

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Produção

Trabalho de Formatura

Controle e Melhoria de Processos Químicos

Utilização das Metodologias

Controle Estatístico do Processo - C.E.P.
e
Operação Evolutiva - EVOP

Aluno : Edison Watanabe

Orientador : Melvin Cymbalista

1994

TF 1994
W29C

AGRADECIMENTOS

Ao professor Melvin Cymbalista pela orientação, paciência e atenção dispensadas durante o período de elaboração deste Trabalho de Formatura.

Aos profissionais e amigos da HOECHST, em especial ao engenheiro Heitor Weltman Hutzler pelo acompanhamento do estágio que foi uma grande experiência.

Aos amigos da Poli-Produção em especial ao grupo A.S.N.E.I.R.A.S (Sérgio, Nêlio, Isaque, Regis, Augusto, Shiguero), Terra, Fred, Lu, Lue, Jony, Lu Ikeda, Karla cujas companhias tornaram a Poli um lugar mais alegre e a todos os colegas que me ajudaram durante este período de vida acadêmica.

Ao amigo e colega André Sapoznik pelo auxílio acadêmico fundamental durante todos os anos de POLI.

A todos os professores que contribuíram extremamente para modificar minha visão da engenharia e da vida não só transmitindo os seus conhecimentos técnicos mas também suas experiências pessoais e profissionais

A todos os funcionários da POLI que tentaram facilitar a vida dos pobres alunos durante o curso, em especial à Mércia.

A todos os amigos que tenho pois a amizade é muito importante em todos os momentos.

À sociedade que me deu a oportunidade de cursar a melhor faculdade de engenharia da melhor universidade do país .

Ao meu pai e à minha mãe e à toda minha família sem os quais não conseguiria nada, não seria nada.

ÍNDICE

1. A EMPRESA	1
1.1. HISTÓRICO	1
1.2. ESTRUTURA	2
2. O ESTÁGIO	5
2.1. UNIDADE PRODUTIVA	5
2.2. PRODUTOS	7
2.3. ESTRUTURA DA QUALIDADE	9
2.3.1. SISTEMA DE QUALIDADE SQT - H	9
2.3.2. POLÍTICA DA QUALIDADE	11
2.4. ÁREA DE ATUAÇÃO - POLICONDENSAÇÃO	12
2.4.1. DESCRIÇÃO	12
2.4.2. O PROCESSO PRODUTIVO	12
3. CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	15
3.1. INTRODUÇÃO	15
3.2. DESCRIÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	16
3.3. FERRAMENTAS PARA IMPLANTAÇÃO DO CEP	18
3.3.1. GRÁFICO DE CONTROLE	18
3.3.2. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	22
3.3.3. ÍNDICE DE CAPABILIDADE	23
4. IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	25
4.1. CONSCIENTIZAÇÃO DA EMPRESA	25
4.2. DEFINIÇÃO DE EQUIPES DE TRABALHO E SUAS RESPONSABILIDADES	25
4.3. FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS NOS SETORES PRODUTIVOS	25
4.4. DEFINIÇÃO DO PROCESSO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP	26
4.5. REVISÃO DO PROCESSO NA ÁREA PILOTO	26
4.6. DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO	26
5. PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO	27
5.1. DEFINIÇÃO DE RESPONSABILIDADES NA IMPLANTAÇÃO DO C.E.P.	27

5.2.DEFINIÇÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM	27
5.3.ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO	29
5.4.DEFINIÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE UTILIZADAS NO PROCESSO	29
5.5.ANÁLISE DO PROCESSO ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO IMPLANTADO	30
5.6.RESULTADO DA ANÁLISE	30
5.6.1.PROCESSO INSTÁVEL	31
5.6.2.PROCESSO ESTÁVEL	31
5.6.3.PROCESSO INCAPAZ	32
5.6.4.PROCESSO CAPAZ	32
6. IMPLANTAÇÃO EFETIVA DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	33
6.1.TREINAMENTO E ACOMPANHAMENTO DO PESSOAL ENVOLVIDO	33
6.2.PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO C.E.P.	33
7.IMPLANTAÇÃO DO C.E.P. NA EMPRESA	36
7.1.CONSCIENTIZAÇÃO DA EMPRESA	36
7.2.DEFINIÇÃO DE EQUIPES DE TRABALHO E SUAS RESPONSABILIDADES	36
7.3.FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS NOS SETORES PRODUTIVOS	39
7.4.DEFINIÇÃO DO PROCESSO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP	49
7.5.REVISÃO DO PROCESSO NA ÁREA PILOTO	49
7.6.DESCRICÃO DETALHADA DO PROCESSO	50
7.7.DESCRICÃO DOS LOTES PRODUZIDOS	51
8. PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO NA EMPRESA	54
8.1.FUNÇÕES E RESPONSABILIDADES NA IMPLANTAÇÃO DO C.E.P.	54
8.2.DEFINIÇÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM	56
8.3.DESCRICÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM	57
8.4.ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO	60

8.5.DEFINIÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE UTILIZADAS NO PROCESSO.....	67
8.6.DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONTROLE.....	69
8.7.ANÁLISE DO PROCESSO ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO IMPLANTADO.....	71
8.8.RESULTADO DA ANÁLISE	75
9. IMPLANTAÇÃO EFETIVA DO C.E.P. NA EMPRESA	77
9.1.TREINAMENTO E ACOMPANHAMENTO DO PESSOAL ENVOLVIDO.....	77
9.2.PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO C.E.P.....	77
10.RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DO C.E.P.	78
11. OPERAÇÃO EVOLUTIVA	80
11.1.INTRODUÇÃO	80
11.2.DIFERENÇAS ENTRE O DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS E A OPERAÇÃO EVOLUTIVA	81
11.3.COMPARAÇÃO ENTRE A SITUAÇÃO NORMAL E A OPERAÇÃO EVOLUTIVA.....	81
11.4.METODOLOGIA	82
11.5.ESCOLHA DE VARIÁVEIS OU FATORES.....	82
11.6.ESQUEMA DO DELINEAMENTO COM DEFINIÇÃO DAS RESPOSTAS DE INTERESSE.....	83
11.7.OPERACIONALIZAÇÃO DA FERRAMENTA.....	93
11.8.FEEDBACK DOS EXPERIMENTOS FEITOS PELO EVOP	94
11.9.UM EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA EVOP	96
11.10.ASPECTOS DA ORGANIZAÇÃO DA EVOP DENTRO DA EMPRESA.....	105
12. IMPLEMENTAÇÃO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA.....	107
12.1.OBJETIVO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA.....	107
12.2.FORMAÇÃO DO COMITÊ EVOP	108
12.3.DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DA 1ª FASE.....	112
12.4.APLICAÇÃO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA.....	114
12.5.INÍCIO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA.....	118

12.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA	122
12.7. CONCLUSÕES FINAIS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA	130
13. CONCLUSÃO FINAL	134
BIBLIOGRAFIA	136
ANEXOS	138
ANEXO A	
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DE VISCOSIDADE DE CHIPS - MÉTODO MANUAL	138
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DE VISCOSIDADE DE CHIPS - MÉTODO AUTOMÁTICO	139
ANEXO B	
FÓRMULA E REAÇÃO QUÍMICA PARA OBTENÇÃO DO POLIETILENO TEREFALATO (PET)	140
ANEXO C	
TABELAS	144
ANEXO D	
PLANILHAS DA 1ª FASE DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA	146

Obs. C.E.P. - Controle Estatístico do Processo

EVOP - Evolutionary Operation (Operação Evolutiva)

T.F. - Trabalho de Formatura

Índice de Figuras e Tabelas

Figura 1.1 - Grupo HOECHST no Brasil	3
Figura 1.2 - Estrutura de Vendas por Unidades de Negócios e Faturamento Total	4
Figura 2.1 - Organograma da Hoechst	6
Figura 2.2 - Organização do SQT - H - Sistema da Qualidade HOECHST	10
Figura 2.3 - Fluxograma da Fabricação de PET com TPA e MEG	13
Figura 2.4 - Fluxograma da Fabricação de PET com DMT e MEG	14
Figura 3.1 - Zonas de um gráfico de controle	18
Figura 3.2 - Testes para gráficos de controle	20
Figura 3.3 - Diagrama de Ishikawa	22
Tabela 3.4 - Valores mínimos para C_{pk}	23
Tabela 3.5 - Proporção de não conformidades com C_p associado	24
Figura 5.1 - Plano de Amostragem para Implantação do C.E.P.	28
Figura 5.2 - Ações para melhoria de um processo	30
Figura 6.1 - Fluxograma dos Procedimentos para Implantação do C.E.P.	34
Figura 6.2 - Operação do C.E.P.	35
Figura 7.1 - Fluxograma do Processo - Policondensação	39
Figura 7.2 - Fluxograma do Processo - Fiação Têxtil	40
Figura 7.3 - Fluxograma do Processo - Texturização a Fricção	41
Figura 7.4 - Fluxograma do Processo - Estiragem	42
Figura 7.5 - Fluxograma do Processo - Texturização a Ar	43
Figura 7.6 - Fluxograma do Processo - Conicaleira	44
Figura 7.7 - Fluxograma do Processo - Tinturaria	45
Figura 7.8 - Fluxograma do Processo - Retorcedeira Barnag	46
Figura 7.9 - Fluxograma do Processo - Fiação ATG	47
Figura 7.10 - Fluxograma do Processo - Polimerização	48
Figura 7.11 - Diagrama de Produção do setor Policondensação	52
Figura 7.12 - Organograma do setor Policondensação	53
Figura 8.1 - Plano de Amostragem para Policondensação	56
Figura 8.2 - Relatório de Análise	58
Figura 8.3 - Controle de Partidas dos Chips	59
Figura 8.4 - Controle do Pannel	61
Figura 8.5 - Ficha de Partida -PET	62

Figura 8.6 - Diagrama de Ishikawa	64
Figura 8.7 - Registro de Eventos.....	65
Figura 8.8 - Matriz de Ações Corretivas e Preventivas.....	66
Figura 8.9 - Carta de Controle	68
Figura 8.10 - Gráfico da Produção X Capacidade Teórica	75
Figura 8.11 - Gráfico da Produtividade do setor Policondensação	76
Figura 11.1 - Mudanças nas distribuições com o aumento no número de ciclos ...	85
Figura 11.1 - Esquema do Delineamento na EVOP	86
Figura 11.2 - Esquema do Delineamento na EVOP	87
Figura 11.3 - Exemplo de Esquema do Delineamento 2^2 fatorial	88
Figura 11.4 - Médias da resposta de interesse Fluidez após 4 ciclos da EVOP.....	89
Figura 11.5 - Representação em diagramas para os efeitos	91
Figura 11.6 - Natureza da experimentação	94
Figura 11.7 - Parte de um quadro de informações após quatro ciclos	104
Figura 12.1 - Sequência das partidas de polímero	110
Figura 12.2 - Tempos Médios de Reação.....	111
Figura 12.3 - Esquema da Operação Evolutiva	113
Figura 12.4 - Folha de Acompanhamento da Operação Evolutiva.....	115
Figura 12.5 - Planilha da Operação Evolutiva.....	116
Figura 12.6 - Quadro de Informações da EVOP.....	117
Figura 12.7 - Quadro da Operação Evolutiva.....	118
Figura 12.8 - Quadro de controle dos experimentos.....	120
Figura 12.9 - Quadro de informações EVOP - ciclo 6.....	123
Figura 12.10 - Curva de Resposta do Tempo de Esterificação	124
Figura 12.11 - Curva de Resposta do Tempo de Condensação	125
Figura 12.12 - Curva de Resposta do Grau de Amarelo	126
Figura 12.13 - Curva de Resposta do Grau de Brancura	127
Figura 12.14 - Curvas de resposta combinadas	128
Figura 12.15 - Tempos médios de Reação após 1ª fase de EVOP	130
Figura 12.16 - Esquema de Experimentos para Segunda Fase - EVOP	132

Todas as figuras foram elaboradas pelo autor exceto aquelas cujas referências estejam entre parênteses.

SUMÁRIO

O presente Trabalho de Formatura tem como tema o "Controle e Melhoria de Processos Químicos - Utilização das metodologias : Controle Estatístico do Processo - C.E.P. e Operação Evolutiva - EVOP".

O T.F. se baseia em um método de otimização criado inicialmente para processos químicos : a Operação Evolutiva (EVOP) no qual se modifica parâmetros do processo ligeiramente a fim de se conseguir informações de tais alterações para as características do produto. A partir de tais informações, pode-se ter uma base para direções de otimização dos parâmetros estudados.

Antes de qualquer tentativa de melhoria de um processo, é imperativo que exista um controle estatístico a fim de se garantir que interferências não influenciem o comportamento do processo pois desviam a variabilidade natural que ocorre aleatoriamente na produção pois caso causas não aleatórias de variação (outras que aquelas introduzidas intencionalmente - os fatores em estudo) ocorram, irão influenciar as respostas levando a conclusões errôneas.

Assim, inicialmente, é necessária a implantação do Controle Estatístico do Processo, com uma descrição detalhada de sua metodologia, ferramentas, requisitos e procedimentos. Com o processo sob controle estatístico, assegura-se que o processo gerará produtos de acordo com uma distribuição baseada em sua variabilidade intrínseca, característica do próprio processo e o método de otimização pode então ser aplicado.

O método de otimização EVOP, então, é detalhado com relação à sua origem, base teórica, metodologia, comparação com Delineamento de Experimentos, descrição da aplicação prática e conclusões.

Portanto, basicamente, neste T.F. temos duas partes distintas.

A primeira parte relativa à implantação do Controle Estatístico do Processo na empresa e a segunda parte tratando da aplicação da ferramenta de otimização EVOP dentro do processo de produção.

1. A EMPRESA

A HOECHST AG é um dos maiores grupos industriais ligados à produção de produtos químicos no mundo com mais de 130 anos de existência. Atua em mais de 120 países no mundo, tendo sua sede em Frankfurt, Alemanha. Seu faturamento no ano de 1993 foi de cerca de US\$ 30 bilhões.

Sua produção inclui uma grande variedade de produtos químicos nos quais se incluem desde defensivos agrícolas, produtos farmacêuticos, fios e fibras de poliéster até plásticos de engenharia. O mercado brasileiro é atualmente o 8º no setor químico em termos mundiais perfazendo aproximadamente 3 % do total.

Sua filosofia de produção está baseada na chamada "HOECHST HIGH CHEM", aqui no Brasil, "QUÍMICA A SERVIÇO DA VIDA", com o objetivo de produzir condições cada vez melhores de vida ao ser humano dentro de um contexto social, ecológico e tecnológico.

1.1. HISTÓRICO

A HOECHST DO BRASIL QUÍMICA E FARMACÊUTICA S.A., subsidiária da HOECHST AG, iniciou suas atividades no Brasil em 1949 com a Pontosan Produtos Químicos, Farmacêuticos e Anilinas S.A. que comercializava seus produtos no país. Em 1957, a Pontosan muda seu nome para HOECHST DO BRASIL QUÍMICA E FARMACÊUTICA S.A. Com a compra do controle acionário da Fongra Produtos Químicos S.A., dá início à operação de um complexo químico localizado na cidade de Suzano(SP) produzindo inicialmente cloro/soda, solventes acéticos e cloração de benzeno.

