença no sistema entre correlação e matriz de correlação, é que na opção matriz de correlação o sistema mostrará uma matriz na tela com a correlação entre as variáveis selecionadas e a opção correlação sozinha mostrará a correlação entre duas variáveis selecionadas.

Aplicando a equação anterior na Tabela 5 tem-se os seguintes resultados para o cálculo da Correlação

	Alvura	Tração	Rasgo	Densidade	CSF
Alvura	1,00	-0,040	-0,099	0,002	0,072
Tração	-0,040	1,00	0,617	0,622	-0,638
Rasgo	-0,099	0,617	1,00	0,493	-0,461
Densidade	0,002	0,622	0,493	1,00	-0,734
CSF	0,072	-0,638	-0,461	-0,734	1,00

3.4.3.1.10 Histograma

A quantidade de informação fornecida por uma amostra é tanto maior quanto maior é a quantidade de dados. Torna-se, difícil captar a informação contida em uma tabela muito longa. Para dar uma visão rápida e objetiva da forma da distribuição utiliza-se o Histograma.

Para calcular a quantidade de colunas existente no histograma utilizou-se como base a seguinte regra: Caso o tamanho da amostra seja menor que 25 então a quantidade de colunas será de 5. Caso seja maior a quantidade de barras será então o resultado inteiro da raiz quadrada do tamanho da amostra.

O Histograma dos dados da Tabela 5 é:

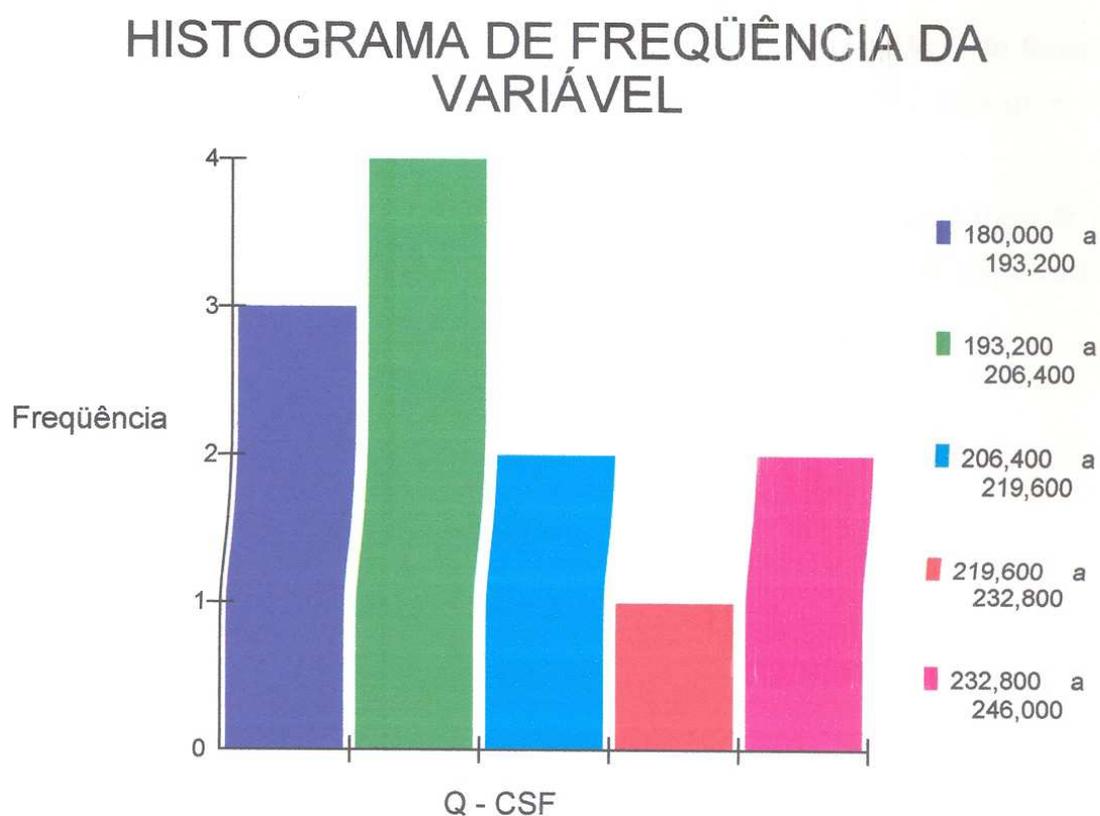


Figura 25 Histograma da Variável CSF, elaborado a partir dos dados da Tabela 5

3.4.3.1.11 Gráficos de Controle

3.4.3.1.11.1 Gráfico: Média e Amplitude

Utilizar-se-á a Tabela 6 para exemplificar como o sistema trabalha com as informações para obter os gráficos de controle \bar{X} -R (Média e Amplitude).

Amostras	X1	X2	X3	X_i	Ri
1	195	197	187	193	10
2	196	180	183	186	16
3	204	219	242	221,667	38
4	215	246	227	229,333	31
Somatório				830	95
Média				207.50	23,75

Tabela 6-Tabela exemplo de dados coletados na PISA a partir de 23/07/98 15:00 até 04/08/1999 às 09:00 da variável CSF.

Note que os dados da Tabela 5 foram transpostos na Tabela 6 de forma seqüencial. O tamanho da amostra aleatória neste exemplo será três ($n = 3$) nas variáveis X_1 , X_2 , X_3 e teremos quatro amostras ($m = 4$).

Para construir o gráfico de controle da média \bar{X} e da amplitude R é necessário definir os limites de cada gráfico. Para definir os limites para cada gráfico utiliza-se as seguintes equações:

Média:

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

Cálculo do limite superior do gráfico da média

$$LSC = \bar{x} + A_2 \bar{R}$$

Cálculo do limite inferior do gráfico da média:

$$LIC = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

Onde A_2 é o valor correspondente a n obtido na tabela 8 em anexo.

Neste exemplo como n é igual a 3, teremos então o valor de $A_2 = 1,023$

Amplitude Média:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Cálculo do Limite Superior de Controle:

$$LSC = \bar{R}D_4$$

Cálculo do Limite Inferior de Controle

$$LIC = \bar{R}D_3$$

Onde D_3 e D_4 são valores tabelados Tabela 8, e neste exemplo para $n = 3$ $D_3 = 0$ e $D_4 = 2,575$.

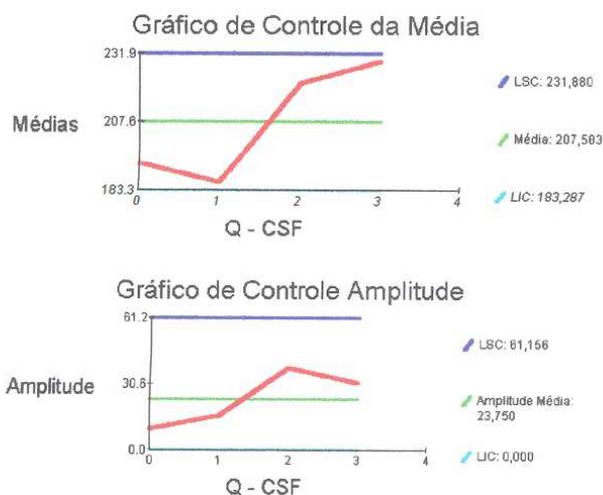


Figura 26 Gráfico de Controle Baseado nos dados da Tabela 6

3.4.3.1.11.2 Gráfico: Média e Desvio Padrão

Utilizar-se-á a Tabela 7 para exemplificar como o sistema trabalha com as informações para obter os gráficos de controle \bar{X} -S(Média e Desvio Padrão).

Amostras	X1	X2	X3	Xi3	Si
1	195	197	187	193	5,292
2	196	180	183	186	8,505
3	204	219	242	221,667	19,140
4	215	246	227	229,333	15,631
Somatório				830	48,568
Média				207.50	12,1420

Tabela 7 - Exemplo de dados coletados na PISA a partir de 23/07/98 15:00 até 04/08/1999 às 09:00 da variável CSF

Note que os dados da Tabela 5 foram transpostos na Tabela 7 de forma seqüencial. O tamanho da amostra aleatória neste exemplo será três ($n = 3$) nas variáveis X_1 , X_2 , X_3 e teremos ($m = 4$).

Para mostrar o gráfico de controle da média \bar{X} e do desvio padrão é necessário definir os limites de cada gráfico. Para definir os valores para cada gráfico utiliza-se as seguintes equações:

Média:

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

Cálculo do Limite Superior do gráfico da média

$$LSC = \bar{x} + A_3 \bar{s}$$

Cálculo do Limite Inferior do gráfico da média:

$$LIC = \bar{x} - A_3 \bar{s}$$

Onde A_3 é o valor correspondente ao N obtido na Tabela 8.

Neste exemplo como $n = 3$, teremos então o valor de $A_3=1,954$

Desvio Padrão Médio:

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m}$$

Cálculo do Limite Superior:

$$LSC = \bar{s}B_4$$

Cálculo do Limite Inferior

$$LCL = \bar{s}B_3$$

Onde B_3 e B_4 são os valores correspondentes aos números obtidos na Tabela 8 e neste exemplo para $n = 3$ tem-se $B_3 = 0$ e $B_4 = 2,568$

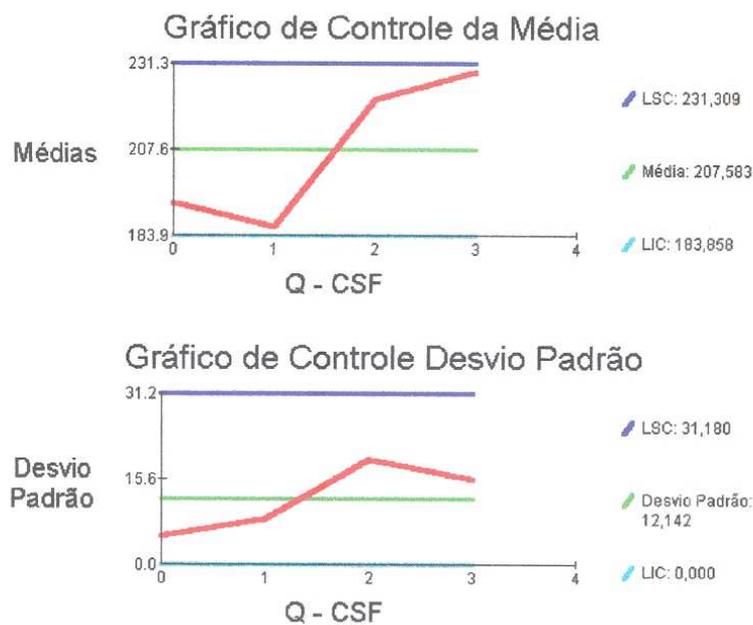


Figura 27 Gráficos da média e desvio padrão baseados na Tabela 7.