Em 1972, a HOECHST AG se associa a CBS - COMPANHIA BRASILEIRA DE SINTÉTICOS, fabricante de filamentos de poliéster, em Osasco(SP), posteriormente incorporada a HOECHST DO BRASIL em 1984. Desta incorporação surge a HOECHST - DIVISÃO FIBRAS.

1.2. ESTRUTURA

A Hoechst do Brasil Química e Farmacêutica S.A. está dividida basicamente em três unidades produtivas :

- Unidade Química e Farmacêutica localizada em Suzano, SP.
- Unidade de Produção de Fios e Filamentos de Poliéster localizada em Osasco, SP.
- Unidade de Produção de Tripas Artificiais localizada em São Paulo, SP.

Além de uma sede administrativa localizada em São Paulo, SP no bairro de Santo Amaro.

A empresa se subdivide em 13 divisões produtivas, cada uma fabricando uma enorme gama de produtos :

- Divisão A : Química Inorgânica, Orgânica e Especialidades
- Divisão B : Plásticos de Engenharia
- Divisão C : Agricultura
- Divisão D : Corantes, Pigmentos e Química Fina
- Divisão E : Tensioativos e Produtos Auxiliares
- Divisão F : Fios, Fibras e Produtos Preliminares
- Divisão G : Resinas Sintéticas, Dispersões e Tintas
- Divisão H : Polietileno de Alta Densidade
- Divisão K : Técnica Reprográfica, Filmes e Tripas Artificiais
- Divisão L : Farma
- Divisão N : Engenharia Química e Máquinas Vibratórias
- Divisão O/Q : Grafitas e Lubrificantes

O Grupo Hoechst no Brasil é formado de inúmeras empresas em diversos ramos do mercado brasileiro nas quais a HOECHST AG possui participação acionária. O grupo pode ser visto no quadro abaixo :

GRUPO HOECHST NO BRASIL



Figura 1.1 - Grupo HOECHST no Brasil
(Fonte : Hoechst Fatos e Dados 1993)

A Hoechst, no ano de 1992, foi a 39ª e, em 1993, a 34ª empresa em faturamento dentre as empresas de acordo com a revista Exame - Maiores e Melhores. Pode-se destacar o fato de que a Hoechst foi considerada a melhor empresa de 1993 no setor químico e petroquímico segundo avaliação da Exame.

Os quadros seguintes mostram o montante total do faturamento e a participação de cada unidade produtiva nos anos de 1992 e 1993.

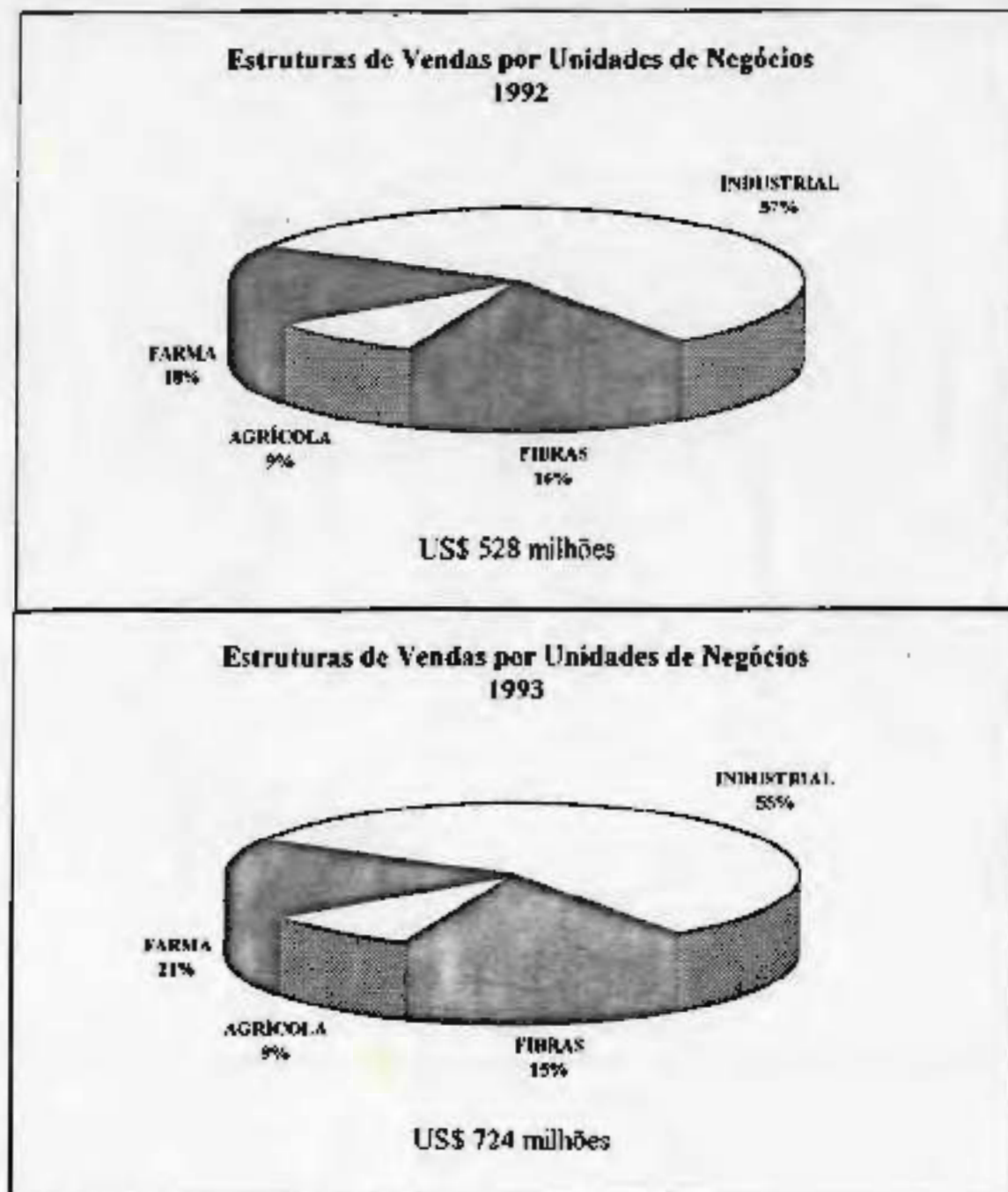


Figura 1.2 - Estrutura de Vendas por Unidades de Negócios e Faturamento Total
(Fonte : Hoechst Fatos e Dados 1992 e 1993)

2. O ESTÁGIO

2.1. UNIDADE PRODUTIVA

O estágio se iniciou em 01/02/94, na HOECHST DO BRASIL QUÍMICA E FARMACÉUTICA - DIVISÃO FIBRAS. A fábrica está localizada em Osasco e tem sua produção baseada em produtos cuja matéria prima é o poliéster, mais exatamente o Polietileno Tereftalato (PET). Atualmente, a unidade de produção tem capacidade para cerca de 2500 toneladas/mês.

O PET é utilizado na fabricação de inúmeros produtos tais como : fitas magnéticas para gravação, mantas para filtros industriais, fotografia e reprografia, fibras têxteis, filmes e placas para radiografias, frascos para refrigerantes gaseificados, embalagens de alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos.

Basicamente, a produção da unidade produtiva de Osasco se baseia em fios e filamentos de poliéster para uso têxtil e técnico, além da matéria-prima para embalagens na área alimentícia, de refrigerantes, cosméticos e produtos farmacêuticos.

Um organograma básico da unidade, com as suas seções, e uma descrição dos produtos para cada ramo está descrito na figura e quadro a seguir :

2.2. PRODUTOS

Os produtos da Hoechst - Divisão Fibras são:

Agricultura e Pecuária :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para silos, encerados e armazéns
Indústria Alimentícia :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para correia transportadora recoberta com PVC • PET para embalagens para bebidas gaseificadas • PET para embalagens em geral
Setor Médico Sanitário :	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras e filamentos para têxteis hospitalares • Fibras e filamentos anti-chama de poliéster e viscose
Indústria Têxtil :	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras e filamentos para vestuário, linha de costura, têxteis domésticos, travesseiros, zípers, veleros, bolsas, calçados, malas e para fins técnicos : fios de poliéster, poliacríla, viscose, multifilamento de poliéster, poliéster para enchimento, acetato, monofilamento de poliamida 6, etc
Indústria de Couro e Peles de Adorno :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para tecidos com aparência de couro
Setor de Construção, Indústria Beneficiadora de Madeira :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para galpões infláveis, coberturas de grandes superfícies e encerados para construção • Velos fiados para container flexível, fios para armaduras e reforços de toldos para madeiras compensadas

Mineração, Indústria Pesada e Indústria do Petróleo :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para cabos, correias transportadoras, etc
Indústria de Açúcar e Alcool :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para recipientes de transporte do vinhoto
Indústria de Máquinas, Aparelhos e Veículos :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade para encerrados de caminhões, cintos de segurança, pneus, mangueiras, correias de transmissão e transportadoras • Fibras e filamentos para estofamentos de automóveis
Indústria de Plásticos e Borracha :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade como tecido de suporte / base
Indústria de Tintas e Adesivos :	<ul style="list-style-type: none"> • Monofilamentos de poliéster monofil para filtros
Indústria de Papel e Celulose :	<ul style="list-style-type: none"> • Monofilamentos para peneiras
Cosméticos e Perfumaria	<ul style="list-style-type: none"> • PET para embalagens
Indústria Gráfica Reprográfica :	<ul style="list-style-type: none"> • Monofilamentos para serigrafia
Proteção Ambiental, Contra Incêndio e Química de Águas :	<ul style="list-style-type: none"> • Fios de Alta Tenacidade e monofilamentos para filtros e equipamentos para bombeiros • Fios de Alta Tenacidade para mangueiras • Fibras e filamentos não inflamáveis para vestimentas, cortinas, estofamentos e forrações.

(Fonte : Hoechst Fatos e Dados 1993)

2.3. ESTRUTURA DA QUALIDADE

2.3.1. SISTEMA DE QUALIDADE SQT - H

O Sistema de Qualidade Total - Hoechst foi concebido em 1990, com o intuito de criar uma consciência em todos os colaboradores da Hoechst - Divisão Fibras, para o desenvolvimento da qualidade de serviços e produtos da empresa. Para coordenar a implantação do sistema foi criada uma comissão central composta pela diretoria da divisão, comissões setoriais com a gerência dos setores e grupos-tarefa com a finalidade específica de implantar certas ferramentas de qualidade com a participação de colaboradores em todos os setores da fábrica, dependendo do ponto de melhoria.

Dentro deste esquema do sistema de qualidade foram criados :

- A Ciranda de Idéias que é um programa de sugestões da empresa aberto a todos os funcionários para quaisquer idéias relativas a melhorias no seu trabalho ou soluções técnicas para aumento da produtividade ou qualidade dos serviços e produtos da Hoechst. No ano de 1993, a média de sugestões foi acima de dois por colaborador. O índice de aproveitamento foi próximo de 21%.

- O B.P.Q. (Bate-Papo Qualidade) que é um esquema de reuniões periódicas a fim de discutir setorialmente os problemas e atacar as causas, além de ser um espaço para divulgação e ensino de novos métodos ou ferramentas a serem utilizados no trabalho dos colaboradores da Hoechst.

- O "Clipping da Qualidade" onde é distribuído a todos os diretores e gerentes, artigos de revistas especializadas sobre novas ferramentas de qualidade e administração. Tal iniciativa visa manter atualizadas as pessoas no comando da empresa.

Além disso, existe o treinamento básico de todos os colaboradores da divisão, relativo ao 1º e 2º graus, com a finalidade de aumentar o nível de instrução em toda a fábrica que é feito conjuntamente com o SENAI. Cursos periódicos de inglês, alemão e de ferramentas de qualidade são dados com auxílio externo para colaboradores de nível médio e superior.

Dentro dos programas criados para a implantação do Sistema de Qualidade Total - Hoechst estava planejada a estruturação total da fábrica para a certificação de acordo com a norma internacional ISO 9001, o que foi conseguida em maio de 1994, após amplo treinamento, auditorias internas e intensa preparação.

2.3.2. POLÍTICA DA QUALIDADE

A HOECHST - Divisão Fibras possui também uma política de qualidade a fim de direcionar todo seu esforço produtivo no intuito de satisfazer todos os requisitos necessários para que seja uma empresa competitiva e renomada dentro do mercado em que se propõe a atuar. A seguir, transcreve-se literalmente a sua política de qualidade.

QUALIDADE NA HOECHST DO BRASIL - DIVISÃO FIBRAS

A Hoechst do Brasil - Divisão Fibras tem como principal objetivo entregar produtos e serviços perfeitos, dentro do prazo, a preço competitivo e que atendam ou excedam as expectativas de nossos clientes.

Todos são responsáveis pela qualidade, e o empenho pela melhoria contínua de produtos e serviços é compromisso de todos.

A Administração se esforçará em colocar recursos e desenvolver ambiente favorável para que seus colaboradores contribuam com habilidades, talento e idéias para um processo sem fim de aperfeiçoamento e inovação em todos os aspectos de nosso negócio.

A direção da Divisão Fibras dará total apoio aos esforços para prevenção de erros e pela melhoria contínua da qualidade.

2.4. ÁREA DE ATUAÇÃO - POLICONDENSAÇÃO

2.4.1. DESCRIÇÃO

O setor POLICONDENSAÇÃO possui um papel determinante dentro da produção da fábrica, uma vez que produz a matéria prima para todos os produtos fabricados que é o PET (Polietileno tereftalato). Sendo o fornecedor interno de todos os outros setores da fábrica, é necessário garantir a qualidade do produto fornecido e, também, a disponibilidade da quantidade demandada pelos seus clientes internos. Portanto, deve-se ter sempre consciência da criticidade desse setor dentro da produção da empresa.

2.4.2. O PROCESSO PRODUTIVO

O Polietileno Tereftalato é um poliéster cuja composição química é formada principalmente das matérias primas : dimetiltereftalato (DMT) ou ácido tereftálico (TPA) e monoetilenoglicol (MEG).

Inicialmente, as matérias primas são preparadas : caso a matéria-prima seja o DMT, este vem sólido na forma de escamas. Deve se tornar líquido para facilitar a dosagem e a reação química. Após filtragem, está pronto para ser utilizado. Caso for o TPA, este vem em pó e é adicionado diretamente ao esterificador. O MEG é proveniente de dois processos : diretamente do fornecedor e recuperado pela destilação na própria esterificação (com DMT)¹. Os materiais são enviados de tanques de armazenamento para o esterificador. Este processo é denominado " carga ". No esterificador, deve ocorrer a reação entre as matérias primas com a formação de diglicoltereftalato (DGT), MEG e metanol, estes dois últimos são retirados e enviados a tanques coletores. O DGT é o monômero do poliéster que será transferido para o policondensador onde reagirá e se transformará no polímero de poliéster : PET.

No policondensador, após o final da reação química, força-se a extrusão da massa, através da pressurização, por uma fiação que transforma a massa de polímero em fios de poliéster que são resfriados através de jato de água e cortados por uma cortadeira se transformando em grânulos ou "chips" e sofrem uma secagem. Cada ciclo deste é chamado de partida.

Com a formação dos " chips ", estes são enviados a um silo de gomos onde são armazenados até que a análise das características do polímero formado esteja disponível. Caso o polímero formado nesta partida esteja em

¹Ver Anexo B com descrição completa das reações de obtenção do PET.

condições normais, a cada 4 partidas normais, são misturados os "chips" dentro de uma faixa pré-determinada de características físico-químicas e enviados a um silo vertical. Por um sistema pneumático, são enviados por tubulações até o setor seguinte onde sofrerão outras reações permanecendo na forma de "chips" ou transformando-se em fios e fibras para serem enviados aos clientes externos.

Fluxograma do Processo

Setor Policondensação



Figura 2.3 - Fluxograma da Fabricação de PET com TPA e MEG

Fluxograma do Processo

Setor Policondensação

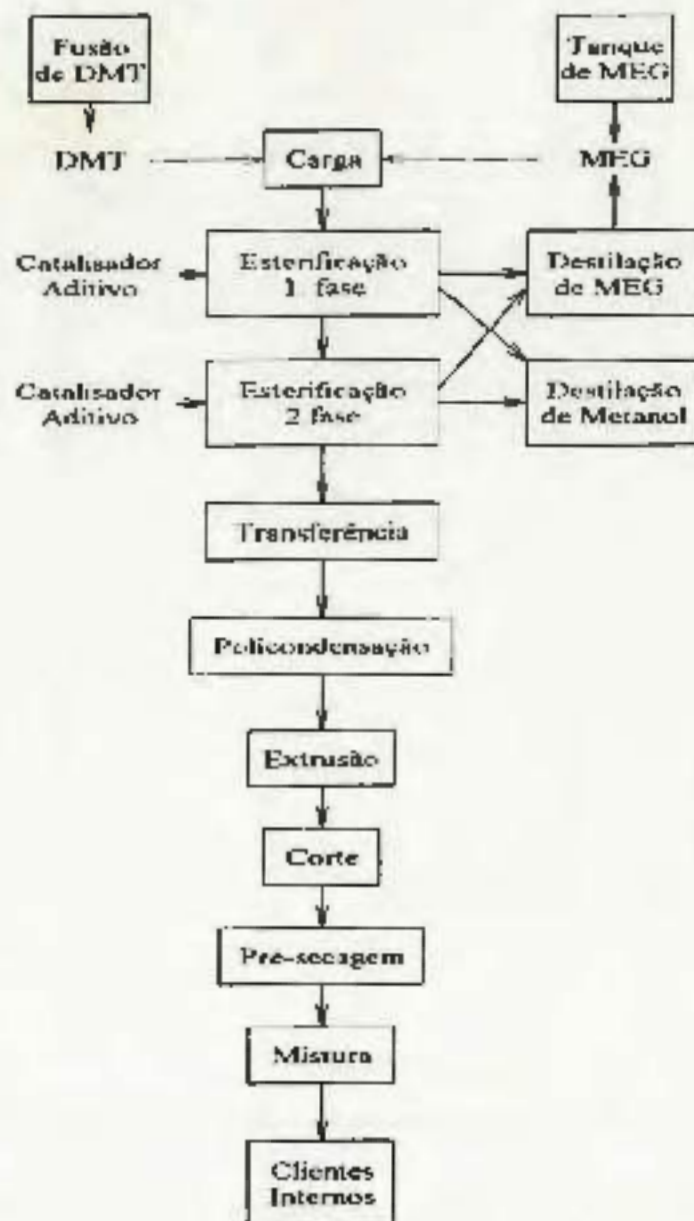


Figura 2.4 - Fluxograma da Fabricação de PET com DMT e MEG

OBS. Utiliza-se atualmente os dois tipos de matéria-prima possíveis para a fabricação do PET.

3. CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

3.1. INTRODUÇÃO

Dentro de um processo produtivo, as características de um produto variam pois, apesar de se ter todos os parâmetros de operação ajustados, o próprio processo possui uma variabilidade natural. O Controle de Qualidade pode optar por duas alternativas : ou atua separando simplesmente os produtos conformes e os não-conformes ou controla diretamente o processo de modo a que tal variabilidade seja minimizada e que não sejam produzidos produtos fora de especificação.

A simples separação dos produtos defeituosos mostra uma postura passiva do Controle de Qualidade. No momento atual, a Qualidade deve ter uma postura pró-ativa interferindo no processo de modo a otimizar sua operação com metodologias de Controle de Qualidade através do Controle do Processo.

O Controle de Qualidade a ser utilizado deve tomar como premissa a atuação direta nos parâmetros da produção para garantir produtos dentro das características desejadas pelo cliente e um processo ótimo com uma melhor produtividade e desempenho. Dentro deste Trabalho, utilizar-se-á tais técnicas para obter um controle efetivo do processo produtivo e posteriormente tentativa de melhoria e otimização do mesmo.

Inicialmente, será utilizado a metodologia do Controle Estatístico do Processo (C.E.P.) que se baseia no tratamento estatístico da variabilidade do processo através do controle dos parâmetros produtivos e nas características de qualidade do produto.

3.2. DESCRIÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O Controle Estatístico do Processo é um método de melhoria da Qualidade de um processo pela análise da variabilidade de características do produto fabricado com a finalidade de identificar variações estatisticamente significativas e, através do controle dos parâmetros de operação, evitar ou reduzir tais variações.

O CEP se baseia na idéia na qual um processo sob controle estatístico produz produtos distribuídos segundo uma faixa nas suas características, sejam químicas, físicas, metroológicas, etc. Caso qualquer produto fabricado esteja fora de tal faixa, o processo é considerado fora de controle.

Quando o processo se encontra sob controle, a variação dos valores das características do produto obtidas representa a variabilidade natural do processo que é devida a vários elementos que contribuem igual e aleatoriamente para a variação total.

As variações que podem ocorrer dentro de um sistema produtivo são classificadas em dois tipos :

- causas comuns que são inerentes ao processo provenientes das características do equipamento, projeto e método de produção refletindo uma variabilidade natural do processo;

- causas especiais que surgem da operação no processo produtivo sendo fontes de variação excessiva e que são evitadas caso se tomem as medidas preventivas necessárias.

Alguns exemplos de causas comuns -

- projeto mal elaborado;
- falta de treinamento ou treinamento inadequado;
- especificações inexistentes, sem sentido ou inadequadas;
- aquisição de matérias-primas de baixa qualidade;
- manutenção inadequada;
- instrumentação e testes não confiáveis;
- máquinas com regulação incorreta;
- falta de normalização.

Alguns exemplos de causas especiais .

- desregulagem de máquina;
- matéria prima não uniforme em suas propriedades;
- variação momentânea dos parâmetros do processo causados

por sistemas auxiliares

O controle estatístico do processo se consegue caso, dentro da operação produtiva, só se tenha causas comuns de variação das características do produto. A estabilização do processo portanto só será conseguida eliminando se as causas especiais que são as origens de quaisquer variações anormais.

causas
ruins

Com o objetivo de se eliminar toda e quaisquer causas especiais, será necessário o uso de diversas ferramentas auxiliares dentro da metodologia do C.E.P. . Tais ferramentas serão a base para o real e efetivo controle do processo

3.3. FERRAMENTAS PARA IMPLANTAÇÃO DO CEP

3.3.1. GRÁFICO DE CONTROLE

O gráfico de controle é uma ferramenta que fornece informações sobre um processo mostrando a evolução da produção ao longo do tempo. Tais informações são importantes pois indicam se o processo está estável ou não, ou seja, se ocorreram causas especiais ou somente há a influência de causas comuns. Deste modo, pode-se considerar que os gráficos de controle dão subsídios na decisão de qualquer medida de intervenção no processo para corrigir as causas especiais e prevenir uma nova ocorrência.

Na construção dos gráficos temos que calcular a Linha Média do Processo que é simplesmente a média dos valores plotados de acordo com a variável escolhida dentro de uma amostragem do processo e os Limites de Controle que são dois : Superior e Inferior, os quais são calculados respectivamente, somando-se e subtraindo do valor da média estimada do processo geralmente 3 vezes o valor do desvio-padrão estimado da mesma amostragem utilizada no cálculo da Linha Média. Com tais referências podemos fazer testes para verificação do controle estatístico. Para isto, deve-se dividir o gráfico em 6 partes com 1 σ cada zona determinada. Na figura temos apenas a metade superior representando 3 zonas. A metade inferior é simétrica a esta.

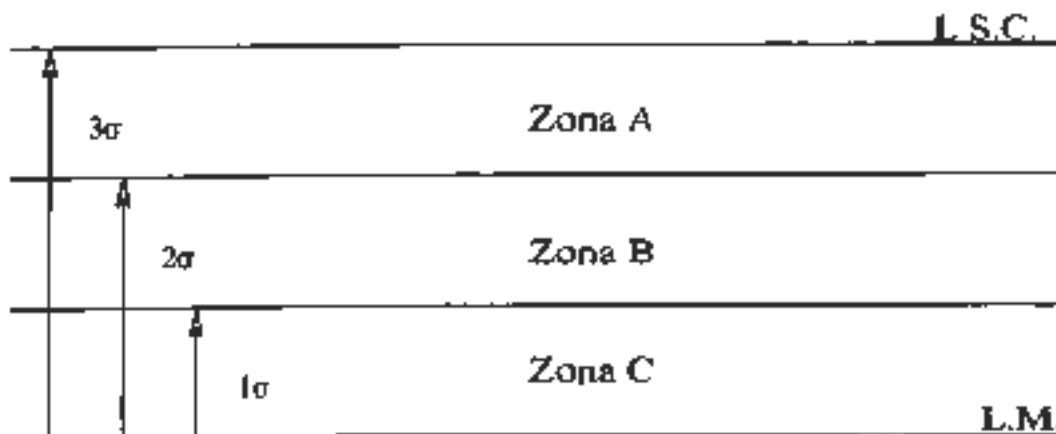
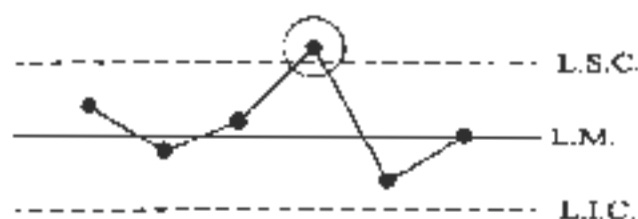


Figura 3.1 - Zonas de um gráfico de controle (ref. 17)

Com tais referências, então, a característica do produto é plotada no gráfico com uma certa amostragem específica durante a produção de acordo com o produto fabricado, seu "lead-time" e outras condições.

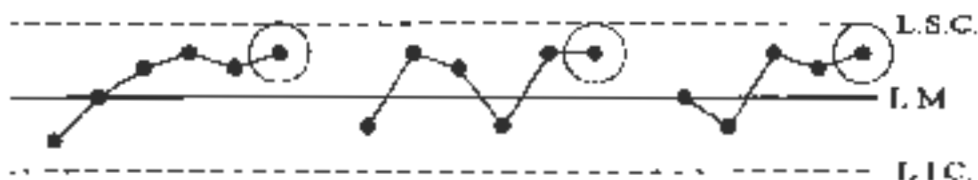
Alguns testes podem ser feitos com os pontos plotados num gráfico de controle para verificar a estabilidade ou não do processo analisado. Assim, de acordo com a distribuição dos pontos dentro das zonas determinadas no gráfico temos tais testes para aferirmos a falta de controle estatístico.



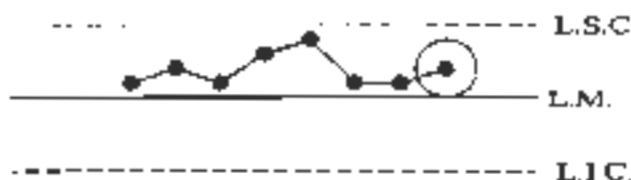
Teste : 1 ponto acima ou abaixo da zona A



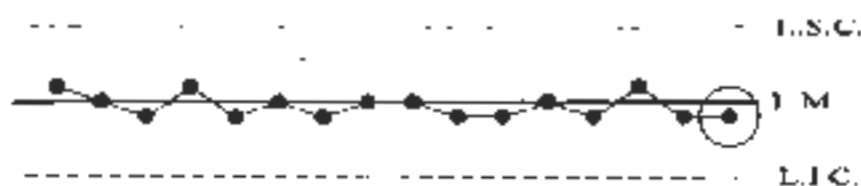
Teste : Em 3 pontos sucessivos, ao menos 2 se situam na Zona A ou acima



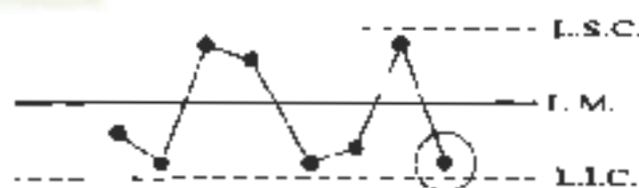
Teste : Em 5 pontos sucessivos, ao menos 4 se situam na Zona B ou acima



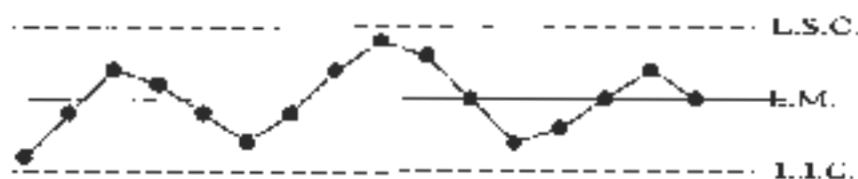
Teste : 8 pontos sucessivos se situam na Zona C ou acima



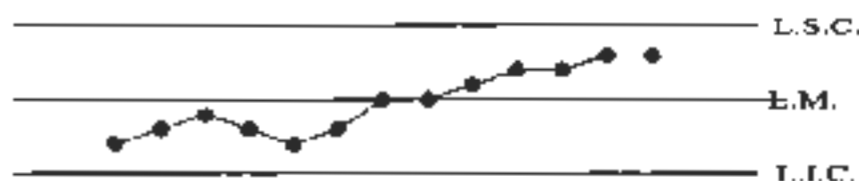
Teste - Falta de Variabilidade : 15 ou mais pontos localizados na zona C acima e abaixo da linha média



Teste : 8 pontos sucessivos se situam próximo aos limites de controle



Teste - Ocorrência de ciclos.



Teste - Ocorrência de tendências.