Os limites mostrados nas legendas dos gráficos representam os valores calculados utilizando as equações definidas anteriormente com os dados utilizados na Tabela 7.

N	A2	A3	B3	B4	d2	D3	D4
2	1.880	2.659	0	3.267	1.128	0	3.267
3	1.023	1.954	0	2.568	1.693	0	2.575
4	0.729	1.628	0	2.266	2.059	0	2.282
5	0.577	1.427	0	2.089	2.326	0	2.115
6	0.483	1.287	0.030	1.970	2.534	0	2.004
7	0.419	1.182	0.118	1.882	2.704	0.076	1.924
8	0.373	1.099	0.185	1.815	2.847	0.136	1.864
9	0.337	1.032	0.239	1.761	2.970	0.184	1.816
10	0.308	0.975	0.284	1.716	3.078	0.223	1.777
11	0.285	0.927	0.321	1.679	3.173	0.256	1.744
12	0.266	0.886	0.354	1.646	3.258	0.283	1.717
13	0.249	0.850	0.382	1.618	3.336	0.307	1.693
14	0.235	0.817	0.406	1.594	3.407	0.328	1.672
15	0.223	0.789	0.428	1.572	3.472	0.347	1.653
16	0.212	0.763	0.448	1.552	3.532	0.363	1.637
17	0.203	0.739	0.466	1.534	3.588	0.378	1.622
18	0.194	0.718	0.482	1.518	3.640	0.391	1.608
19	0.187	0.698	0.497	1.503	3.689	0.403	1.597
20	0.180	0.680	0.510	1.490	3.735	0.415	1.585
21	0.173	0.663	0.523	1.477	3.778	0.425	1.575
22	0.167	0.647	0.534	1.466	3.819	0.434	1.566
23	0.162	0.633	0.545	1.455	3.858	0.443	1.557
24	0.157	0.619	0.555	1.445	3.895	0.451	1.548
5	0.153	0.606	0.565	1.435	3.931	0.459	1.541

Tabela 8 – Fatores para construção dos gráficos de controle. Fonte: Montgomery – 1990.

3.4.3.11.3. Gráfico C e Gráfico P.

A opção de gráficos P e Gráfico C existente no software não foi utilizada para a Pisa, por que estes gráficos trabalham com variáveis que controlam o número de Defeitos. E neste trabalho não levantou-se nenhuma variável com estas características. A opção foi deixada no software devido a uma eventual necessidade da indústria. O modelo de Gráfico P e Gráfico C pode ser visto na Seção 2.3.2.8.3 Gráfico de Controle de Atributos.

3.4.4 Análise de Correlação Canônica

O sistema proposto também permitirá identificar o grau de relacionamento entre os conjuntos de variáveis das etapas existentes na empresa. No caso da Pisa as etapas levantadas foram Madeira, Pasta e Qualidade.

Os passos necessários utilizados pelo sistema para fazer a análise de correlação canônica entre as fases/etapas são mostradas a seguir.

3.4.4.1 Exemplo computacional de aplicação no contexto da indústria do papel

O exemplo abaixo mostra as funções utilizadas para calcular a correlação canônica entre as fases. Na verdade são os passos necessários para chegar aos números do relacionamento entre as fases/etapas que se quer calcular. A seguir mostra-se os passos seguidos para calcular a correlação canônica mostrando cada ponto e exemplificando-o com valores reais.

1.) Indicação dos conjuntos de variáveis independentes e de variáveis dependentes;

Conjunto de variáveis independentes neste trabalho: variáveis da pasta;

Conjunto de variáveis dependentes: variáveis de qualidade.

2.) Seleção das variáveis que fazem parte de cada conjunto;

variáveis da Pasta são:

Cs-04 (Consistência na saída do Refinador Primário);

Csf-04 (Canadian Standard Freeness na saída do Refinador Primário);

GapTE-04 (Distância entre os discos internos do Refinador Primário);

GapDE-04 (Distância entre os discos externos do Refinador Primário).;

variáveis da fase qualidade são:

Alvura;

Tração;

Rasgo.

3.) Ler no banco de dados (cadastro das variáveis) os valores registrados das variáveis.

4.) Construir a matriz de dados X de ordem $n_1 \times p$ com os n_1 valores das p variáveis independentes e a matriz Y de ordem $n_2 \times q$ com os n_2 valores das q variáveis dependentes. Na abordagem computacional estas matrizes correspondem a `s_myArquivo1` e `s_myArquivo2`, respectivamente. Exemplificando com $n_1 = n_2 = 12$ nos registros reais trabalhados tem-se:

Matriz X: `s_myArquivo1`

45.00000	633.00000	0.43000	0.61000
44.90000	597.00000	0.39000	0.54000
43.00000	592.00000	0.37000	0.54000
44.00000	597.00000	0.32000	0.56000
44.00000	601.00000	0.33000	0.60000
43.00000	615.00000	0.26000	0.51000
44.00000	617.00000	0.34000	0.60000
44.00000	643.00000	0.35000	0.69000
45.00000	635.00000	0.29000	0.43000
45.00000	626.00000	0.29000	0.49000
43.00000	611.00000	0.28000	0.56000
42.00000	611.00000	0.33000	0.21000

Observações:

Na 1ª coluna estão as informações referentes a variável Cs-04;

Na 2ª coluna estão as informações referentes a variável Csf-04;

Na 3ª coluna estão as informações referentes a variável GapTE-04;

Na 4ª coluna estão as informações referentes a variável GapDE-04.

Matriz Y: s_myArquivo2

59.20000	20.90000	6.51000
57.50000	19.30000	5.34000
57.60000	22.80000	5.96000
58.70000	21.20000	5.01000
59.30000	24.50000	5.41000
58.90000	21.00000	5.51000
59.00000	19.80000	5.19000
58.70000	18.00000	3.88000
58.70000	15.60000	5.09000
59.20000	18.60000	5.10000
58.80000	17.40000	4.30000
58.50000	24.30000	6.09000

Observações:

Na 1ª coluna estão as informações referentes a variável Alvura;

Na 2ª coluna estão as informações referentes a variável Tração;

Na 3ª coluna estão as informações referentes a variável Rasgo.

5.) Inicializar os vetores indicados abaixo:

S_autovalor, S_correlaçãocanonica, s_coeficienteA, s_coeficienteB.

6.) Linha1 armazena o total de linhas da matriz s_myArquivo1;

Linha 1 = 12.

7.) Linha2 armazena o total de linhas da matriz s_myArquivo2;

Linha2 = 12.

8.) Coluna1 armazena o total de variáveis selecionadas pelo usuário pertencente ao conjunto de variáveis independentes;

Coluna1 = 4.

9.) Coluna2 armazena o total de variáveis selecionadas pelo usuário pertencente ao conjunto de variáveis dependentes;

Coluna2 = 3.

Observação: O valor de linha1 e linha2 devem ser iguais.

Os valores contidos em cada linha das matrizes s_myArquivo1 e s_myArquivo2 devem pertencer ao mesmo registro.

10.) Encaminhar para a função Combina_Dois_Grupos os parâmetros mencionados acima, os valores que serão retornados pela função estarão nas matrizes s_autovalor, s_correlacaocanonica, s_coeficienteA e s_coeficienteB ou seja se for chamada a Função Combina_Dois_Grupos tem-se: Combina_Dois_Grupos(s_autovalor, s_correlacaocanonica, s_coeficienteA, s_coeficienteB, s_myArquivoA, s_myArquivoB, linha1, coluna1, linha2, coluna2)

11.) Ao executar a função Combina_Dois_Grupos tem-se como resultado:

O vetor de resposta com os autovalores é s_autovalor que armazena (no exemplo) os seguintes valores:

0.88159 0.49478 0.03244

O vetor com as correlações canônicas processadas responderá na forma do vetor s_correlacaocanonica que armazena os seguintes valores:

0.93893 0.70340 0.18011.

E o primeiro elemento do vetor s_correlaçãocanonica mostrará o maior grau de relacionamento entre os grupos e os coeficientes das variáveis canônicas do primeiro conjunto que estarão nas colunas da matriz s_myArquivo1 são:

0.31471	0.74417	0.85800	0.34445
0.58856	0.18121	-0.82108	-0.38852
-0.61456	0.44978	-0.26002	-0.72110
0.29740	-0.85764	0.29721	-0.60201

Os coeficientes das variáveis canônicas do segundo conjunto que estarão nas colunas da matriz `s_myArquivo2` são:

-0.60085	0.00473	-0.80598
0.66582	0.98679	-0.44670
0.15024	-1.23866	-0.27069

O Resultado da execução destes passos mostra que existe uma relação muito forte entre o conjunto das variáveis de processo e o conjunto das variáveis de qualidade. Esta relação é de **0.93893**. O próximo algoritmo mostra como o sistema chegou nos valores apresentados aqui.

Algoritmo da função Combina_Dois_Grupos

Esta função receberá as matrizes s_autovalor, s_correlacaocanonica, s_coeficienteA, s_coeficienteB, origemA, origemB, linhaA, colunaA, linhaB, colunaB.

As matrizes s_autovalor, s_correlacaocanonica, s_coeficienteA, s_coeficienteB, são matrizes que receberão os resultados da função.

As matrizes origemA e origemB são matrizes que contem as informações armazenadas na base de dados.

Matriz origemA

45.00000	633.00000	0.43000	0.61000
44.90000	597.00000	0.39000	0.54000
43.00000	592.00000	0.37000	0.54000
44.00000	597.00000	0.32000	0.56000
44.00000	601.00000	0.33000	0.60000
43.00000	615.00000	0.26000	0.51000
44.00000	617.00000	0.34000	0.60000
44.00000	643.00000	0.35000	0.69000
45.00000	635.00000	0.29000	0.43000
45.00000	626.00000	0.29000	0.49000
43.00000	611.00000	0.28000	0.56000
42.00000	611.00000	0.33000	0.21000

Matriz origemB

59.20000	20.90000	6.51000
57.50000	19.30000	5.34000
57.60000	22.80000	5.96000
58.70000	21.20000	5.01000
59.30000	24.50000	5.41000
58.90000	21.00000	5.51000
59.00000	19.80000	5.19000
58.70000	18.00000	3.88000
58.70000	15.60000	5.09000
59.20000	18.60000	5.10000

58.80000	17.40000	4.30000	
58.50000	24.30000	6.09000	

valor linhaA é igual ao total de linhas da matriz origem A;

Linha A = 12

valor linhaB é igual ao total de linhas da matriz origem B;

Linha B = 12

valor colunaA é igual ao número de colunas da matriz origem A;

coluna A = 4;

valor colunaB é igual ao número de colunas da matriz origem B;

coluna B = 3

1.) Cria-se quatro matrizes com os nomes grupoAA, grupoAB, grupoBA e grupoBB;

Exemplo de criação das matrizes

```
grupoAA = new float[colunaA*colunaA];
```

```
grupoAB = new float[colunaA*colunaB];
```

```
grupoBA= new float[colunaB*colunaA];
```

```
grupoBB= new float[colunaB*colunaB];
```

2.) Utiliza-se a função relaciona_grupos para relacionar as matrizes origemA com matriz origemA. O resultado deste relacionamento armazena-se na matriz grupoAA.

Chamada da função relaciona_grupos:

```
relaciona_grupos(origemA,origemA,grupoAA,linhaA,colunaA,linhaA,colunaA);
```

Matriz de Correlação entre o grupo A e grupo A denominado de GRUPOAA

1.00000	0.37489	0.29326	0.43579
0.37489	1.00000	-0.05326	0.12987

0.29326	-0.05326	1.00000	0.28080
0.43579	0.12987	0.28080	1.00000

3.) Relaciona-se a matriz origemA com a matriz origemB. O resultado deste relacionamento armazena-se na matriz grupoAB.

Chamada da função relaciona_grupos

relaciona_grupos(origemA, origemB, grupoAB, linhaA, colunaA, linhaB, colunaB);

Matriz de Correlação entre o grupo A e grupo B denominado de GRUPOAB

0.17397	-0.50843	-0.08053
0.51009	-0.57535	-0.27193
-0.32574	0.26768	0.44913
0.16051	-0.24022	-0.40855

4.) Relaciona-se as matriz origemB com a matriz origemA. O resultado é armazenado na matriz grupoBA.

Chamada da função relaciona_grupos:

relaciona_grupos(origemB, origemA, grupoBA, linhaB, colunaB, linhaA, colunaA);

Matriz de Correlação entre o grupo B e grupo A denominado de GRUPOBA

0.17397	0.51009	-0.32574	0.16051
-0.50843	-0.57535	0.26768	-0.24022
-0.08053	-0.27193	0.44913	-0.40855

5.)Relaciona-se as matrizes origemB com a matriz origemB, armazenando o resultado na matriz grupoBB.

Chamada da função relaciona_grupos

Relaciona_grupos(origemB, origemB, grupoBB, linhaB, colunaB, linhaB, colunaB);

Matriz de Correlação entre o grupo B e grupo B denominado de GRUPOBB

1.00000	-0.03955	-0.09916
-0.03955	1.00000	0.61724
-0.09916	0.61724	1.00000

A partir deste ponto podemos seguir os passos descritos por [Johnson & Wichern, 1988] onde a matriz grupoAA é equivalente a ρ_{11} , a matriz grupoAB é equivalente a ρ_{12} , a matriz grupoBA é equivalente a ρ_{21} a matriz grupoBB é equivalente a ρ_{22} .

6.) Com estas matrizes montadas aplicamos a seguinte equação $\rho_{11}^{-1/2} \rho_{12} \rho_{22}^{-1} \rho_{21} \rho_{11}^{-1/2}$ na função definida como correlação_canônica e obteremos como resultado os autovalores, a correlação canônica entre os grupos e os coeficientes para variáveis canônicas das variáveis independentes:

Como retorno desta função teremos as matrizes de resposta com o seguinte resultado.

A matriz e_result_Autovalor terá os seguintes valores

0.88159	0.49478	0.03244
---------	---------	---------

A matriz e_result_CorrelacaoCanonica terá os seguintes valores

0.93893	0.70340	0.18011
---------	---------	---------

A matriz e_result_CoeficientesCanonicas terá os seguintes valores

0.38739	0.62103	0.68105	0.02063
0.67858	0.25904	-0.61277	-0.31136
-0.54524	0.42747	-0.05787	-0.71877
0.30359	-0.60374	0.39666	-0.62128

7.) Para calcularmos os coeficientes de variáveis canônicas das variáveis dependentes utilizaremos a seguinte equação $\rho_{22}^{-1/2} \rho_{21} \rho_{11}^{-1} \rho_{12} \rho_{22}^{-1/2}$

Utilizaremos a mesma função nos dois casos, pois a forma de calcular a equação é a mesma, apenas há uma inversão das matrizes de entrada, pois ora é grupoAA, grupoAB, grupoBA e grupoBB e ora é grupoBB, grupoBA, grupoAB, grupoAA.

Exemplo de chamada da função `Correlacao_Canonica` para calcular o grupo de variáveis dependentes:

```
correlacao_canonica(f_result_Autovalor, f_result_CorrelacaoCanonica,
f_result_CoeficientesCanonicas, grupoBB, grupoBA, grupoAB, grupoAA,
colunaB, colunaB, colunaB, colunaA, colunaA, colunaB, colunaA, colunaA);
```

Como retorno desta função teremos as matrizes de resposta com o seguinte resultado.

A matriz `f_result_Autovalor` terá os seguintes valores

```
0.88159    0.49478    0.03244
```

A matriz `f_result_CorrelacaoCanonica` terá os seguintes valores

```
0.93893    0.70340    0.18011
```

A matriz `f_result_CoeficientesCanonicas` terá os seguintes valores

```
-0.60085    0.00473    -0.80598
```

```
0.66582    0.98679    -0.44670
```

```
0.15024    -1.23866    -0.27069
```

Note que as matrizes de `e_result_Autovalor` e `f_result_Autovalor` são iguais bem como as matrizes `e_result_CorrelacaoCanonica` e `f_result_CorrelacaoCanonica`.

O próximo algoritmo mostra como calcular os resultados mostrados aqui.

Função Correlação_Canonica para calcular os Autovalores, Correlação Canônica, Coeficientes para as variáveis canônicas dos grupos enviados pela função Combina_dois_Grupos

A função Correlação Canônica tem os seguintes formato

```
void      correlacao_canonica  (float  *result_Autovalor,   float
*result_CorrelacaoCanonica,   float  *result_CoeficientesCanonicas,float
*grupoAA,float  *grupoAB,float  *grupoBA,float  *grupoBB,int  linhaAA,int
colunaAA,int linhaAB,int colunaAB,int linhaBA,int colunaBA,int linhaBB,int
colunaBB)
```

```
// o vetor result_Autovalor armazenará os autovalores
```

```
// o vetor result_CorrelacaoCanonica armazenará a
CorrelacaoCanonica
```

```
// o vetor result_CoeficientesVariaveisCanonicas armazenará os
coeficientes das variaveis canonicas
```

```
// as matrizes grupoAA -> tem como referencia linha A e coluna A ->
dentro da equação entenderemos como  $\rho_{11}$ 
```

```
// as matrizes grupoAB -> tem como referencia linha A e coluna B ->
dentro da equação entenderemos como  $\rho_{12}$ 
```

```
// as matrizes grupoBA -> tem como referencia linha B e coluna A ->
dentro da equação entenderemos como  $\rho_{21}$ 
```

```
// as matrizes grupoBB -> tem como referencia linha B e coluna B ->
dentro da equação entenderemos como  $\rho_{22}$ 
```

```
//-----
```

Matriz de Correlacao GrupoAA (ρ_{11})

1.00000	0.37489	0.29326	0.43579
0.37489	1.00000	-0.05326	0.12987
0.29326	-0.05326	1.00000	0.28080
0.43579	0.12987	0.28080	1.00000

Matriz de Correlacao GrupoAB (ρ_{12})

0.17397	-0.50843	-0.08053	-0.22741
0.51009	-0.57535	-0.27193	-0.01503
-0.32574	0.26768	0.44913	-0.11326
0.16051	-0.24022	-0.40855	1.09999

Matriz de Correlacao GrupoBA (ρ_{21})

0.17397	0.51009	-0.32574	0.16051
-0.50843	-0.57535	0.26768	-0.24022
-0.08053	-0.27193	0.44913	-0.40855

Matriz de Correlacao GrupoBB (ρ_{22})

1.00000	-0.03955	-0.09916
-0.03955	1.00000	0.61724
-0.09916	0.61724	1.00000

1.) Para calcular a equação $\rho_{11}^{-1/2}\rho_{12}\rho_{22}^{-1}\rho_{21}\rho_{11}^{-1/2}$ tem-se que achar os elementos que estão faltando.

2.) Para calcular $\rho_{11}^{-1/2}$ utiliza-se a função `root_square` mostrada no anexo com a listagem das funções estatísticas, usando como base a matriz grupoAA e o resultado será armazenado na matriz `matAARootinv`. Calcula-se primeiro $\rho_{11}^{1/2}$ armazenando o resultado em `matAARoot` e calcula-se em seguida a inversa da matriz e armazenando o resultado em `matAARootinv`

root square grupo AA armazenada em matAARoot

0.94726	0.19251	0.14223	0.21311
0.19251	0.97908	-0.04438	0.04861
0.14223	-0.04438	0.98029	0.12973
0.21311	0.04861	0.12973	0.96716

Inversa da root square grupo AA armazenada em matAArootinv

1.17551	-0.22668	-0.15072	-0.22741
-0.22668	1.07043	0.08333	-0.01503
-0.15072	0.08333	1.06071	-0.11326
-0.22741	-0.01503	-0.11326	1.09999

3.) Para calcular ρ_{22}^{-1} utiliza-se a função inversa utilizando como base a matriz grupoBB o resultado será armazenado em matBBinv.

inversa do grupo BB armazenando o resultado em matBBinv

1.01067	-0.03536	0.12204
-0.03536	1.61666	-1.00137
0.12204	-1.00137	1.63016

4.) Após calcular os elementos faltantes tem-se que calcular a equação definida acima. Por uma questão de organização separou-se a equação em partes:

Mult1 = matAArootinv * grupoAB ($\rho_{11}^{-1/2}$ ρ_{12});

0.10147	-0.45296	-0.00780
0.47703	-0.47471	-0.22926
-0.34740	0.33982	0.51214
0.16622	-0.17028	-0.47787

Mult2 = Mult1 * matBBinv (Mult1* ρ_{22}^{-1});

0.11762	-0.72805	0.45324
0.47093	-0.55474	0.15985
-0.30063	0.04881	0.45219
0.11570	0.19736	-0.58820

Mult3 = Mult2 * grupoBA(Mult2* ρ_{21});

0.35412	0.35563	-0.02963	0.00860
0.35110	0.51592	-0.23010	0.14354
-0.11353	-0.30439	0.31408	-0.24472

-0.03285 0.10542 -0.24904 0.21147

Mult4 = Mult3 * matAArootinv(Mult3* $\rho_{11}^{-1/2}$);

0.33818 0.29781 -0.05614 -0.07306

0.29781 0.45134 -0.27025 0.09635

-0.05614 -0.27025 0.35261 -0.27437

-0.07306 0.09635 -0.27437 0.26671

O resultado da equação esta armazenada em mult4.