Figura 3.2 - Testes para gráficos de controle (ref.17)

Assim, as finalidades dos gráficos de controle seriam:

- em estágio inicial de utilização, a verificação da estabilidade do processo através da coleta de informações em amostras iniciais do processo o que gerará os valores da Linha Média e Limites de Controle. Pela variação dos valores coletados, o gráfico mostrará a presença de estabilidade ou não no processo;

- após o início de sua utilização, a verificação da conformidade do processo comparativamente a um padrão já determinado com a Linha Média e Limites de Controle pré-estabelecidos;

- a melhoria do processo no tocante a redução da variabilidade das características do produto.

Dependendo do tipo dos dados a serem coletados, temos diferentes tipos de gráficos de controle que podem ser utilizados. Caso tais dados sejam mensuráveis, se utiliza um gráfico de controle por variáveis. Se os dados não o forem, será utilizado o controle por um atributo do dado (dentro ou fora da especificação, defeituoso ou não)

3.3.2. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

O Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Espinha de Peixe é uma ferramenta utilizada para se analisar um efeito e relacioná-lo com suas possíveis causas. As causas geralmente são fatores ou variáveis que interferem e contribuem para variação no nível do efeito resultante e são relativos a máquinas, mão de obra, métodos, materiais, meio ambiente. O efeito é uma característica de desempenho resultante de uma causa e manifesta-se por um sintoma. Através de uma metodologia específica, tal ferramenta indicará de um certo efeito analisado todas as causas passíveis de ocorrer. Inicialmente, deve-se fazer uma reunião com todo o pessoal envolvido e fazer uma explicação detalhada do problema e seu efeito dentro do processo. Entendido o real problema, passa-se a coletar todas as idéias sobre suas possíveis causas através de um "brainstorm" identificando e posicionando cada uma nos principais grupos de relação. Avalia-se, então, as causas listadas em sua ordem de importância e as consideradas mais importantes devem ser investigadas para ação corretiva e preventiva.

Esta ferramenta, em conjunto com os gráficos de controle, auxilia bastante na priorização das ações para resolução de problemas causados por razões especiais atacando as causas mais importantes.

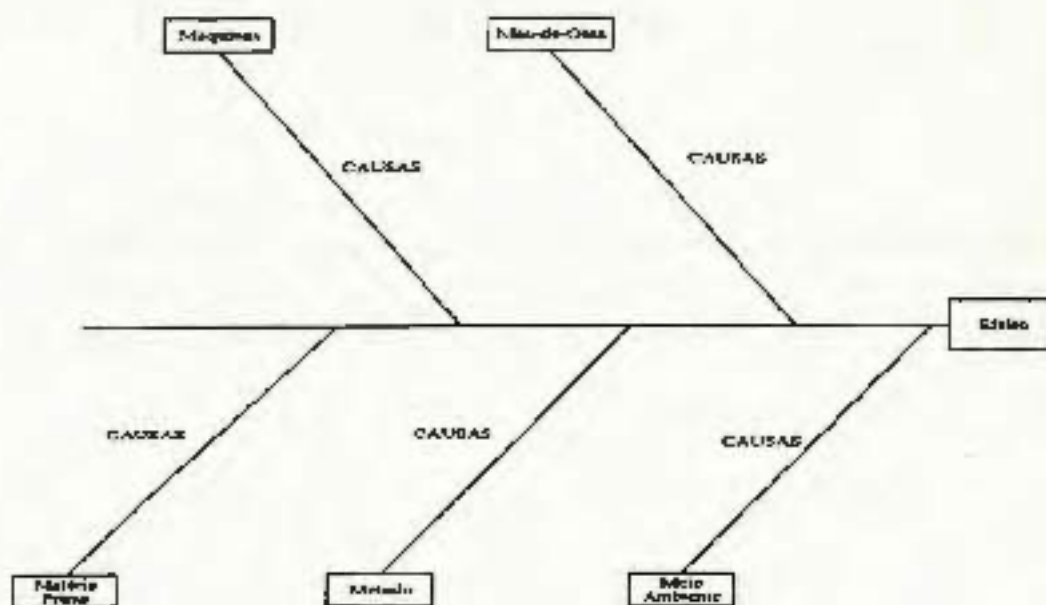


Figura 3.3 - Diagrama de Ishikawa (Ref.9)

3.3.3. ÍNDICE DE CAPABILIDADE

O índice de capacidade (C_{pk}) é um fator que indica de acordo com as especificações técnicas se o processo é capaz ou não. Tomando por hipótese que as características de um produto variam de acordo com uma curva normal de distribuição, pode-se, através da estimativa da média e da dispersão de tais características no processo, verificar a porcentagem de produtos que não satisfariam as especificações técnicas. Assim, através de um monitoramento e, juntamente com o gráfico de controle, pode-se verificar a estabilidade e a capacidade do processo.

Tal índice é obtido através do cálculo do índice de capacidade mínimo entre os limites de especificação superior e inferior com a utilização da média e dispersão estimadas do processo. Assim :

$$C_{pk} = \min (C_{p \text{ sup}} , C_{p \text{ inf}});$$

$$C_{p \text{ sup}} = \frac{LES - \mu}{3\sigma} , \mu = \text{média estimada do processo}$$

LES = limite de especificação superior
 σ = dispersão estimada do processo

$$C_{p \text{ inf}} = \frac{\mu - LIS}{3\sigma} , \mu = \text{média estimada do processo}$$

LIS = limite de especificação inferior
 σ = dispersão estimada do processo

Os valores mínimos do índice de capacidade para garantir que um processo seja capaz são :

$C_{p \text{ min}}$	Condição do Processo
1,25	Processo Atual
1,45	Processo Novo
1,45	Parâmetro crítico Processo atual
1,60	Parâmetro crítico Processo novo

Tabela 3.4 - Valores mínimos para C_{pk} (ref. 14)

A seguir temos um quadro mostrando os valores do C_p e a proporção de produtos não conformes associada para um processo com distribuição normal :

Proporção de Não-Conformes (em partes por milhão)

C_p	Especificação Unilateral
0,25	226.628
0,50	66.807
0,60	35.931
0,70	17.865
0,80	8.198
0,90	3.467
1,00	1.350
1,10	484
1,20	159
1,30	48
1,40	14
1,50	4
1,60	1
1,70	0,17
1,80	0,03
2,00	0,0009

Tabela 3.5 - Proporção de não conformidades com C_p associado
(ref.14)

Dessa forma, se percebe como é importante a medição de tal índice para verificar o estado do processo e sua evolução ao longo do tempo e tomar qualquer medida necessária em caso de não satisfazer o valor mínimo da capacidade, utilizando as ferramentas de melhoria.

4. IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

4.1. CONSCIENTIZAÇÃO DA EMPRESA

Um aspecto importante no que se refere a implantação de uma metodologia de qualidade é a importância do empenho de todos os níveis da administração e operação da empresa para que haja realmente uma consciência com relação à qualidade. No caso do C.E.P., isto não é diferente, havendo a necessidade de sensibilizar a todos no sentido de melhorarmos a produtividade da empresa.

4.2. DEFINIÇÃO DE EQUIPES DE TRABALHO E SUAS RESPONSABILIDADES

Um outro ponto importante na implantação da metodologia de qualidade do C.E.P. é a definição de equipes de trabalho para atuação direta na conscientização geral dos colaboradores da empresa e na aplicação efetiva da ferramenta como um auxílio no gerenciamento da produção.

4.3. FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS NOS SETORES PRODUTIVOS

Com o objetivo de analisarmos todos os processos da fábrica com as variáveis importantes que são registradas e que podem vir a ser controladas pelo C.E.P. deve-se fazer os fluxogramas dos processos em cada setor com indicação dessas variáveis.

Deste modo, tem-se uma visão geral da produção na fábrica e isso auxiliará na próxima etapa da implantação que é exatamente a escolha de qual processo para o início de implantação de C.E.P.

4.4. DEFINIÇÃO DO PROCESSO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP

Dentre os diversos processos existentes dentro da fábrica, deve-se determinar uma área piloto para implementação do CEP cuja importância dentro da produção seja significativa para posteriores expansões para as demais áreas produtivas servindo como base de consultas para os projetos seguintes. Deste modo, devemos ter uma justificativa coerente para a escolha de tal processo na implantação da metodologia. A justificativa relaciona-se com a importância do processo dentro da produção geral da empresa ou deficiências crônicas de controle ou quaisquer outros fatores que se possam encontrar.

4.5. REVISÃO DO PROCESSO NA ÁREA PILOTO

A revisão do processo na área piloto se faz necessária pois é importante que se garanta que as medições de dados para análise do C.E.P. sejam confiáveis, além de verificar procedimentos de trabalho, atitudes de operadores, eficácia do processo e, através de análise de dados históricos do processo, verificar sua validade e estudar possíveis modificações para melhoria geral do processo.

4.6. DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO

Uma descrição detalhada do processo se faz necessária para conhecimento do mecanismo de produção e para melhor entendimento das diversas variáveis que influem no sistema produtivo escolhido. Deste modo, fica facilitada a obtenção de sugestões de melhoria pois o entendimento e conhecimento geram bases para melhor análise de problemas que possam surgir.

5. PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO

Uma vez, determinado o processo a ser usado para implementação do C.E.P., um planejamento deve ser elaborado envolvendo todos os passos relativos à mesma e que servirá de base para futuras expansões da metodologia em outros setores da fábrica. Tal planejamento incluirá desde os fatores humanos até os documentos a serem utilizados sejam já existentes e adaptados ou a serem criados.

5.1.DEFINIÇÃO DE RESPONSABILIDADES NA IMPLANTAÇÃO DO C.E.P.

Os elementos operacionais dentro do processo escolhido têm grande peso no sucesso da implantação da metodologia. Desta forma, é extremamente necessário que seja definido pormenorizadamente as atitudes e ações responsáveis para toda função dentro do processo. Assim, se todos agirem de forma organizada de acordo com seu papel, a implantação se torna mais fácil.

5.2.DEFINIÇÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM

O plano de amostragem tem como objetivo a determinação de qual variável será analisada prioritariamente, assim como a frequência, o tipo de carta de controle a ser utilizado, procedimento padrão para retirada de amostras e outras ações de acordo com a variável escolhida. Isto é importante devido ao fato de padronizar exatamente todas as ações na amostragem do produto de forma a se ter tudo documentado.

PLANO DE AMOSTRAGEM

Produto _____ Identificação _____

Característica do Produto Avaliada _____

Sistema _____

Tipo de Carta de Controle

☐
 \bar{X} R

☐
 \bar{X} S

☐
 \bar{X} R

☐
 \bar{X}

☐
P

☐
nP

☐
C

☐
U

Tamanho da Amostra _____

Frequência da Amostra _____

Responsável pela Retirada da Amostra _____

Procedimento para Retirada da Amostra _____

Destino das Amostras _____

Responsável pela Análise das Amostras _____

Procedimento para Análise das Amostras _____

Destino da Análise das Amostras _____

Data da Revisão						
Número da Revisão						
Responsável						

Figura 5.1 - Plano de Amostragem para Implantação do C.E.P.

5.3.ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO

O acompanhamento das principais variáveis do processo é uma etapa importante na implementação do C.E.P. pois é uma forma de rastreamento de causas para quaisquer anormalidades que possam surgir dentro da produção. Tal acompanhamento deve ser feito através da anotação de todos os parâmetros do processo em fichas e/ou formulários. Além disso, é necessário que um documento com as ações extraordinárias que aconteçam sejam anotadas para posterior análise de suas consequências dentro do processo. Desta forma, tem-se perfeitas condições de verificar mudanças ocorridas nas variáveis e ocorrências anormais que são justamente as causas para degradação da qualidade do produto.

5.4. DEFINIÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE UTILIZADAS NO PROCESSO

A definição do tipo das cartas de controle depende muito do tipo de processo existente dentro da empresa além de considerar também como se faz as medições da característica a ser monitorada. Deste modo, a partir de tais fatores pode-se decidir pelo uso de cartas de controle de variáveis ou por atributos. Uma vez definido o tipo de carta, deve-se analisar um período do processo e através de fórmulas específicas para cada tipo de gráfico teremos os limites de controle do processo, caso satisfaça certas condições, e serão os parâmetros para a característica a ser acompanhada. De acordo com os testes já descritos anteriormente e cujos exemplos serão colocados junto ao painel pode-se verificar o estado de normalidade estatística ou não atuando sempre de maneira a manter tal normalidade e melhorar continuamente a fim de diminuirmos a variabilidade do processo. Tais limites devem ser calculados em todas as cartas preenchidas completamente e cuja alteração só pode ser feita caso haja uma melhora na variabilidade do processo. Para se ter uma noção numérica de tal variabilidade, dentro da faixa das especificações técnicas, elaborar-se-á também um histórico do índice de capacidade já descrito anteriormente e que será útil para verificar a situação atual e a evolução do sistema produtivo.

5.5. ANÁLISE DO PROCESSO ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO IMPLANTADO

Através principalmente dos gráficos de controle utilizados com o plano de amostragem pode-se verificar o estado do processo relativo as variações das características do produto analisadas e também relativamente às especificações técnicas adotadas para aceitação do produto para posterior utilização por clientes internos ou externos.

Com a utilização dos Limites de Controle dentro dos gráficos de controle podemos verificar a estabilidade ou não do processo e através do cálculo do índice de capacidade verificar se ele é ou não capaz de satisfazer as especificações técnicas.

5.6. RESULTADO DA ANÁLISE

O objetivo do Controle Estatístico do Processo não é somente a estabilidade do processo, mas também uma melhoria continua do mesmo. A utilização das cartas de controle será fonte de duas informações importantes : o controle estatístico e a capacidade. Assim, pode-se examinar o "estado" de um processo através da análise destas duas ferramentas. A seguir temos o seguinte quadro que descreve bem as situações possíveis e os procedimentos para melhoria do processo produtivo.

		Processo Capaz	
		sim	não
Processo sob Controle	sim	C.E.P. EVOP	C.E.P. EVOP Delineamento de Experim. Estudo das Especificações
	não	C.E.P.	C.E.P. Delineamento de Experim. Estudo das Especificações

Figura 5.2 - Ações para melhoria de um processo
(ref. 14 - adaptado pelo autor)

5.6.1.PROCESSO INSTÁVEL

A instabilidade do processo é devido à ocorrência de causas especiais as quais devem ser eliminadas. Para isto, deve-se verificar as possíveis causas de tal variação, eliminá-las através de ações corretivas e garantir que as mesmas não ocorram novamente com medidas preventivas.

Tais ações corretivas e preventivas devem estar presentes num documento chamado Matriz de Ações Corretivas e Preventivas com as medidas a serem tomadas caso a característica analisada do produto esteja fora da distribuição normal para toda e qualquer causa possível conhecida.

Para elaboração de tal matriz, tomamos como ferramenta o Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Espinha de Peixe. Tal ferramenta relaciona um efeito observado com suas possíveis causas. De cada causa possível, determina-se quais as ações corretivas e preventivas recomendadas e preenche-se na matriz. Assim, caso uma causa seja reconhecida deve-se agir corretivamente e prevenir sua nova ocorrência seguindo-se os passos ditados na matriz.