5.) Calcula-se autovalor e autovetor com a matriz mult4;

autovalor da matriz 4

0.88160 0.49478 0.03244 0.00000

6.) autovetor da matriz 4

0.38739 0.62103 0.68105 0.02063

0.67858 0.25904 -0.61277 -0.31136

-0.54524 0.42747 -0.05787 -0.71877

0.30359 -0.60374 0.39666 -0.62128

7.) Para obter a correlação canônica tira-se a raiz quadrada de cada elemento da matriz de autovalores.

raízes

0.93894

0.70341

0.18012

8.) Os pares de variáveis canônicas são obtidos multiplicando a matriz matAArootinv por cada autovetor.

Coeficientes para variável canônica do 1° autovalor

0.31471

0.58856

-0.61456

0.29740

Coefficientes para variável canônica do 2º autovalor

0.74417

0.18121

0.44978

-0.85764

Coefficientes para variável canônica do 3º autovalor

0.85800

-0.82108

-0.26002

0.29721

Coefficientes para variável canônica do 4º autovalor

0.34445

-0.38852

-0.72110

-0.60201

9.) Tem-se então os pares das variáveis canônicas, correlação canônica e os autovalores correspondentes, para conjunto das matrizes passadas como parâmetro.

Capítulo 4-RESULTADOS E CONCLUSÃO

A metodologia abordada nos itens anteriores foi aplicada ao experimento delineado e desenvolvido nas instalações da empresa PISA no período de 23 de Julho de 1998 a 31 de Março de 1999. Observou-se para os dados coletados de 15 de Setembro a 31 de Março, que contém a variável Teor de Resina, que o relacionamento entre as variáveis da 1ª fase (Madeira) e as variáveis da qualidade e ainda o relacionamento entre as variáveis da 2ª fase (Pasta) e as variáveis da qualidade comportam-se de acordo com as análises efetuadas abaixo. Primeiro relacionou-se as variáveis das fases (Madeira e Qualidade) e em seguida relacionou-se às variáveis (Pasta e Qualidade).

Correlação entre as Variáveis da Madeira e Variáveis de Qualidade

Legendas utilizadas para identificar as Variáveis de Madeira.

(1)	Densidade Básica
(2)	Umidade
(3)	Resina
(4)	Espessura da Fibra 4mm
(5)	Espessura da Fibra 6mm
(6)	Espessura da Fibra 8mm
(7)	Espessura da Fibra 18mm
(8)	Comprimento do Cavaco Finos
(9)	Comprimento do Cavaco Palitos
(10)	Comprimento do Cavaco > 45
(11)	Comprimento do cavaco < 45
(12)	Largura da Fibra
(13)	Diâmetro do Lúmen
(14)	Comprimento da Fibra
(15)	Espessura da Fibra

Legendas utilizadas para as Variáveis da Qualidade

(16)	Alvura
(17)	Tração
(18)	Rasgo
(19)	Densidade
(20)	CSF

Matriz de Correlação (Madeira X Madeira)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Densidade Básica(1)	1,000	0,143	0,039	-0,212	0,026	0,184	0,097	-0,221	-0,188	-0,011	0,172	-0,045	-0,195	0,153	0,246
Umidade (2)	0,143	1,000	0,122	0,130	-0,033	-0,155	-0,051	0,309	0,293	-0,006	-0,247	-0,003	0,052	-0,074	-0,085
Resina (3)	0,039	0,122	1,000	-0,117	-0,100	0,252	0,018	-0,007	-0,064	-0,134	0,148	0,113	-0,046	0,268	0,233
Espessura 4mm (4)	-0,212	0,130	-0,117	1,000	0,611	-0,885	-0,833	0,654	0,677	-0,099	-0,529	-0,084	0,079	-0,341	-0,239
Espessura 6mm (5)	0,026	-0,033	-0,100	0,611	1,000	-0,544	-0,834	0,296	0,251	-0,250	-0,085	-0,135	-0,127	-0,109	0,012
Espessura 8mm (6)	0,184	-0,155	0,252	-0,885	-0,544	1,000	0,590	-0,522	-0,628	-0,001	0,554	0,135	-0,101	0,434	0,346
Espessura 18mm (7)	0,097	-0,051	0,018	-0,833	-0,834	0,590	1,000	-0,588	-0,557	0,113	0,402	0,083	0,050	0,139	0,034
Comp. do Cavaco Finos (8)	-0,221	0,309	-0,007	0,654	0,296	-0,522	-0,588	1,000	0,720	-0,039	-0,601	-0,007	0,088	-0,275	-0,147
Comp. Do Cavaco Palitos (9)	-0,188	0,293	-0,064	0,677	0,251	-0,628	-0,557	0,720	1,000	0,084	-0,836	-0,077	0,059	-0,268	-0,197
Comp. Do Cavaco > 45 (10)	-0,011	-0,006	-0,134	-0,099	-0,250	-0,001	0,113	-0,039	0,084	1,000	-0,577	-0,013	0,081	-0,016	-0,149
Comp. Do Cavaco < 45 (11)	0,172	-0,247	0,148	-0,529	-0,085	0,554	0,402	-0,601	-0,836	-0,577	1,000	0,074	-0,107	0,270	0,272
Largura da Fibra (12)	-0,045	-0,003	0,113	-0,084	-0,135	0,135	0,083	-0,007	-0,077	-0,013	0,074	1,000	0,780	0,226	0,154
Diâmetro do Lúmen (13)	-0,195	0,052	-0,046	0,079	-0,127	-0,101	0,050	0,088	0,059	0,081	-0,107	0,780	1,000	-0,101	-0,497
Comprimento da Fibra (14)	0,153	-0,074	0,268	-0,341	-0,109	0,434	0,139	-0,275	-0,268	-0,016	0,270	0,226	-0,101	1,000	0,470
Espessura da Fibra (15)	0,246	-0,085	0,233	-0,239	0,012	0,346	0,034	-0,147	-0,197	-0,149	0,272	0,154	-0,497	0,470	1,000

Matriz de Correlação (Madeira x Qualidade)

	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
Densidade Básica(1)	0,213	-0,164	-0,030	-0,134	0,125
Umidade (2)	0,279	-0,074	-0,167	-0,125	-0,017
Resina (3)	0,344	-0,313	-0,203	-0,172	-0,040
Espessura 4mm (4)	-0,277	0,562	0,377	0,412	-0,281
Espessura 6mm (5)	-0,086	0,281	0,301	0,177	-0,064
Espessura 8mm (6)	0,307	-0,537	-0,339	-0,359	0,112
Espessura 18mm (7)	0,120	-0,399	-0,323	-0,296	0,261
Comp. do Cavaco Finos (8)	-0,184	0,355	0,160	0,339	-0,303
Comp. Do Cavaco Palitos (9)	-0,140	0,405	0,191	0,307	-0,172
Comp. Do Cavaco > 45 (10)	0,102	-0,127	-0,181	-0,092	0,106
Comp. Do Cavaco < 45 (11)	0,102	-0,299	-0,078	-0,191	0,074
Largura da Fibra (12)	0,004	-0,026	0,061	-0,046	-0,059
Diâmetro do Lúmen (13)	-0,114	0,142	0,081	0,113	-0,130
Comprimento da Fibra (14)	0,359	-0,319	-0,072	-0,195	0,066
Espessura da Fibra (15)	0,186	-0,262	-0,045	-0,247	0,119

Matriz de Correlação (Qualidade X Qualidade)

	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
Alvura (16)	1,000	-0,511	-0,563	-0,244	0,035
Tração (17)	-0,511	1,000	0,642	0,546	-0,266
Rasgo (18)	-0,563	0,642	1,000	0,375	-0,097
Densidade (19)	-0,244	0,546	0,375	1,000	-0,514
CSF (20)	0,035	-0,266	-0,097	-0,514	1,000

As variáveis canônicas determinadas a partir da Matriz de Correlação (acima) possuem os coeficientes e correlações canônicas mostrados na tabelas a seguir:

Coeficientes das Variáveis Canônicas (Madeira X Qualidade)					
Densidade Básica	0,0154	0,2461	0,1820	0,2230	-0,0943
Umidade	0,4090	0,2288	-0,0321	-0,3863	0,6166
Resina	0,3308	0,0680	-0,1066	0,1847	0,1638
Espessura 4mm	5,0451	3,4506	16,772	13,174	-3,812
Espessura 6mm	3,676	1,430	11,006	8,185	-2,382
Espessura 8mm	3,343	2,373	12,525	9,828	-2,777
Espessura 18mm	5,460	2,019	17,274	13,541	-3,731
Finos	-0,1941	-0,1712	-0,6517	0,8725	0,229
Palitos	0,1475	0,6539	-0,006	2,9568	0,1551
> 45	0,4121	0,2911	-0,3950	2,245	0,015
< 45	-1,045	0,2543	-4,9440	1,0320	0,4542
Largura da Fibra	-4,4024	1,1445	6,6182	15,170	7,7824
Diâmetro do Lúmen	4,9333	-1,1710	-7,5559	-17,5577	-9,1730
Comprimento da Fibra	0,2505	0,5351	0,2174	0,2590	-0,1260
Espessura da Fibra	3,2267	0,9628	-4,6754	-11,5029	-6,0420
Alvura	0,5428	0,9325	0,3946	-0,1017	0,4837
Tração	-0,5765	0,1867	0,4204	0,7612	1,050
Rasgo	0,2708	0,8494	0,404	-0,0139	-1,0068
Densidade	-0,3134	-0,0889	0,0964	-1,3023	0,0800
CSF	0,04592	-0,4644	0,9652	-0,4585	0,1760

Correlação Canônica entre Madeira e Qualidade

Correlação Canônica				
0,734628	0,48529	0,44777	0,3558	0,30075

As correlações entre os coeficientes das variáveis canônicas e as variáveis originais estão no quadro abaixo entre as fases(Madeira X Qualidade)

Variáveis da Madeira	$\rho(U,X^{(1)})$	$\rho(V,X^{(1)})$	Variáveis da Qualidade	$\rho(U,X^{(2)})$	$\rho(V,X^{(2)})$
Densidade Básica	0,33974	0,249624	Alvura	0,560679	0,763238
Umidade	0,254806	0,187250	Tração	-0,634589	-0,863593
Resina	0,495817	0,364301	Rasgo	-0,386937	-0,526512
Espessura 4mm	-0,700028	-0,514245	Densidade	-0,501942	-0,683097
Espessura 6mm	0,253108	-0,185881	CSF	0,259521	0,353193
Espessura 8mm	0,683221	0,501915			
Espessura 18mm	0,425289	0,312376			
Finos	-0,519738	-0,381833			
Palitos	-0,493267	-0,362354			
> 45	0,153683	0,112888			
< 45	0,368190	0,27085			
Larg. Da Fibra	0,061851	0,045453			
Diâmetro do Lúmen	0,222005	-0,163113			
Comprimento da Fibra	0,576226	0,423559			
Espessura da Fibra	0,437881	0,32239			

Observa-se que a espessura de 4 mm tem uma forte correlação inversa com as variáveis do conjunto Qualidade. Já espessura de 8 mm tem uma correlação de moderada para forte com as variáveis do conjunto Qualidade e as variáveis comprimento da fibra, finos e teor de resina têm correlações moderadas com aquele conjunto de variáveis. As demais variáveis são menos correlacionadas com as variáveis da qualidade.