Caso a causa do problema for desconhecida será necessário uma investigação para descobri-la e, em seguida, documentá-la com as respectivas ações corretivas e preventivas.

Com a efetiva utilização de tal matriz, haverá uma melhoria no processo, o qual deve se tornar mais estável.

5.6.2.PROCESSO ESTÁVEL

Caso não haja a existência de causas especiais ou estas forem eliminadas e, conseqüentemente ocorra a estabilização do processo, deve-se analisar os parâmetros para reduzir a variabilidade atacando-se as causas comuns. Para isso, seria necessário a alteração dos equipamentos ou do método com um treinamento dos operadores ou melhores insumos utilizados ou mudanças diretas nos parâmetros a fim de se conseguir uma melhor produtividade e qualidade. Para tal, utilizar-se-ia, no caso, uma ferramenta de otimização do processo.

5.6.3.PROCESSO INCAPAZ

Caso o índice de capacidade indique que o processo não é capaz, isto é, a distribuição dos produtos com relação à característica analisada não satisfaz as especificações técnicas, é necessário que se faça uma análise detalhada do processo para determinar pontos de melhoria nos parâmetros do processo ou estudar tais especificações.

5.6.4.PROCESSO CAPAZ

Se o processo for capaz de satisfazer as especificações técnicas com distribuição dos produtos dentro da faixa esperada, o caminho é tentar a otimização do processo através da melhoria da produtividade utilizando-se ferramentas de otimização.

6. IMPLANTAÇÃO EFETIVA DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

6.1. TREINAMENTO E ACOMPANHAMENTO DO PESSOAL ENVOLVIDO

O pessoal diretamente envolvido com o processo determinado deve ter um treinamento para a implantação eficaz da metodologia C.E.P.. A nível de operadores, um treinamento básico para os procedimentos necessários para o controle estatístico deve ser dado a fim de esclarecer as finalidades e benefícios da ferramenta. Todos os documentos devem ser apresentados e a sua maneira correta de preenchimento explicada.

6.2. PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO C.E.P.

Todo e qualquer procedimento deve ser documentado e padronizado como uma base para expansões futuras em outras áreas da fábrica. Deste modo, haverá uma espécie de histórico da implantação do C.E.P. na área piloto, o que seria uma fonte extremamente útil para a solução de problemas. Quaisquer modificações dentro dos procedimentos devem ser registradas e, deste modo, sempre estarão atualizados.

Fluxogramas com os procedimentos para implantação e operação do C.E.P. estão apresentados para que, em qualquer projeto de implantação do Controle Estatístico dentro dos processos produtivos da empresa, tais ações sejam seguidas como um padrão.

Fluxograma dos Procedimentos para
Implantação do C.E.P.

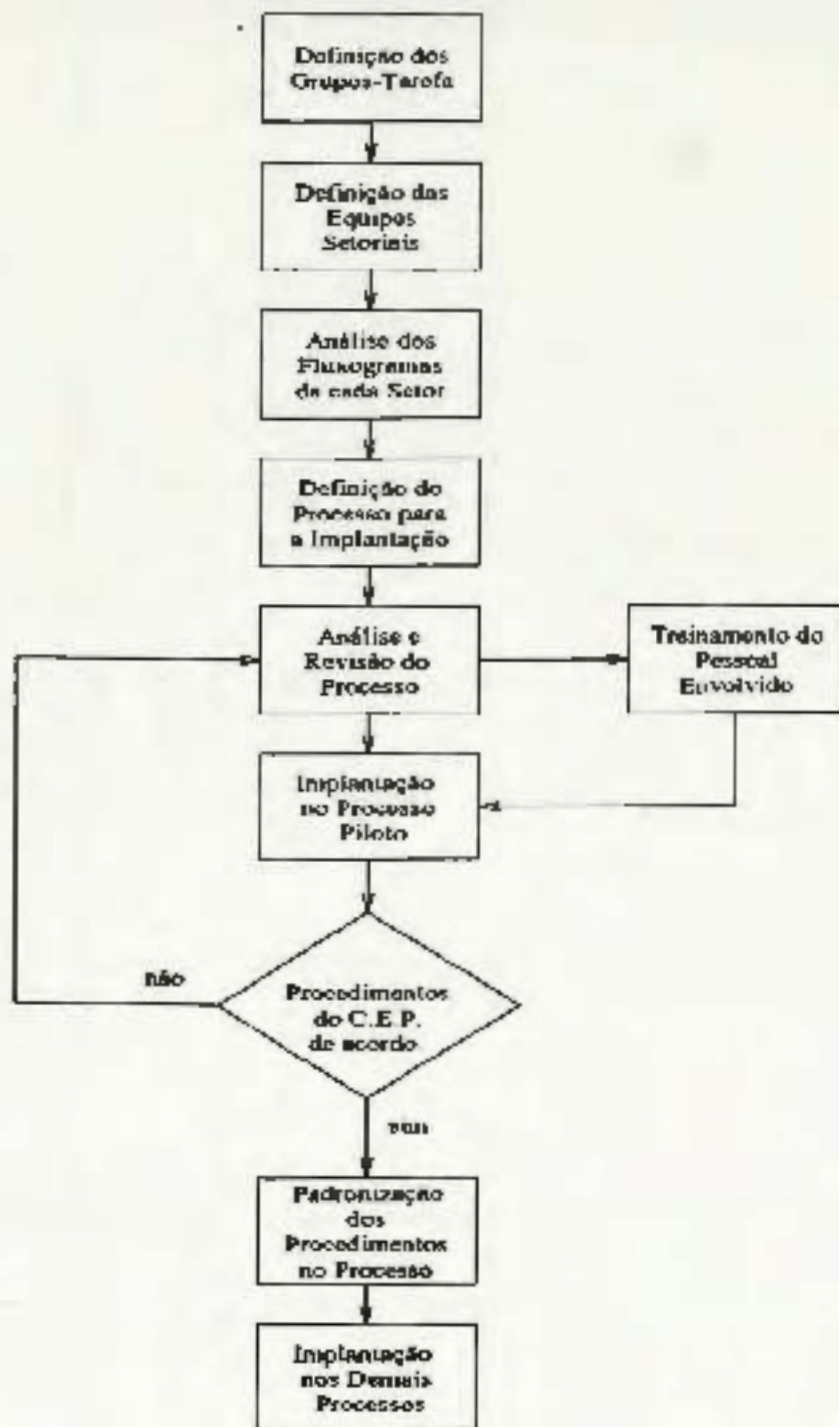


Figura 6.1 - Fluxograma dos Procedimentos para Implantação do C.E.P.

(da onde vem?)

Operação do Controle Estatístico do Processo

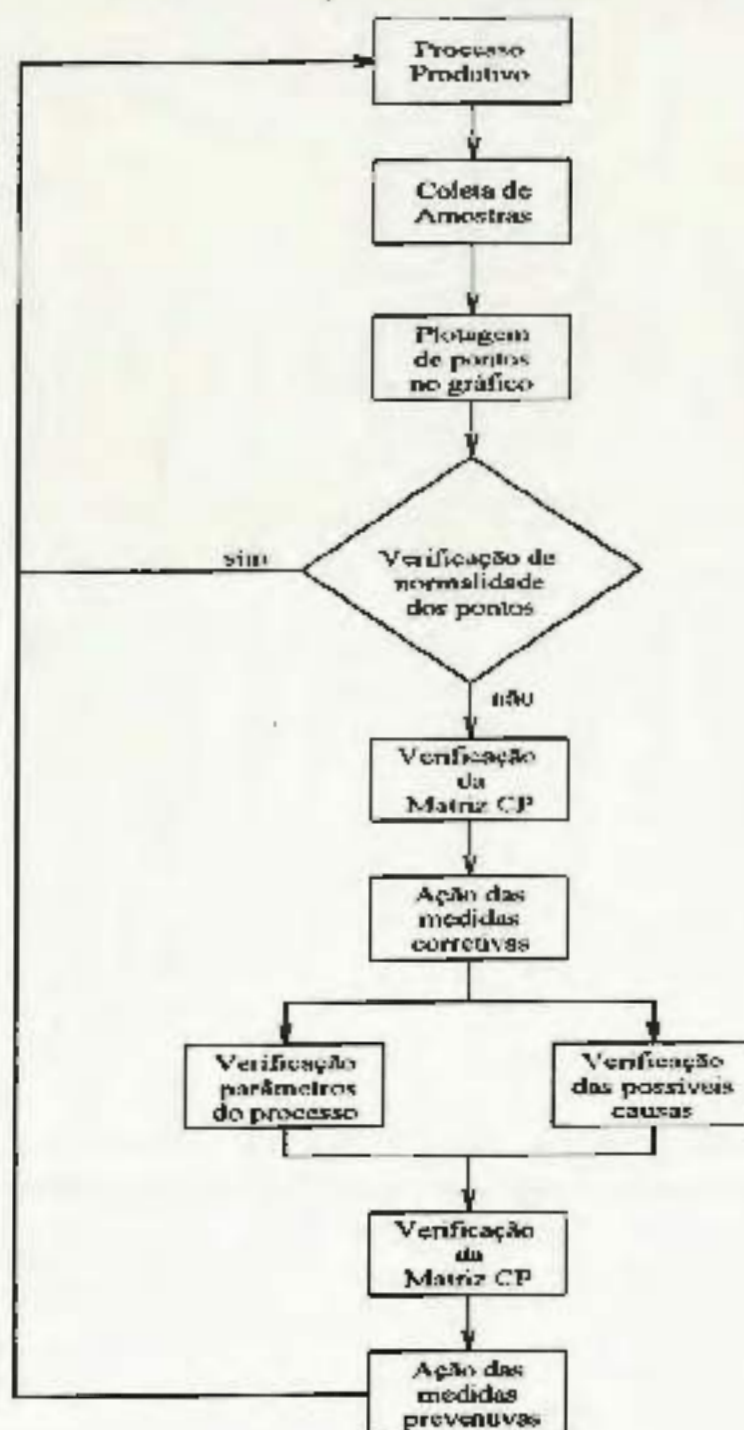


Figura 6.2 - Operação do C.E.P.

7.IMPLANTAÇÃO DO C.E.P. NA EMPRESA

7.1.CONSCIENTIZAÇÃO DA EMPRESA

A alta administração vem, nos últimos anos, se preocupando bastante com a melhoria da qualidade, produtividade e competitividade da empresa. Para tal, estruturou-se para receber a certificação da divisão Fibras de acordo com normas de produção internacionais, mais especificamente a ISO 9001. Dentro da norma, um de seus itens é exatamente o uso de técnicas estatísticas para o controle de processos. A implantação do C.E.P. é uma fase para conseguir as condições para a certificação ISO 9001. Além disso, o desenvolvimento do sistema de qualidade total - Hoechst indicam uma grande preocupação em estar voltada ao cliente mas com consciência ecológica respeitando o meio ambiente. Por outro lado, verifica-se um baixo envolvimento da produção, principalmente os operadores diretos dos equipamentos, os quais, por ignorância, ou mesmo por desinteresse, não estão engajados neste programa para melhoria geral da divisão. Assim, será necessário um grande esforço a fim de conscientizar a produção da importância de seu envolvimento para qualidade, produtividade e competitividade da empresa.

7.2.DEFINIÇÃO DE EQUIPES DE TRABALHO E SUAS RESPONSABILIDADES

Dentro do programa do Sistema de Qualidade Total - Hoechst, criou-se uma comissão central da empresa e comissões setoriais para cada área da fábrica.

A Comissão Central da empresa tem como compromisso:

- identificar pontos de melhoria;
- estabelecer grau de importância (hierarquia);
- fixar prioridades;
- alocar recursos;
- avaliar sucesso.

As funções de cada Comissão Setorial são :

- desenvolver e implantar a estratégia de aperfeiçoamento contínuo;
- medir e comunicar progresso;
- desenvolver e manter um programa de conscientização;
- estabelecer e manter um programa de treinamento para o aperfeiçoamento;
- dar assistência a gerência e colaboradores em geral na implantação do processo;
- desenvolver e implementar planos de reconhecimento e recompensa;
- estabelecer e manter intercâmbio com outras atividades de aperfeiçoamento tanto dentro como fora da Divisão;
- estabelecer sistema de controle de custos de qualidade.

Com a responsabilidade direta da Comissão Central foram criados Grupos-Tarefa com participação direta de colaboradores de diversas áreas da empresa com a responsabilidade de analisar pontos de melhoria da fábrica e, através da utilização das ferramentas disponíveis, encontrar soluções e implementá-las.

Um destes grupos ficou responsável pela implantação do C.E.P. em toda a fábrica e para isso, foi dado um treinamento básico da metodologia C.E.P. para todos seus membros e, à medida que o grupo for desenvolvendo seu trabalho, maiores esclarecimentos em pontos específicos da ferramenta serão fornecidos.

Tal grupo tem a participação direta de :

- Chefe de Seção Policondensação;
- Gerente de Setor Monofil/ATG;
- Gerente de Setor Texturização;
- Chefe de Seção Treinamento;
- Gerente de Setor Contabilidade;
- Gerente de Setor Desenvolvimento de Produtos;
- Supervisor de Automação.

Tal grupo-tarefa tem como responsabilidade :

- Desenvolver plano de ação geral para implementação do Contro-le Estatístico do Processo;
- Fixar prioridades e objetivos para qualidade;
- Fornecer recursos, orientação e suporte para os grupos setoriais em quaisquer dificuldades que surjam na implantação do C.E.P. dando sugestões;
- Acompanhar os projetos de cada setor e o seu desenvolvimento avaliando o progresso de cada grupo setorial;

Inicialmente, será necessário uma reunião de todos os membros do grupo-tarefa com uma frequência quinzenal para discussão dos processos em toda a fábrica e elaboração de plano de ação geral para implementação do C.E.P..

7.3.FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS NOS SETORES PRODUTIVOS

Os fluxogramas dos processos principais (Policondensação, Fiação Têxtil, Fiação ATG, Estiragem, Texturização a Fricção, Texturização a Ar, Retorcedeira Barnag, Conicaleira, Tinturaria, Polimerização) com as principais variáveis e características dos produtos produzidos estão descritos a seguir nas figuras :

POLICONDENSAÇÃO

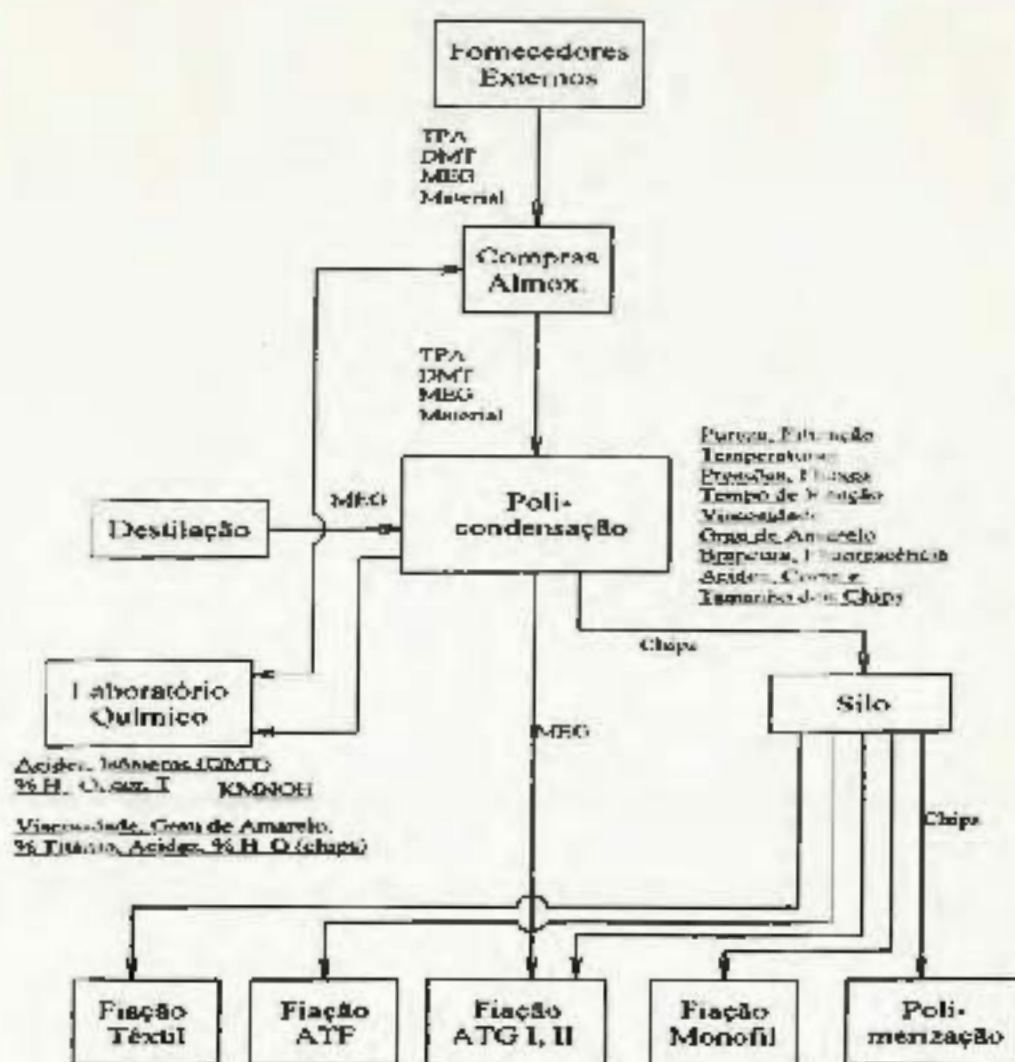


Figura 7.1 - Fluxograma do Processo - Policondensação

FIAÇÃO TÊXTIL

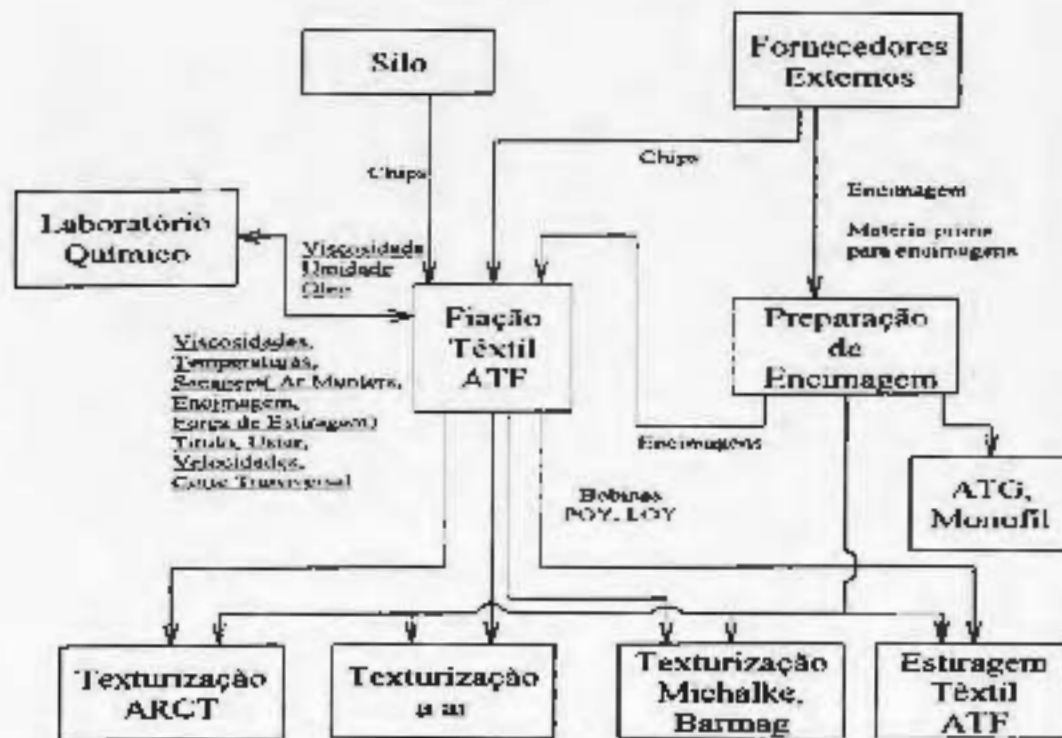


Figura 7.2 - Fluxograma do Processo - Fiação Têxtil

TEXTURIZAÇÃO A FRICÇÃO

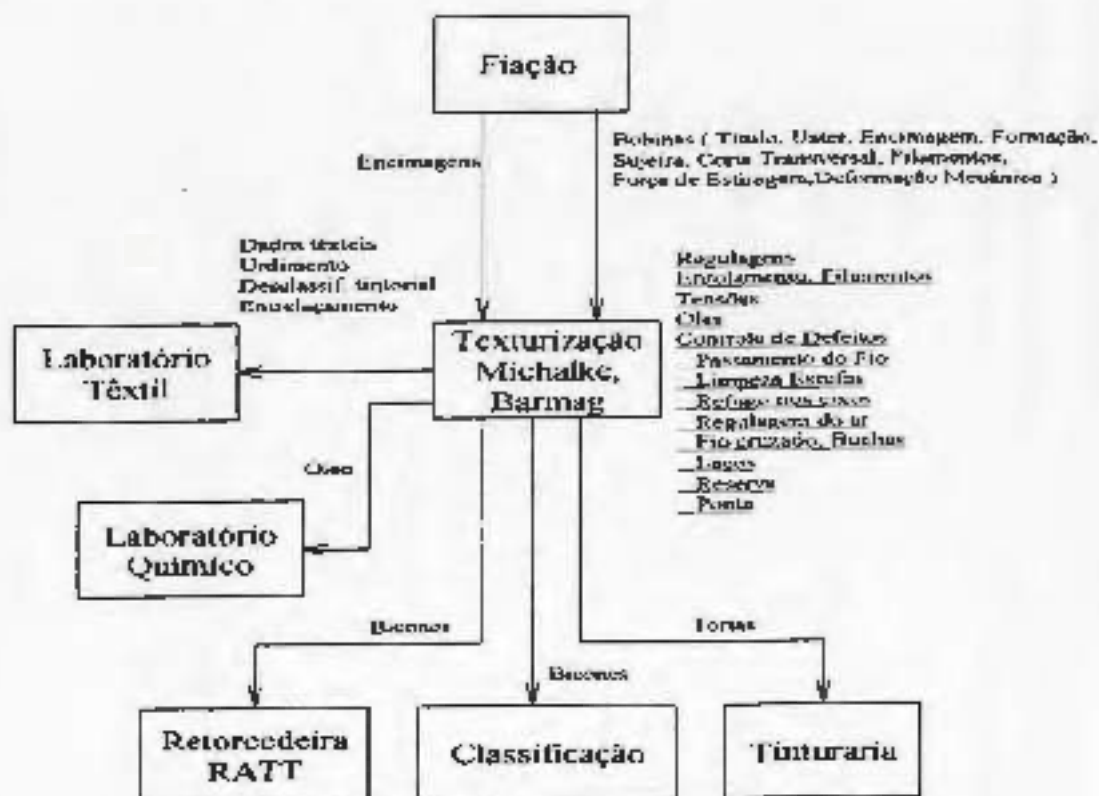


Figura 7.3 - Fluxograma do Processo - Texturização a Fricção

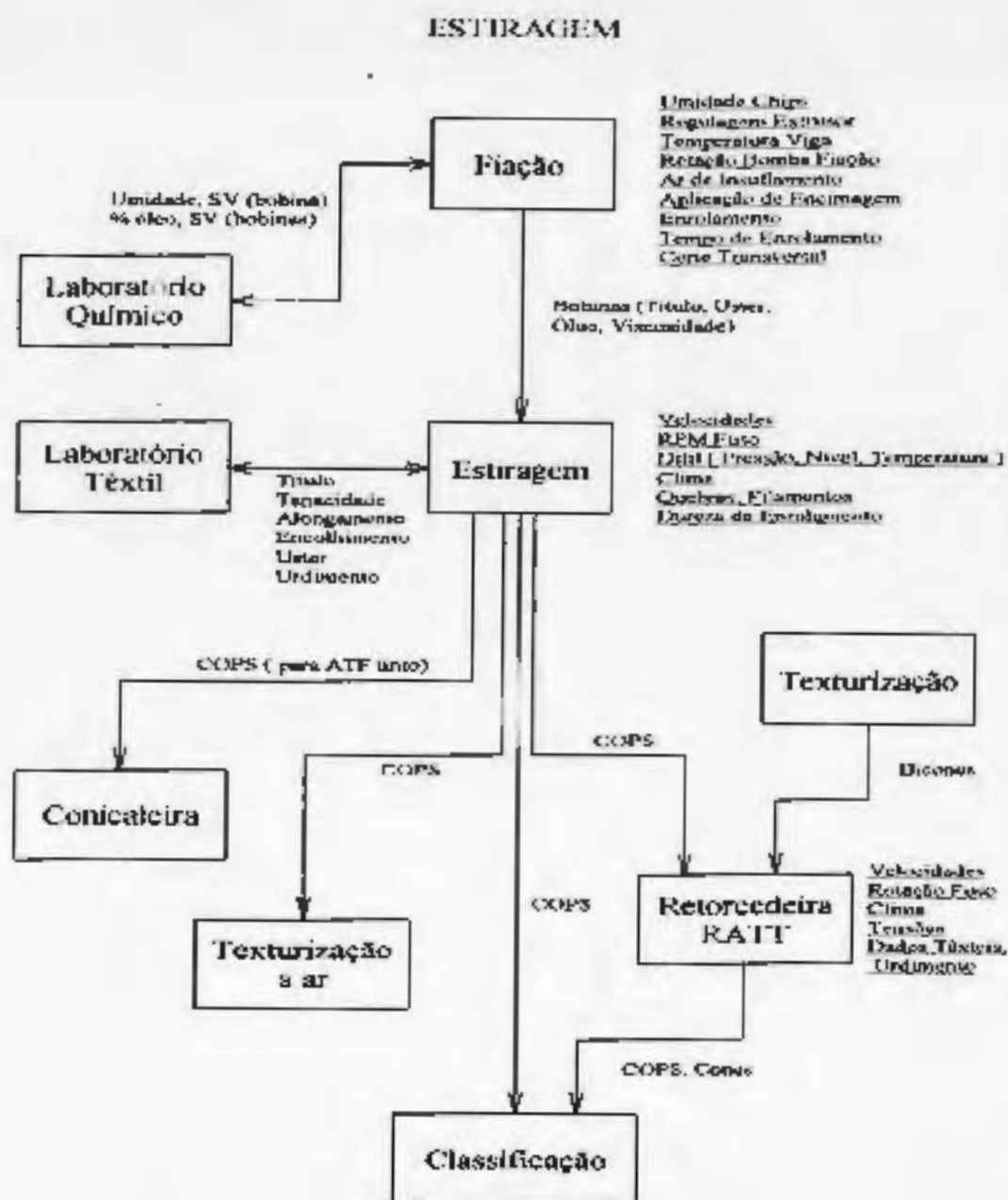


Figura 7.4 - Fluxograma do Processo - Estiragem

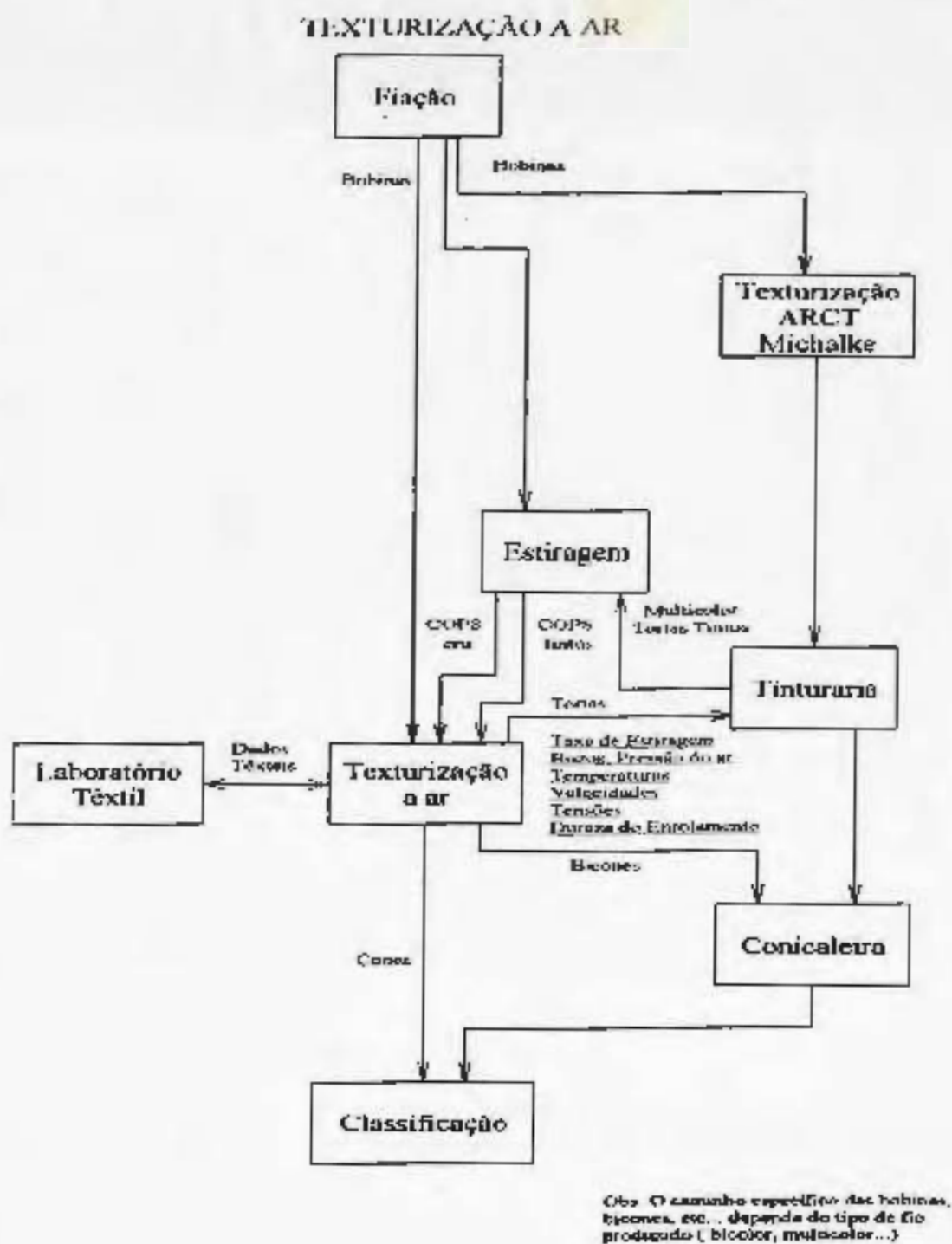


Figura 7.5 - Fluxograma do Processo- Texturização a Ar

CONICALLEIRA

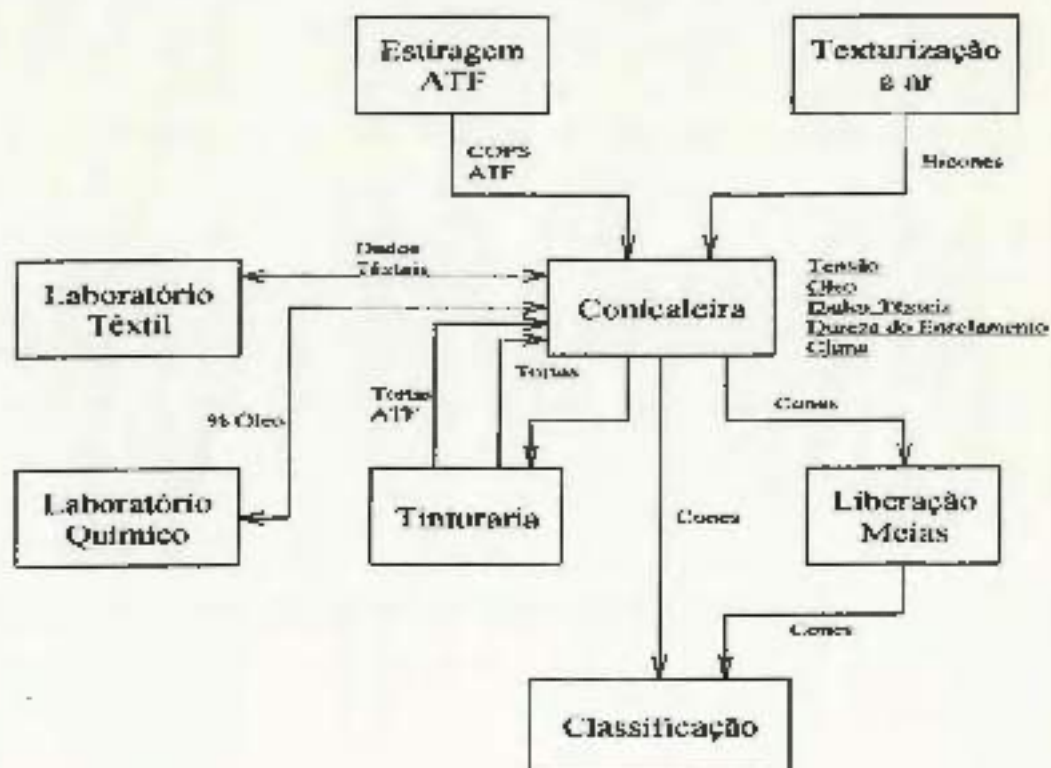