A seguir será relacionado as etapas de (Pasta e Qualidade).

Correlação entre as Variáveis da Pasta e Variáveis de Qualidade

Legendas utilizadas para Identificar as variáveis da Pasta

(1)	Produção
(2)	CS-04
(3)	CSF-04
(4)	Gapte-04
(5)	Gapde-04
(6)	Pressão Te-04
(7)	Pressão De-04
(8)	Diluição – 04
(9)	Pressão de Operação – 04
(10)	Potência – 04
(11)	CEE-04
(12)	Durabilidade Discos Externo – 04
(13)	Durabilidade Discos Interno Estator – 04
(14)	Durabilidade Disco Interno Rotor – 04
(15)	CS – 05
(16)	CSF – 05
(17)	Gapte – 05
(18)	Gapde – 05
(19)	Pressão Te – 05
(20)	Pressão De – 05
(21)	Diluição – 05
(22)	Pressão de Operação Disco – 05
(23)	Potência – 05
(24)	CEE – 05
(25)	Durabilidade Disco Externo – 05
(26)	Durabilidade Disco Interno – 05
(27)	Durabilidade Disco Interno Rotor – 05

Legendas utilizadas para as Variáveis da Qualidade

(28)	Alvura
(29)	Tração
(30)	Rasgo
(31)	Densidade
(32)	CSF

Matriz de Correlação entre as Variáveis de Pasta e Pasta

	(01)	(02)	(03)	(04)	(05)	(06)	(07)	(08)	(09)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
Produção (01)	1,000	-0,451	0,175	0,516	0,348	-0,527	-0,532	0,284	-0,739	0,297	-0,693	-0,077	0,085	0,577	-0,437	0,113	-0,318	0,075	-0,232	-0,214	-0,334	-0,774	-0,107	-0,722	0,029	-0,069	0,030
CS-04 (02)	-0,451	1,000	-0,096	-0,334	-0,320	0,424	0,429	-0,209	0,590	0,184	0,543	-0,152	0,206	-0,608	0,592	0,000	0,385	-0,162	0,262	0,258	0,151	0,477	0,175	0,402	0,316	0,279	-0,162
CSF-04 (03)	0,175	-0,096	1,000	0,223	0,206	-0,129	-0,135	-0,044	-0,128	0,153	-0,049	-0,016	0,029	0,014	-0,031	0,262	0,116	0,093	-0,041	-0,042	-0,081	-0,152	0,246	0,061	0,110	-0,010	-0,026
Gapte-04 (04)	0,516	-0,334	0,223	1,000	0,793	-0,648	-0,651	0,366	-0,720	0,405	-0,165	-0,290	-0,343	0,540	-0,321	0,282	-0,226	0,308	-0,175	-0,170	0,170	-0,600	0,172	-0,212	-0,294	-0,450	0,098
Gapde-04 (05)	0,348	-0,320	0,206	0,793	1,000	-0,669	1,000	0,998	-0,118	0,747	-0,062	-0,032	0,286	-0,675	0,283	-0,105	0,360	-0,379	0,381	0,409	0,008	0,530	0,004	0,345	0,243	0,376	-0,160
Pressão Te-04 (06)	-0,527	0,424	-0,129	-0,648	-0,669	1,000	0,998	1,000	0,998	0,674	0,228	-0,668	0,202	-0,163	-0,198	0,281	-0,280	0,426	-0,202	-0,199	0,258	-0,443	0,112	-0,145	-0,343	0,570	0,112
Pressão De-04(07)	-0,532	0,429	-0,135	-0,651	-0,674	0,998	1,000	-0,120	0,750	-0,062	0,438	-0,032	0,286	-0,675	0,283	-0,105	0,360	-0,379	0,381	0,409	0,008	0,530	0,004	0,345	0,243	0,376	-0,160
Diluição - 04 (08)	0,284	-0,209	-0,044	0,366	0,228	-0,118	-0,120	1,000	-0,334	0,615	0,211	-0,420	-0,050	0,221	-0,236	0,240	-0,251	-0,174	0,332	0,314	0,357	-0,289	0,037	-0,144	-0,182	-0,103	-0,148
Pressão Op.(09)	-0,739	0,590	-0,128	-0,720	-0,668	0,747	0,750	-0,334	1,000	-0,232	0,490	0,118	0,342	-0,846	0,541	-0,159	0,543	-0,401	0,225	0,200	0,024	0,789	-0,006	0,467	0,356	0,488	-0,121
Potência (10)	0,297	0,184	0,153	0,405	0,202	-0,062	-0,062	0,615	0,232	1,000	0,480	-0,547	0,049	0,018	0,001	0,257	-0,032	-0,025	0,387	0,356	0,261	-0,189	0,309	0,022	0,077	0,015	-0,197
CEE-04 (11)	-0,693	0,543	-0,049	-0,165	-0,163	0,432	0,438	0,211	0,490	0,480	1,000	-0,492	-0,059	-0,502	0,394	0,094	0,258	-0,083	0,502	0,463	0,509	0,564	0,318	0,672	0,019	0,034	-0,175
Dur.D. Ext.-04 (12)	0,077	-0,152	-0,016	-0,290	-0,198	-0,032	-0,039	-0,420	0,118	-0,547	-0,492	1,000	0,317	-0,004	0,031	-0,243	0,002	0,018	-0,202	-0,165	-0,245	-0,022	-0,104	-0,128	0,092	0,323	-0,015
(13)	0,085	0,206	0,029	-0,343	-0,498	0,286	0,275	-0,050	0,342	0,049	-0,059	0,317	1,000	-0,259	0,222	-0,141	0,090	-0,224	0,217	0,249	-0,425	-0,054	0,220	0,076	0,352	0,983	0,144
(14)	0,577	-0,608	0,014	0,540	0,507	-0,675	-0,677	0,221	-0,846	0,018	-0,502	-0,004	-0,259	1,000	-0,513	0,106	-0,651	0,492	-0,260	-0,242	-0,057	-0,637	0,020	-0,354	-0,403	-0,358	0,168
CS-05 (15)	-0,437	0,592	-0,031	-0,321	-0,280	0,283	0,280	-0,236	0,541	0,001	-0,394	0,031	0,222	-0,513	1,000	-0,164	0,413	-0,155	0,278	0,234	0,044	0,458	0,152	0,379	0,184	0,296	-0,124
CSF-05 (16)	0,113	0,000	0,262	0,282	0,281	-0,105	-0,101	0,240	-0,159	0,257	0,094	-0,243	-0,141	0,106	-0,164	1,000	0,028	0,134	0,061	0,031	0,072	-0,067	-0,014	-0,079	-0,196	-0,157	-0,091
Gapte-05 (17)	-0,318	0,385	0,116	-0,226	-0,280	0,360	0,367	-0,251	0,543	-0,032	0,258	0,002	0,090	-0,651	0,413	0,028	1,000	-0,288	0,085	0,001	-0,053	0,425	0,010	0,215	0,219	0,144	-0,123
Gapde-05 (18)	0,075	-0,162	0,093	0,308	0,426	-0,379	-0,376	-0,174	-0,401	-0,025	-0,083	0,018	-0,224	0,492	-0,155	0,134	-0,288	1,000	-0,124	-0,080	0,108	-0,227	0,420	0,238	-0,445	-0,258	0,045
Pressão Te-05 (19)	-0,232	0,262	-0,041	-0,175	-0,202	0,381	0,371	0,332	0,225	0,387	0,502	-0,202	0,217	-0,260	0,278	0,061	0,085	-0,124	1,000	0,928	0,386	0,249	0,380	0,416	-0,277	0,229	-0,334
Pressão De-05(20)	-0,214	0,258	-0,042	-0,170	-0,199	0,409	0,400	0,314	0,200	0,356	0,463	-0,165	0,249	-0,242	0,234	0,031	0,001	-0,080	0,928	1,000	0,412	0,175	0,446	0,451	-0,300	0,254	-0,317
Diluição - 05 (21)	-0,334	0,151	-0,081	0,170	0,258	0,008	0,015	0,357	0,024	0,261	0,509	-0,245	-0,057	0,044	0,072	-0,063	0,108	0,386	0,412	1,000	0,237	0,320	0,456	-0,478	-0,381	-0,360	
(22)	-0,774	0,477	-0,152	-0,600	-0,443	0,530	0,535	-0,289	0,789	-0,189	0,564	-0,022	-0,054	-0,637	0,458	-0,067	0,425	-0,227	0,249	0,175	0,237	1,000	-0,069	0,451	0,161	0,104	-0,190
Potência - 05 (23)	-0,107	0,175	0,246	0,172	0,112	0,004	-0,003	0,037	-0,006	0,309	0,318	-0,104	0,220	0,020	0,152	-0,014	0,010	0,420	0,380	0,446	0,320	-0,069	1,000	0,762	-0,332	0,199	-0,141
CEE-05 (24)	-0,722	0,402	0,061	-0,212	-0,145	0,345	0,344	-0,144	0,467	0,022	0,672	-0,128	0,076	-0,354	0,379	-0,079	0,215	0,238	0,416	0,451	0,456	1,000	0,762	1,000	-0,267	0,162	-0,138
Durabilidade Disco Externo - 05 (25)	0,029	0,316	0,110	-0,294	-0,343	0,243	0,239	-0,182	0,356	0,077	0,019	0,092	0,352	-0,403	0,184	-0,196	0,219	-0,445	-0,277	-0,300	-0,478	0,161	-0,332	-0,267	1,000	0,373	0,217
(26)	-0,069	0,279	-0,010	-0,450	-0,570	0,376	0,366	-0,103	0,488	-0,015	0,034	0,323	0,983	-0,358	0,296	-0,157	0,144	-0,258	0,229	0,254	0,381	1,000	0,162	0,373	1,000	0,113	
(27)	0,030	-0,162	-0,026	0,098	0,112	-0,160	-0,167	-0,148	-0,121	-0,197	-0,175	-0,015	0,144	0,168	-0,124	-0,091	-0,123	0,045	-0,334	-0,317	-0,360	-0,190	-0,141	-0,138	0,217	0,113	1,000