Figura 7.6 - Fluxograma do Processo - Conicalleira

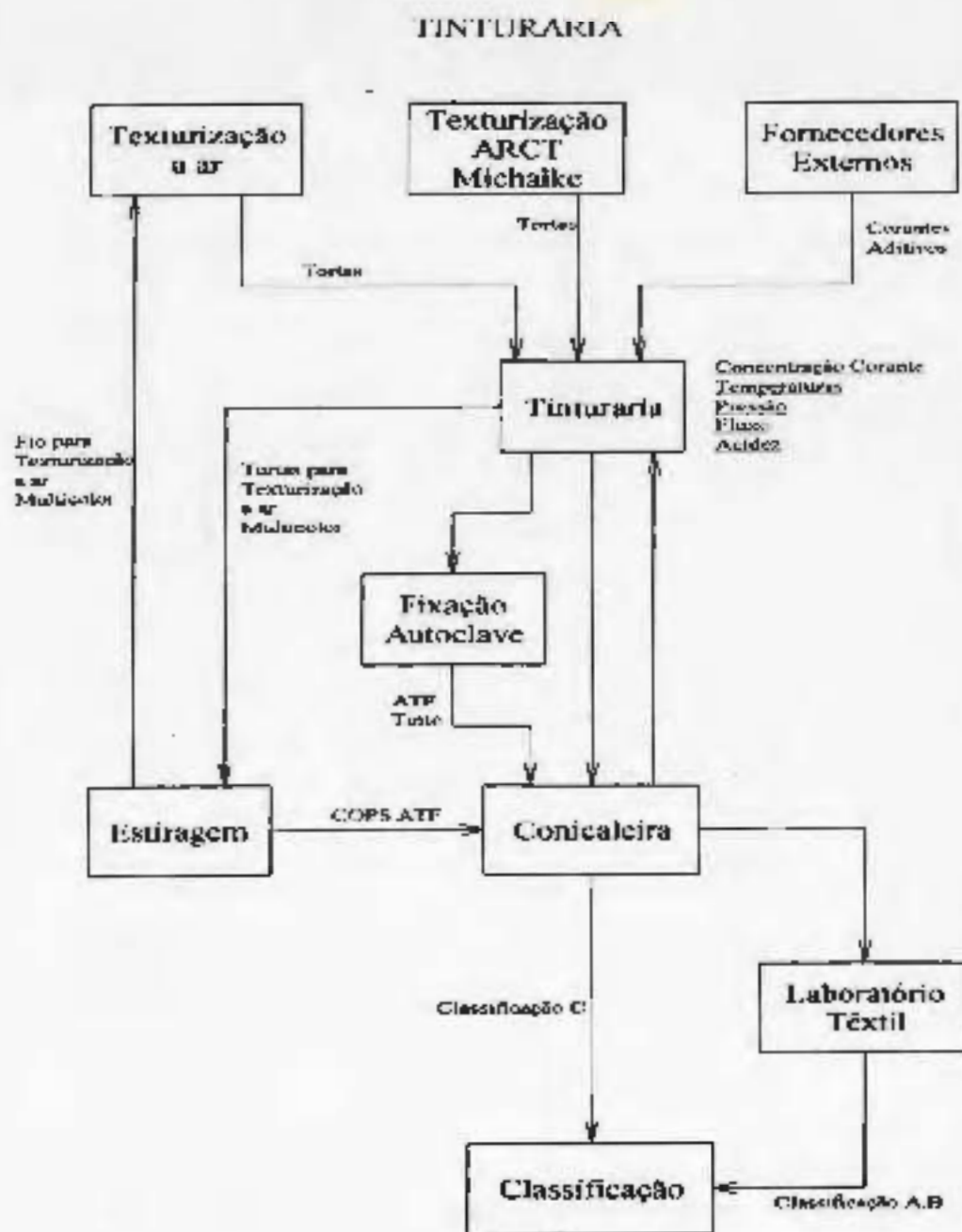


Figura 7.7 - Fluxograma do Processo - Tinturaria

RETORCEDEIRA BARMAG

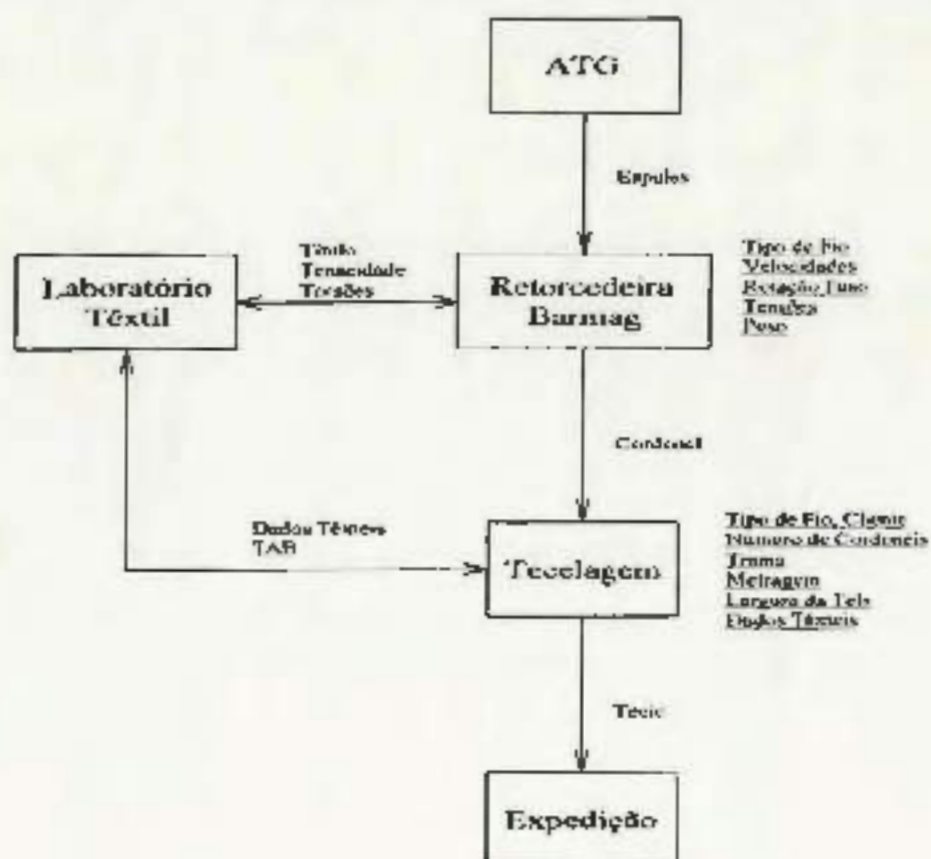


Figura 7.8 - Fluxograma do Processo - Retorcedeira Barmag

FIAÇÃO ATG

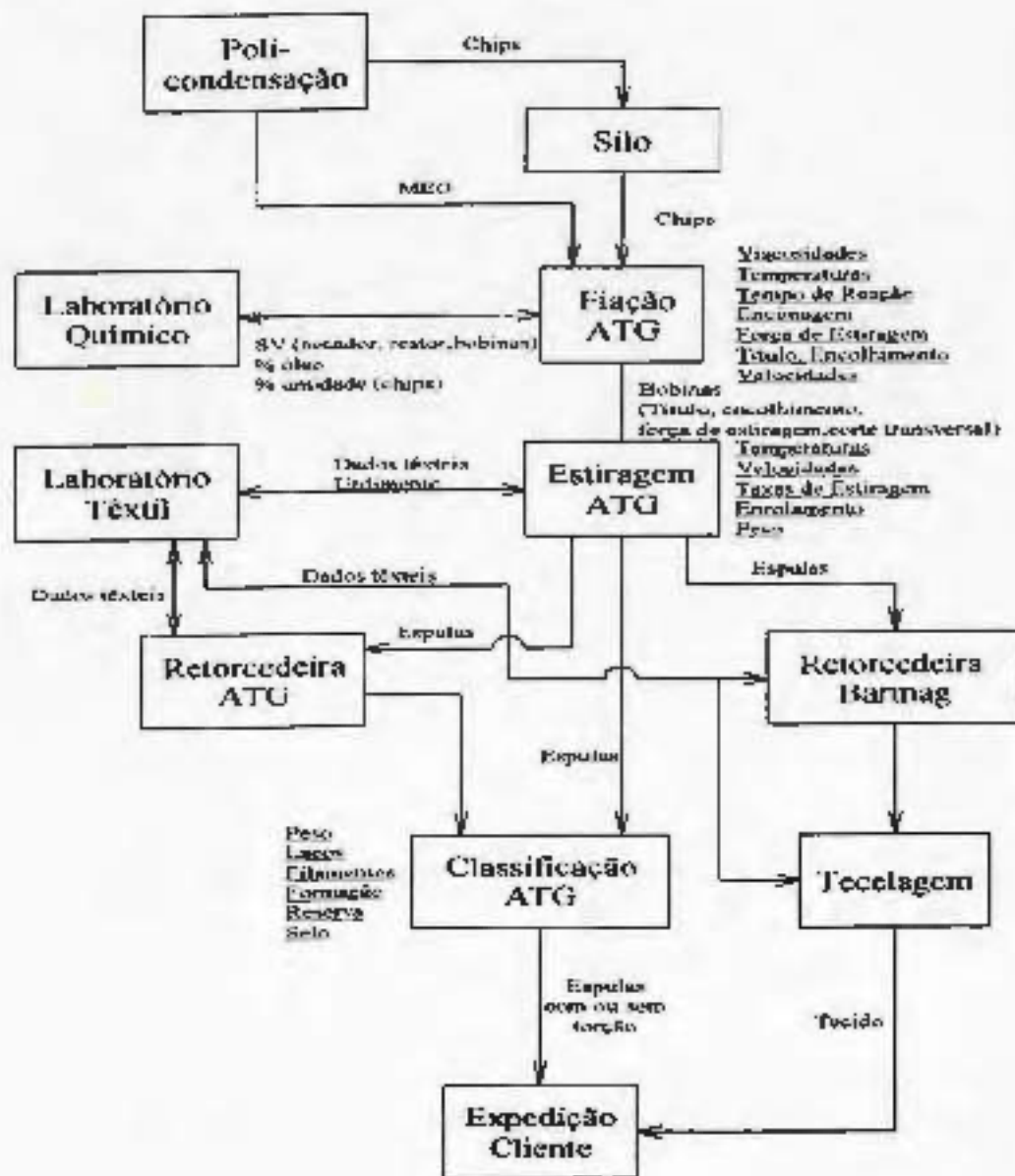


Figura 7.9 - Fluxograma do Processo - Fiação ATG

POLIMERIZAÇÃO

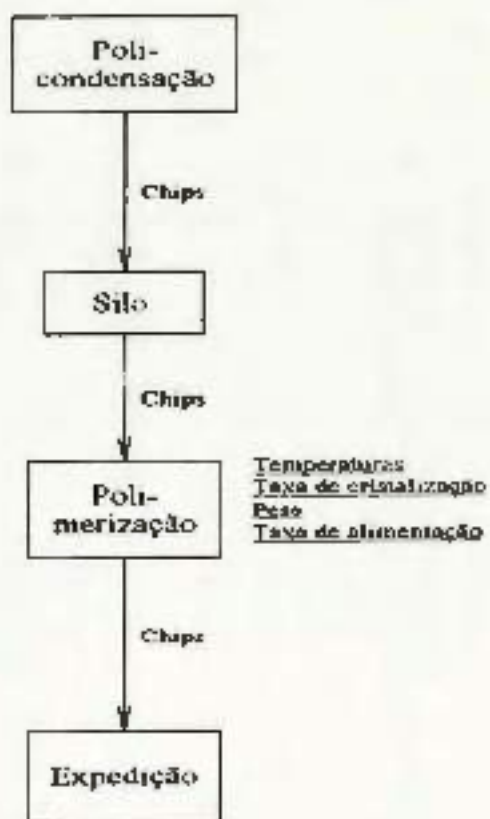


Figura 7.10 - Fluxograma do Processo - Polimerização

7.4. DEFINIÇÃO DO PROCESSO PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP

No caso da empresa optou-se em implantar o C.E.P. no setor Policondensação, uma vez que se trata de um setor de extrema importância dentro do processo como um todo, uma vez que é onde se produz a matéria prima utilizada em toda a fábrica que é o PET, como já descrito no início do trabalho. Além disso, determinou-se tal setor, uma vez que os operadores deste setor já possuem uma noção dos gráficos de controle.