Correlação entre as Variáveis de Pasta com as Variáveis de Qualidade

Matriz de Correlação Pasta e Qualidade					
	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)
Produção (01)	0,608	-0,662	-0,617	-0,421	0,122
CS-04 (02)	-0,503	0,320	0,552	0,244	0,002
CSF-04 (03)	0,032	-0,062	0,037	-0,230	0,262
Gapte-04 (04)	0,579	-0,400	-0,280	-0,365	0,315
Gapde-04 (05)	0,562	-0,306	-0,196	-0,327	0,307
Pressão Te-04 (06)	-0,621	0,456	0,417	0,367	-0,117
Pressão De-04 (07)	-0,630	0,466	0,417	0,361	-0,112
Diluição – 04 (08)	0,311	-0,192	-0,202	-0,029	0,257
Pressão de Operação (09)	-0,811	0,549	0,579	0,419	-0,182
Potência (10)	0,150	-0,082	0,048	-0,070	0,254
CEE-04 (11)	-0,433	0,537	0,587	0,330	0,084
Durabilidade Disco Externo – 04 (12)	-0,056	-0,123	-0,133	0,017	-0,255
Durabil.Disco interno Est. – 04 (13)	-0,353	-0,039	0,096	0,098	-0,168
Durabil. Disco Interno rotor - 04 (14)	0,618	-0,412	-0,538	-0,339	0,123
CS-05 (15)	-0,364	0,276	0,331	0,269	-0,173
CSF-05 (16)	0,006	-0,271	-0,086	-0,521	0,975
Gapte-05 (17)	-0,357	0,152	0,311	0,100	0,015
Gapde-05 (18)	0,236	0,015	0,007	-0,221	0,142
Pressão Te-05 (19)	-0,140	0,196	0,193	0,299	0,077
Pressão De-05 (20)	-0,134	0,216	0,205	0,284	0,056
Diluição – 05 (21)	0,059	0,292	0,210	0,249	0,125
Pressão de Operação disco -05. (22)	-0,630	0,597	0,532	0,430	-0,080
Potência - 05 (23)	-0,038	0,241	0,274	0,103	0,026
CEE-05 (24)	-0,415	0,600	0,576	0,342	-0,057
Durabilidade Disco Externo – 05 (25)	-0,336	0,080	0,269	0,124	-0,250
Durabil.Disco int.no Estator – 05 (26)	-0,480	0,076	0,185	0,172	-0,186
Durabil. Disco Interno rotor – 05 (27)	0,149	-0,055	0,026	-0,092	-0,105

Correlação entre as Variáveis de Qualidade entre Si.

Matriz de Correlação QualidadeXQualidade					
	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)
Alvura (28)	1,000	-0,511	-0,563	-0,244	0,035
Tração (29)	-0,511	1,000	0,642	0,546	-0,266
Rasgo (30)	-0,563	0,642	1,000	0,375	-0,097
Densidade (31)	-0,244	0,546	0,375	1,000	-0,514
CSF (32)	0,035	-0,266	-0,097	-0,514	1,000

Coeficientes das variáveis Canônicas (Pasta X Qualidade)

As variáveis canônicas determinadas a partir da Matriz de Correlação (acima) possuem os coeficientes e correlações canônicas mostrados na tabelas a seguir:

Coeficientes Para Variáveis Canônicas.					
Produção	-0,0467	-1,1019	-1,1970	0,8526	1,2457
CS-04	-0,0666	0,0408	0,1330	-0,4793	0,2123
CSF-04	-,0190	0,0612	0,0241	0,0840	-0,1615
Gapte-04	-0,0451	0,1469	-0,0170	-0,0703	0,1352
Gapde-04	0,0082	-0,0233	0,1225	-0,4718	-0,1229
Pressão Te-04	0,0745	-1,5556	0,4743	-3,1779	5,3158
Pressão De-04	-0,0970	1,1768	-0,5204	3,6149	-5,1450
Diluição - 04	-0,0349	-0,1060	0,2881	-0,1263	0,3861
Pressão de Oper.	0,0379	0,3169	-0,2408	-1,4113	-1,1326
Potência	0,1723	1,1872	0,9432	2,0188	-4,1836
CEE-04	-0,1216	-1,5426	-1,4382	-2,5796	4,7857
Durabilidade Disco Externo - 04	0,0049	-0,0980	0,0045	-0,1057	0,0120
Durabilidade Disco interno Estator - 04	0,0908	-2,0079	2,3075	-7,8173	-4,0135
Durabilidade Disco Interno rotor - 04	0,0260	0,0697	-0,2807	-0,3659	-0,1228

CS-05	0,0085	-0,1276	-0,0732	0,2720	-0,0541
CSF-05	-0,9656	0,1618	-0,1238	-0,0236	-0,0106
Gapte-05	0,0035	-0,0644	0,0110	-0,2332	0,2573
Gapde-05	0,0318	0,1028	0,3457	-0,0377	-0,3810
Pressão Te-05	0,0053	0,0014	-0,0239	0,1454	0,7103
Pressão De-05	-0,0012	0,0835	0,2133	-0,1146	-0,2828
Diluição - 05	-0,0260	-0,0073	0,2390	0,1319	0,4649
Pressão de Operação disco -05.	-0,0254	0,0556	0,3541	0,1190	0,1943
Potência - 05	-0,2338	-0,5040	0,7043	-2,4139	4,1014
CEE-05	0,2725	0,8467	-0,4938	3,8666	-5,6671
Durabilidade Disco Externo - 05	0,0651	0,2253	0,4293	-0,3396	0,1671
Durabilidade Disco interno Estator - 05	-0,0626	2,2156	-2,8807	7,6950	4,2530
Durabilidade Disco Interno rotor - 05	-0,0213	-0,0636	0,3568	0,3164	-0,0886
Alvura	0,0243	0,7062	-1,0156	-0,1778	-0,0454
Tração	-0,0322	-0,2450	-0,4189	-1,2991	0,5494
Rasgo	0,0140	-0,1559	-0,9024	1,0583	0,1163
Densidade	-0,0168	-0,1087	0,0300	-0,0160	-1,3434
CSF	0,9821	-0,2035	-0,1503	-0,2649	-0,5404

Correlação Canônica entre Processo e Qualidade.

Correlação Canônica				
0,979863	0,909272	0,707576	0,621093	0,515732

As correlações entre as primeiras variáveis canônicas e as variáveis originais estão no quadro abaixo entre as fases(Processo X Qualidade)

Variáveis da Pasta	$\rho(U, X^{(1)})$	$\rho(V, X^{(1)})$	Variáveis da Qualidade	$\rho(U, X^{(2)})$	$\rho(V, X^{(2)})$
Produção	-0,158006	0,154833	Alvura	-0,069831	0,071280
CS-04	0,017304	-0,016962	Tração	0,300264	-0,306444
CSF-04	-0,270093	0,264655	Rasgo	0,119857	-0,122338

Gapte-04	-0,345871	0,338915	Densidade	0,529314	-0,540198
Gapde-04	-0,334793	0,328059	CSF	-0,978740	0,998855
Pressão Te-04	0,147780	-0,144814			
Pressão De-04	0,143067	-0,140196			
Diluição - 04	-0,269227	0,263809			
Pressão de Oper.	0,219133	-0,214732			
Potência	-0,263338	0,258036			
CEE-04	-0,058806	0,057614			
Durabilidade Disco Externo - 04	0,255260	-0,250120			
Durabilidade Disco interno Estator – 04	0,176102	-0,172560			
Durabilidade Disco Interno rotor - 04	-0,150255	0,147238			
CS-05	0,191834	-0,187975			
CSF-05	-0,993594	0,973585			
Gapte-05	-0,003768	0,003687			
Gapde-05	-0,151789	0,148736			
Pressão Te-05	-0,065345	0,064025			
Pressão De-05	-0,043928	0,043040			
Diluição - 05	-0,115990	0,113653			
Pressão de Operação disco -05.	0,115622	-0,113303			
Potência - 05	-0,019041	0,018656			
CEE-05	0,084781	-0,083081			
Durabilidade Disco Externo - 05	0,260244	-0,255007			
Durabilidade Disco interno Estator – 05	0,201032	-0,196990			
Durabilidade Disco Interno rotor – 05	0,098255	-0,096273			

Observa-se que o CSF-05 tem uma forte correlação inversa com as variáveis do conjunto Qualidade. As demais variáveis são menos correlacionadas com as variáveis da qualidade.

Observando os valores registrados vê-se que as correlações canônicas entre a fase Pasta e a fase Qualidade são significativamente superiores às correlações canônicas entre a fase Madeira e a fase Qualidade. De modo que se constata que a qualidade do papel produzido depende mais fortemente das variáveis do processo de produção (fase Pasta) do que das variáveis da madeira (fase Madeira).

Segundo [DEMING - 1990] qualquer mudança no processo de uma indústria só tem significado se as etapas estiverem sobre controle estatístico então sugere-se que a empresa implemente um Programa de Controle de Processo (CEP) para acompanhar e identificar as causas da variação das variáveis mais importantes, aqui citadas.

Anexo A – Manual do Sistema

O objetivo deste manual é mostrar ao usuário informações técnicas sobre a operação do software descrito nesta dissertação de Mestrado.

É importante que o usuário antes de operar este sistema tenha conhecimento do que foi tratado nesta dissertação, caso contrário encontrará dificuldades.

Considerações Iniciais

1.) Sistema Desenvolvido em C++ Builder 3.0

2.) Banco de Dados Paradox

3.) Os Campos com formato Data existentes na Base de Dados estão preparadas para aceitar ano apenas com 4 posições. Caso a configuração do micro esteja preparada para aceitar ano com duas posições favor verificar a configuração do Windows, seguindo os seguintes passos:

Vá com o ponteiro do mouse nas opções [Iniciar/Configurações/Painel de Controle/Configurações Regionais]. Selecione a palheta Data.

Ao Abrir esta palheta vá no campo 'Estilo de Data Abreviada' encontre a configuração que mostra dd/MM/aaaa e atualize.

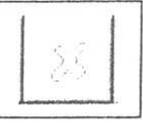
Verifique se o campo "Separador de Data" está configurado para '/', se não estiver de acordo deve ser alterado.

4) Campos de valores numéricos devem utilizar as separações para casas decimais com “,”(vírgula). Caso a configuração do micro esteja preparada para aceitar “.”(ponto), atualize a configuração do Windows utilizando os passos descritos a seguir:

Vá com o ponteiro do mouse nas opções [Iniciar/Configurações/Painel de Controle/Configurações Regionais]. Selecione a palheta Número, ao abrir a palheta vá ao campo símbolo decimal e verifique se está com vírgula, caso não esteja atualize.

Os Botões existentes no sistema são mostrados abaixo para facilitar o entendimento

	Primeiro Registro: Esta opção possibilita aos usuários irem ao início da Tabela. Irá aparecer nas Telas que são utilizadas para cadastrar Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc..
	Registro Anterior: Esta opção possibilita aos usuários irem a um registro anterior ao atual na Tabela. Irá aparecer nas Tabelas que são utilizadas para cadastrar Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc..
	Próximo Registro: Esta opção possibilita aos usuários irem a um registro posterior ao atual na Tabela. Irá aparecer nas Telas que são utilizadas para cadastrar Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc..
	Último Registro: Esta opção possibilita aos usuários irem ao último registro da Tabela. Irá aparecer nas Telas que são utilizadas para cadastrar Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc..
	Inclusão do Registro: Esta opção possibilita aos usuários criarem um novo registro na Tabela. Irá aparecer nas Telas que são utilizadas para o cadastro de Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc
	Alteração do Registro: Esta opção possibilita aos usuários alterarem o registro da Tabela. Irá aparecer nas Telas que são utilizadas para o Cadastro de Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc. Por motivos de segurança os campos a serem alterados serão mostrados em cada tela.
	Exclusão do Registro: Esta opção possibilita aos usuários excluïrem o registro da Tabela. Irá aparecer nas Telas que são utilizadas para o Cadastro de Informações, como por exemplo: Cadastro de Conjunto, Variáveis, Experimento e etc. Por motivos de segurança o sistema só permitirá a exclusão de registros em alguns casos que serão citados nas telas que aparecerem.
	Sair do Cadastro: Esta opção permite ao usuário voltar a tela anterior do sistema. Quando o usuário estiver na Tela Menu de Opções clicando nesta opção o usuário estará saindo do sistema.

	Confirme: Esta opção solicita ao usuário confirmação da operação desejada, normalmente esta opção fica desabilitada. As vezes em que aparece habilitada é porque o usuário quer Incluir ou Alterar um registro.
	Cancela: Esta opção permite ao usuário que desista de incluir ou alterar o registro.

Observação: A navegação entre os campos ou botões pode ser feita apontando com a seta do mouse na opção desejada, ou apertando a tecla TAB.

A seguir demonstra-se as telas existentes no sistema e suas funcionalidades.

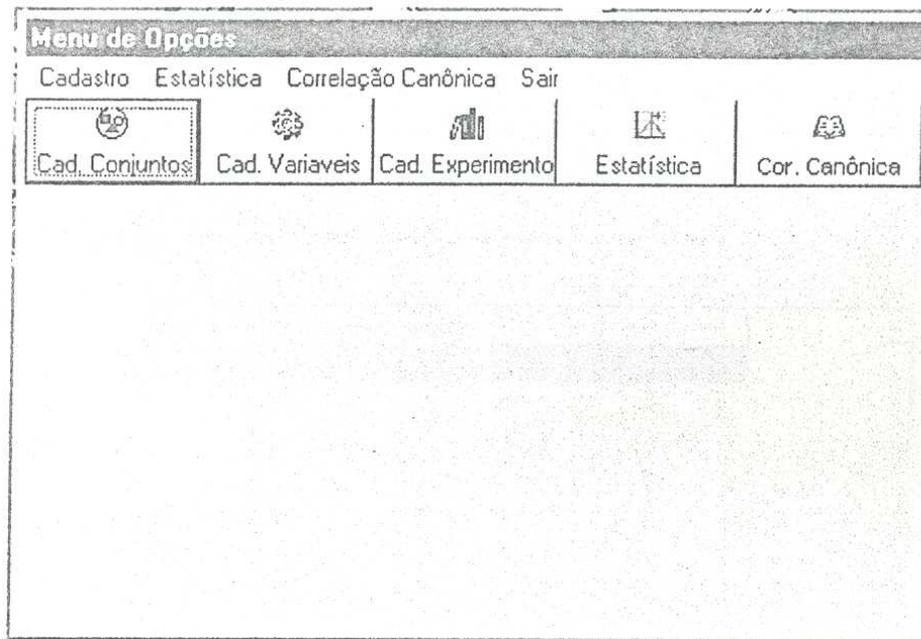
Tela de Abertura.



Identificação do sistema, para acessar às opções do sistema o usuário deve clicar em qualquer parte cinza da tela.

Ao sair desta tela o usuário terá acesso ao Menu de Opções descrito a seguir.

Tela Menu de Opções.



Esta é uma Tela de navegação no sistema. Permite ao usuário acessar as seguintes opções:

- Cadastro de Conjuntos;
- Cadastro de Variáveis;
- Cadastro de Experimento;
- Estatística;
- Correlação Canônica.
- Sair do Sistema.

Cada uma destas opções está descrito a seguir.

Cadastro de Conjuntos

Cadastro de Conjuntos

Dados Cadastrais

Código do Conjunto
00001

Descrição do Conjunto
MADEIRA

Código do Conjunto	Descrição do Conjunto
00001	MADEIRA
00002	INDÚSTRIA
00003	QUALIDADE

Nesta tela o usuário poderá incluir as fases existentes na Indústria. Este tabela é importante, pois é com os dados desta que o sistema poderá fazer as análises de Correlação Canônica.

Todas as variáveis cadastradas no sistema terão que ter a ligação com um dos registros cadastrados nesta tabela. (Ver Cadastro de Variáveis).

Ao Incluir um novo registro na base de dados, o sistema sugere um número de Código para o Conjunto. É aconselhável não alterar este número.

Descrição do Conjunto: Informe um nome significativo que identifique a fase do processo existente na empresa.

Quanto a exclusão do registro o sistema só permitirá excluir o Conjunto/Fase se no cadastro de variáveis não existir nenhuma informação relacionado ao Conjunto.

Quanto a alteração do registro o sistema permite modificar o nome da fase/conjunto, sem causar transtornos para o sistema.

Cadastro de Variáveis.

Cadastro de Variáveis

Dados Cadastrais

Código do Variável
00001

Conjunto
MADEIRA

Descrição da Variável
DENSIDADE BASICA

NomeConjunto	Codigo da Variavel	Descricao da Variavel
MADEIRA	00001	DENSIDADE BASICA
MADEIRA	00002	UMIDADE
MADEIRA	00003	RESINA
MADEIRA	00004	ESPESSURA 4 mm

Esta tabela permite ao usuário identificar as variáveis que serão controladas no experimento estatístico. É necessário que cada variável cadastrada pertença a uma fase/conjunto

Ao Incluir um novo registro na base de dados, o sistema sugere um número de Código para cada variável. É aconselhável não alterar este número.

Conjunto. Para preencher este campo o usuário pode escolher um dos conjuntos já cadastrados no Cadastro de Conjuntos.

Descrição da Variável: Informe um nome significativo que identifique a variável do processo.

Quanto a exclusão de uma variável do registro o sistema só permitirá excluir a variável do cadastro se não houver nenhum dado coletado referente a variável.

Quanto a alteração do registro o sistema permite modificar o nome da variável, sem causar transtornos para o sistema.

Cadastro de Experimento

Identificação do Experimento

⏪ ⏴ ⏵ ⏩
✓
✗
+
-
📄
📄
📄
↔
📄

Dados Cadastrais

Identificação do Experimento	Data	Hora	
<input type="text" value="00001"/>	<input type="text" value="23/07/1998"/>	<input type="text" value="15:00:00"/>	
Responsável	<input type="text"/>		
Observação	<input type="text"/>		

Codigo Identificacao	Data do Experimento	Hora do Experimento	Responsável
00001	23/07/1998	15:00:00	
00002	24/07/1998	09:00:00	
00003	24/07/1998	15:00:00	

Esta tabela permite ao usuário personalizar cada observação. Esta identificação é necessária para a utilização do sistema pois ao utilizar a parte Estatística ou a Análise de Correlação Canônica o sistema disponibiliza ao usuário selecionar as amostras por um determinado intervalo.

Ao Incluir um novo registro na base de dados, o sistema sugere um número de Identificação do Experimento.

Campo Data. O campo tem o seguinte formato: dd/mm/aaaa. Ao incluir um novo registro o sistema já preenche este campo com as informações do sistema (WINDOWS).

Campo Hora. O campo hora aceita o seguinte formato hh:mm:ss. Ao incluir um novo registro o sistema já preenche este campo com as informações do sistema (WINDOWS).

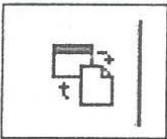
Campo Responsável. A nível de controle dos dados o sistema permite cadastrar o responsável pelas informações.

Campo Observação. Este é um campo livre onde o responsável indica se houve alguma anormalidade nos dados coletados.

Quanto a exclusão de uma observação basta clicar no botão indicado que todas as informações referentes serão eliminadas. Por isso cautela ao utilizar esta opção.

Quanto a alteração do registro o sistema permite modificar os campos data, hora, responsável, observação, sem causar transtornos para o sistema. A ordenação do sistema é pela Identificação do Experimento.

Note que no cabeçalho da tela existe um novo botão, que está descrito abaixo

	<p>Mostra Dados: Esta opção possibilita Inserir/Consultar/Alterar os valores observados nas variáveis definidas no Cadastro de Variáveis . A opção existente possibilitará ao usuário ir para a Tela 'Cadastro dos Dados da Amostra'.</p>
---	---

Tela Cadastro dos Dados da Amostra.

Cadastro dos Dados da Amostra			
Dados Cadastrais			
Código do Experimento			
00001	23/07/1998	15:00:00	
Conjunto	Descrição da Variável	Valor	
MADEIRA	DENSIDADE BÁSICA	0,385	▲
MADEIRA	UMIDADE	55,2	
MADEIRA	ESPESSURA 4 mm	19,78	
MADEIRA	ESPESSURA 6 mm	40,84	
MADEIRA	ESPESSURA 8 mm	23,16	
MADEIRA	ESPESSURA 18 mm	13,59	
MADEIRA	FINOS	0,2576	
MADEIRA	PALITOS	1,3560	▼

O usuário terá acesso a esta tela através do item Cadastro do Experimento. Quando for cadastrado uma novo Experimento/Observação aparecerá nesta tela os registros com o nome do conjunto e descrição da variável. A coluna valor estará em branco. Para incluir os valores observados para cada variável o usuário deverá com a seta do mouse posicionar na coluna Valor no registro pretendido e digitar o conteúdo. Observe que os valores devem ser preenchidos com a separação decimal “,”.

Importante: Não deixar nenhum valor em branco. Quando o valor coletado for zero deve-se incluir o valor zerado. Quando a informação de determinada variável for perdida é aconselhável não registrar os valores de toda a observação.

O sistema permitirá fazer a alteração dos campos valores. Os outros campos o sistema não permite fazer a alteração.

Tela de Métodos Estatísticos.

Métodos Estatísticos

Filtrar pesquisas por intervalo de Experimento População 184

Variáveis do Experimento	Variáveis Resposta	
<input checked="" type="checkbox"/> M - DENSIDADE BÁSICA	média	soma
<input type="checkbox"/> M - UMIDADE	mediana	mínimo
<input type="checkbox"/> M - RESINA	máximo	amplitude
<input type="checkbox"/> M - ESPESSURA 4 mm	variância	desvio padrão
<input type="checkbox"/> M - ESPESSURA 6 mm	erro padrão	correlação
<input type="checkbox"/> M - ESPESSURA 8 mm	mat correlaçãc	histograma
<input type="checkbox"/> M - ESPESSURA 18 mm		
<input type="checkbox"/> M - FINOS		
<input type="checkbox"/> M - PALITOS		
<input type="checkbox"/> M - > 45		
<input type="checkbox"/> M - < 45		
<input type="checkbox"/> M - LARGURA DA FIBRA	def. dos limites de controle	
<input type="checkbox"/> M - DIÂMETRO LÚMEN	gráficos: média e amplitude	
<input type="checkbox"/> M - COMP. FIBRA	gráficos: média e d. padrão	
<input type="checkbox"/> M - ESPESSURA DA FIBRA	Tamanho n da a.a	
<input type="checkbox"/> I - PRODUÇÃO	Gráfico C	Gráfico P
<input type="checkbox"/> I - CS-04	Gráfico de Pareto	
<input type="checkbox"/> I - CSF-04		
<input type="checkbox"/> I - GAPTE-04		
<input type="checkbox"/> I - GAPDE-04		
<input type="checkbox"/> I - PRESSÃO TE-04		
<input type="checkbox"/> I - PRESSÃO DE-04		
<input type="checkbox"/> I - DILUIÇÃO - 04		
<input type="checkbox"/> I - PRESSÃO OPERAÇÃO - 04		
<input type="checkbox"/> I - POTÊNCIA - 04		
<input type="checkbox"/> I - CEE - 04		
<input type="checkbox"/> I - Durabilidade Disco Externo - 04		
<input type="checkbox"/> I - Durabilidade Disco Interno - 04		

Observe que nesta tela temos duas janelas.

A primeira janela contém todas as variáveis acompanhadas pelo sistema. Nesta janela o usuário poderá selecionar as variáveis desejadas. Para selecionar basta dar um clique no quadro ao lado do nome da variável. Após selecionar as variáveis o usuário poderá escolher as funções desejadas, clicando nas opções mostradas na coluna entre as janelas. O resultado aparecerá no quadro Variáveis Resposta.

Algumas funções mostradas nesta coluna aceitam apenas uma variável selecionada, e são em uma janela a parte são elas:

- Histograma;

- Def. dos limites de Controle;
- Gráficos da Média e Amplitude;
- Gráficos da Média e Desvio Padrão;
- Gráfico C;
- Gráfico P;
- Gráfico de Pareto;

A função Correlação aceita duas variáveis selecionadas. Mostrará como resultado no quadro Variáveis Resposta a correlação linear simples existente entre duas variáveis selecionadas.

A função matriz de Correlação aceitará a seleção de n variáveis. Mostrará o resultado em uma matriz de correlação onde todas as variáveis selecionadas estarão dispostas nas linhas e nas colunas.

A quantidade de variáveis para calcular a média, mediana, máximo, mínimo, amplitude, variância, desvio padrão, erro padrão fica a critério do usuário e o resultado aparecerá na janela Variáveis Resposta.

Note que na coluna do meio existe um campo chamado “tamanho n da a ”. Este campo é utilizado em duas situações:

1.) Utilizado nos gráficos (Média e Amplitude) e (Média e Desvio Padrão) para definir a quantidade de observações que se deseja agrupar em um único ponto do gráfico. Ou seja, se tivermos 180 observações e quisermos que as observações sejam agrupadas de 6 em 6 teremos 30 pontos é opção obrigatória para o cálculo destes gráficos.

Para calcular os gráficos de controle “Gráfico da Média e Amplitude” e “Gráfico da Média e Desvio Padrão” é necessário definir antes os limites dos gráficos de controle pela opção “def. dos limites de controle”. O resultado será armazenado na base de dados utilizado pelo sistema. Podendo o usuário utilizar o resultado para acompanhamento futuro. Pode-se fazer uma simulação com os dados. Exemplo.: Digamos que em determinado período obtivemos os

limites de controle ideal para a indústria, este período está entre a observação 10 e 34 sendo que o “tamanho de n da a a “ (a a - amostra aleatória.) é igual a 4. Calculamos os limites deste intervalo e montamos o gráfico. Digamos que queira acompanhar determinada variável entre as observações 40 e 80 utilizando os limites entre as observações 10 e 34. O sistema permite isto. Basta que o usuário filtre (Ver Filtrar pesquisas por intervalo de Experimento) as observações pretendidas. Selecione em “tamanho de n da a a” o valor de 4 e selecione a opção dos gráficos desejados. Os limites que serão utilizados são aqueles definidos entre as observações 10 e 34.

2) Este campo deve ver ser entendido como número de itens observados para o cálculo do Gráfico P.

Filtrar pesquisas por intervalo de Experimento: Ao marcar o quadrado ao lado desta opção, o sistema abrirá uma opção mostrando todas as observações contidas na base de dados. Para selecionar determinado período o usuário deve indicar qual é o intervalo inicial e final desejado. Após selecionar os intervalos deve validar esta seleção clicando no botão de confirmação. Note que ao confirmar a seleção o tamanho da população será alterado. Basta apenas selecionar a opção desejada que os dados a serem utilizados pelo sistema para cálculos estarão dentro dos intervalos definidos.

Caso queira utilizar todas as observações novamente clique no botão cancelar.

Tela para Calcular a Análise de Correlação Canônica

The screenshot shows a software window titled "Correlação Canônica". At the top left, there is a toolbar with a button labeled "Executar" and a checkbox labeled "Filtrar pesquisas por intervalo de Experimento". To the right of the toolbar, the text "População 184" is displayed. Below the toolbar, the window is divided into two main sections: "Dados do Primeiro Conjunto de Variáveis" on the left and "Dados do Segundo Conjunto de Variáveis" on the right. Each section contains a dropdown menu and a large empty rectangular area, likely for selecting variables or data points.

Nesta tela o usuário deve selecionar quais conjuntos/fases tem interesse para que o sistema faça a Análise de Correlação Canônica.

Ao selecionar uma das fases do processo produtivo da empresa no “primeiro conjunto de variáveis” o sistema abrirá as variáveis existentes no próprio conjunto para que o usuário selecione quais variáveis farão parte da Análise de Correlação Canônica.

Ao selecionar uma das fases do processo produtivo da empresa no “segundo conjunto de variáveis” o sistema abrirá as variáveis existentes no próprio conjunto selecionado para que o usuário indique quais variáveis farão parte da Análise de Correlação Canônica.

Após selecionar as variáveis o usuário tem a opção de Filtrar os Intervalos das Observações para que seja feita a Análise. (Ver Filtrar pesquisas por Intervalo de Experimento) descritas abaixo.

Para o sistema executar a Análise de Correlação Canônica entre os conjuntos e variáveis selecionados o usuário deve clicar no botão “Executar”. A forma como são feitos os cálculos mostrados na tela de Resultados da Análise de Correlação Canônica são mostrados nesta Dissertação.

Filtrar pesquisas por intervalo de Experimento: Ao marcar o quadrado ao lado desta opção, o sistema abrirá uma opção mostrando todas as observações contidas na base de dados. Para selecionar determinado período o usuário deve indicar qual é o intervalo inicial e final desejado. Após selecionar os intervalos deve validar esta seleção clicando no botão de confirmação. Note que ao confirmar a seleção o tamanho da população será alterado. Caso queira utilizar todas as observações novamente clique no botão cancelar.

Tela de Resultados da Análise de Correlação Canônica.

Correlação Canônica

Executar Filtrar pesquisas por intervalo de Experimento 00054 00182 População 129

Dados do Primeiro Conjunto de Variáveis: **MADEIRA**

- FINOS
- PALITOS
- > 45
- < 45
- LARGURA DA FIBRA
- DIÂMETRO LÚMEN
- LOMF FIBRA
- ESPESSURA DA FIBRA

Dados do Segundo Conjunto de Variáveis: **QUALIDADE**

- ALVURA
- TRAÇÃO
- RASGO
- DENSIDADE
- CSF
- Defeito A
- Defeito B
- Defeito C

Auto Valores: 0,539886 0,235530 0,200469

Correlação Canônica: 0,734633 0,485314 0,447738

Coeficientes para Variáveis Canônicas

	R1	R2
DENSIDADE BÁSICA	0,339717 0,249626	0,560688 0,763182
UMIDADE	0,254810 0,187213	-0,634577 -0,863641
RESINA	0,495823 0,364281	-0,386933 -0,526500
ESPESSURA 4 m	-0,700031 -0,514277	-0,501910 -0,683079

Tela de resultados do sistema, mostrando a Correlação Canônica entre as fases;

Mostra os Coeficientes para as Variáveis Canônicas;

Mostra o grau de relacionamento de cada variável com as variáveis do outro conjunto selecionado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) CHAVES NETO, Anselmo. **Técnicas Estatísticas Aplicadas a Engenharia da Qualidade**. Notas de Aula. UFPR. 1998.
- 2) DEMING, W. Edwards. **Qualidade** : a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- 3) MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. 2nd ed. Republic of Singapore. John Wiley & Sons, 1990.
- 4) MOOD, Alexander M. GRAYBILL , Franklin A. & Boes. **Introduction to the theory of statistics**. McGrawHill, 1986;
- 5) JOHNSON, Richard A.; WICHERN, Dean W. **Applied multivariate statistical analysis**. Second edition. New Jersey: Prentice Hall International, 1988.
- 6) SHEWHART, W.A. **Economic control of quality of manufactured product**. Chelsea, Book Crafters, 1980.
- 7) TAGUCHI, G. **Introduction to Quality Engineering, Designing Quality into Products and Processes**. Tokyo. Asian Productivity Organization, 1986.
- 8) HAIR, Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L; BLACK, William C. **Multivariate data analysis**. Fifth edition. New Jersey: Prentice Hall International, 1998.
- 9) VETTERLING, William T.; TEUKOLSKY, Saul A; PRESS, William H.; FLANNERY, Brian P. **Numerical recipes**. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- 10) VIEIRA, Sônia. **Estatística para a qualidade** : como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro. Editora Campus Ltda, 1999.
- 11) DECHANDT FILHO, Alcy José. **Área de Fabricação de Pastas**, 1999.