Dentro da Policondensação, temos cinco sistemas produtivos, os quais possuem similaridades entre si. No caso dos sistemas I, II e III, a matéria-prima utilizada é o DMT (Dimetiltereftalato) enquanto que nos sistemas restantes, IV e V, o TPA (Ácido Tereftálico) é o insumo usado.

O sistema escolhido como área piloto dentro da Policondensação foi o sistema III, pois é um sistema cujos parâmetros e condições do processo são mais conhecidos do que aqueles cuja matéria-prima é o TPA, cuja implantação é recente e onde ainda os parâmetros estão sendo adaptados.

Os procedimentos serão descritos para serem seguidos para a produção de todos os sistemas, embora os resultados específicos quanto à implantação serão relativos somente ao sistema III (para efeito de simplificação do trabalho, uma vez que os sistemas produtivos são similares).

7.5. REVISÃO DO PROCESSO NA ÁREA PILOTO

A revisão do processo foi iniciada pela aferição de todos os instrumentos de controle do processo químico para assegurar que a medição dos parâmetros envolvidos esteja realmente indicando os reais valores das variáveis para obtenção do polímero. Deste modo, pode-se garantir que os instrumentos indicarão com precisão necessária todos os valores das variáveis do processo. Além disso, ocorre uma revisão periódica de todos os procedimentos relacionados à documentação e ao próprio processo devido ao fato da preparação e manutenção da certificação na norma ISO 9001 (ocorrida em maio/94).

↓
somente aferição
não é suficiente!
RBE

7.6.DESCRICÃO DETALHADA DO PROCESSO

O processo é a própria obtenção do Polietileno Tereftalato (PET). O processo utilizado na empresa é a forma descontínua, ou seja, o produto sai em bateladas, as quais são chamados de partidas. As etapas da produção do polímero podem ser descritas resumidamente em : carga das matérias-primas, transesterificação, policondensação, extrusão, corte, pré-secagem, armazenamento em silos de gomos ou big-bags (sacos de armazenamento), armazenamento em silos verticais e envio para os clientes internos. Tais clientes internos farão uma série de outros processos para enviar para os clientes externos. Cada etapa possui parâmetros, os quais devem ser seguidos para que o produto seja fabricado dentro das especificações técnicas de acordo com sua utilização posterior : seja para a obtenção de fios e/ou fibras de poliéster ou como matéria-prima para embalagens. As matérias primas são o Monoetileno glicol (MEG) conjuntamente com o Ácido Tereftálico (TPA) ou o Dimetiltereftalato (DMT).

Dentro dos cinco sistemas produtivos, atualmente três utilizam o DMT e dois utilizam o TPA. O polímero feito em TPA serve como matéria-prima para as embalagens de PET. Enquanto os outros tipos são utilizados na fabricação de fibras.

Resumidamente, o DMT que vem em forma de escamas é colocado no fundidor para se tornar líquido e facilitar a reação com a outra matéria-prima que é o MEG cuja forma também é líquida. Os dois são colocados em certa proporção no esterificador para ocorrer a transesterificação para obtenção do monômero do PET. A esterificação possui duas fases distintas as quais têm parâmetros específicos a serem seguidos, principalmente, com relação ao aquecimento do produto e colocação de aditivos e catalisadores. Com a confirmação de certos valores dos parâmetros faz-se a transferência para o Policondensador onde ocorrerá a condensação que formará o polímero. Na condensação outros parâmetros são monitorados principalmente a rotação do agitador do polímero que, de certa forma, faz uma medição indireta da viscosidade do polímero. Atingindo certo valor, o polímero sofre a descarga onde sofre um processo de extrusão e se transforma em feiras que são esfriados e cortados formando grânulos de PET os quais são chamados de "chips". Tais "chips" são secados e enviados ao silo de gomos ou em sacos de armazenamento e, após confirmação da qualidade da partida são misturados com outras partidas com características técnicas semelhantes e enviados a um silo vertical em que fica aguardando o envio posterior aos clientes internos.

Apêndice
10

7.7. DESCRIÇÃO DOS LOTES PRODUZIDOS

O setor Policondensação produz os polímeros para posterior processamento quanto à sua transformação para a forma de fios ou fibras ou ainda permanecendo sob a forma de chips. Para cada tipo de aplicação final temos diferentes lotes de PET, cada um com sua formulação específica e procedimentos de fabricação diferentes. Assim, dentro da denominação interna da empresa temos :

LOTE 001 - Polímero para uso na fabricação de monofilamentos.

LOTE 100 - Polímero opaco para uso na fabricação de fios têxteis.

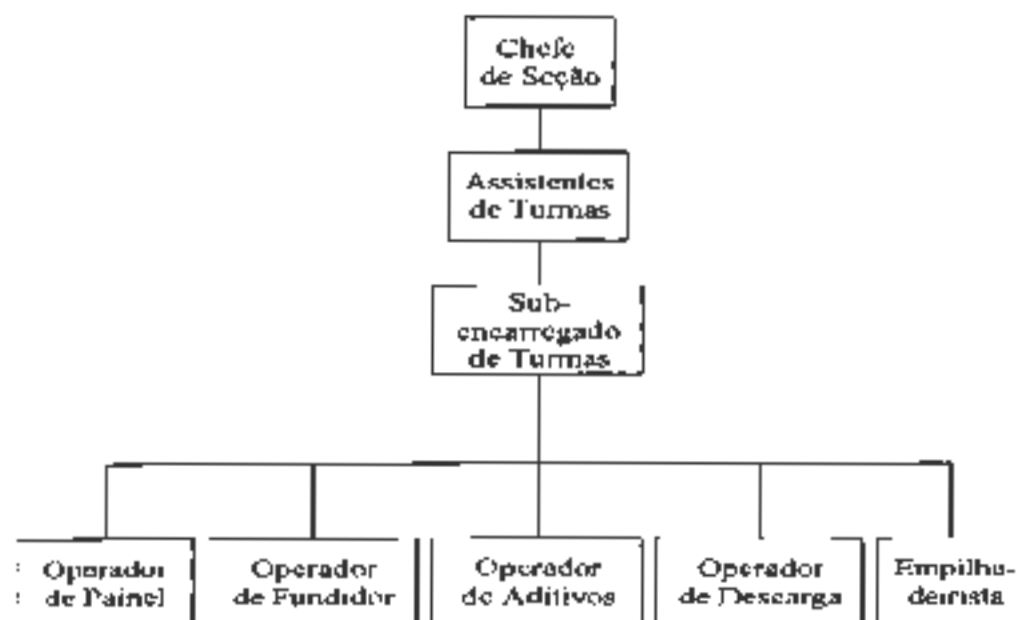
LOTE 200 - Polímero transparente para uso na fabricação de fios têxteis.

LOTE 300 - Polímero para utilização em embalagens (matéria-prima : DMT).

LOTE 400 - Polímero para utilização em embalagens (matéria-prima : TPA).

LOTE 500 - Polímero para uso na fabricação de fios técnicos.

ORGANOGRAMA DA POLICONDENSAÇÃO



Obs. O requisito é o mesmo para todas as quatro turnas : A, B, C e D

Figura 7.12 - Organograma do setor Policondensação

8. PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO NA EMPRESA

8.1. FUNÇÕES E RESPONSABILIDADES NA IMPLANTAÇÃO DO C.E.P.

Todas as pessoas do setor envolvido na implantação do C.E.P. devem ter as funções e responsabilidades descritas em um documento que deverá ficar à mostra para que todos tenham consciência de sua importância dentro do projeto. Para isso, foi feito um quadro detalhando o papel de cada um de acordo com a sua colocação hierárquica.

Quadro de Funções e Responsabilidades do Setor

ÁREA PILOTO : POLICONDENSAÇÃO

Facilitador :

- Orientação e coordenação das atividades na implantação do C.E.P.;
- Acompanhamento da qualidade do processo através de análise das cartas de controle;
- Auditoria periódica dos procedimentos do C.E.P.;
- Elaboração de alterações dos procedimentos quando necessário;
- Análise de causas especiais com auxílio de técnicos e outros para correção e prevenção;

Chefe de Setor :

- Análise, em conjunto com o facilitador, de causas especiais e procedimentos para a eliminação destas;
- Acompanhamento da qualidade dos processos do setor;

Assistente :

- Atuação no processo, para eliminação de irregularidades existentes no processo dentro de sua responsabilidade;
- Verificação dos procedimentos dos operadores;
- Documentação das alterações e irregularidades do processo através do Livro de Ocorrências;
- Comunicação de quaisquer anormalidades do processo ao chefe de setor;

Sub-encarregado :

- Comunicação de quaisquer anormalidades do processo ao assistente;
- Atuação no processo, para eliminação de irregularidades existentes no processo dentro de sua responsabilidade;
- Documentação das alterações e irregularidades do processo através de Caderno de Ocorrências;

Operador de painel :

- Preenchimento do gráfico de controle com a anotação dos números das partidas analisadas e os valores da análise da viscosidade e plotagem dos pontos no gráfico;
- Preenchimento da ficha de controle do painel com os parâmetros do processo de acordo com os procedimentos determinados;
- Preenchimento do Registro de Eventos para anotação das causas de irregularidades nas partidas com relação à viscosidade;
- Comunicação de quaisquer anormalidades do processo ao sub-encarregado e/ou assistente;

Operadores :

- Comunicação de quaisquer anormalidades do processo ao sub-encarregado e/ou assistente;
- Obs. Os operadores de descarga ficarão responsáveis pela coleta das amostras das partidas conforme o plano de amostragem e análise.

8.2.DEFINIÇÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM

O plano de Amostragem deve ser definido para todos os produtos produzidos no setor envolvido. Dessa forma, padronizam-se as ações para coleta das amostras que indicarão os dados a serem utilizados nos gráficos de controle, os quais têm grande importância no C.E.P. A seguir, é apresentado um modelo básico do plano para os diferentes tipos de polímeros fabricados. Os pontos específicos de cada um deles vêm descritos posteriormente.

PLANO DE AMOSTRAGEM						
Produto	Chips de PET			Identificação		
Característica do Produto Avaliada	Viscosidade					
Sistema	I II III IV V					
Tipo de Carta de Controle	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> \bar{X}, R</div> <div style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> \bar{X}, S</div> <div style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> \bar{X}, R</div> <div style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> \bar{X}</div> <div style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> P</div> <div style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> nP</div> <div style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> C</div> <div style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> U</div> </div>					
Tamanho da Amostra	150 gramas de chips					
Frequência da Amostra	a cada partida par ou quando houver necessidade					
Responsável pela Retirada da Amostra	Operador de Descarga					
Procedimento para Retirada de Amostras	Retirar a amostra no início da descarga e no instante da descarga de acordo com o lote. Colocar em um saquinho plástico e fechar com etiqueta anotando o sistema, a partida e o momento da retirada da amostra.					
Destino das Amostras	Laboratório Químico					
Responsável pela Análise das Amostras	Supervisor do Laboratório Químico					
Procedimento para Análise das Amostras	ver Procedimento de Análise para Determinação da Viscosidade dos Chips					
Destino da Análise das Amostras	Arquivo da Policondensação					

Data da Revisão						
Número da Revisão						
Responsável						

Figura 8.1 - Plano de Amostragem para Policondensação

8.3.DESCRICÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM

O plano de amostragem mostrado anteriormente deve definir para todos os produtos cujo processo será controlado estatisticamente, todos os procedimentos de coleta, análise na determinação dos parâmetros de qualidade. Assim, para cada lote produzido de polímero temos diferentes procedimentos de coleta os quais devem ser especificados de acordo com normas pré-estabelecidas.

LOTE 001 - Amostra no início da descarga e a 12 minutos.

LOTE 100 - Amostra no início da descarga e a 16 minutos.


LOTE 200 - Amostra no início da descarga e a 16 minutos.

LOTE 300 - Amostra no início da descarga e a 14 minutos.

LOTE 400 - Amostra no início da descarga e a 14 minutos.

LOTE 500 - Amostra no início da descarga e a 14 minutos.

A amostragem deve ser feita de acordo com o plano de amostragem e levado até o Laboratório Químico onde será analisada de acordo com os procedimentos normais (Anexo A). Os resultados da análise devem retornar à Policondensação através de duas vias do "Relatório de Análise" cujos valores devem ser transferidos para o "Controle das Partidas de Chips". Tais documentos são mostrados a seguir.

Hoechst 	RELATÓRIO DE ANÁLISE Policondensação
Partida N.º _____	Data ____/____/____
Viscosidade Específica _____	
Grau de Amarelo _____	
Grau de Brancura _____	
Dióxido de Titânio (%) _____	
Sujeiras (%) _____	
Fluorescência (%) _____	
Obs.: _____	
<div style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">Lab. Químico</div>	


HOECHST/DIV. FERRAS - Mod. 18/0180 - 800 Bls. 80x1 - 3/84 - Lona

Figura 8.2 - Relatório de Análise

8.4. ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO

O C.E.P. é uma ferramenta através da qual se faz o controle do processo de maneira a mantê-lo estatisticamente dentro de um certo padrão normal, mas é de maneira geral um processo de controle na qual se corrige uma causa especial e se previne a sua ocorrência para que não se repita. A ocorrência da causa especial, no caso da empresa, não pode, única e exclusivamente, depender do resultado da análise pois esta demora aproximadamente uma hora e meia para retornar à produção. Portanto, é necessário um acompanhamento contínuo do processo através de uma monitoração dos parâmetros das reações químicas envolvidas. Deste modo, o acompanhamento do processo através de uma ficha a ser preenchida pelos próprios operadores é importante, uma vez que descreve os principais parâmetros produtivos e seus valores e, desta forma, é como um retrato do comportamento do sistema. No caso de ocorrer quaisquer anormalidades podem ser determinadas rapidamente através da ficha que será de extrema utilidade para rastrear a causa e imediatamente corrigi-la. Tal documento já existe e é chamada de "Controles do Painel" onde são anotados todos os parâmetros do processo de meia em meia hora. Assim, pode-se neste intervalo de tempo analisar o andamento da reação comparando-o com o padrão normal e atuar caso ocorra algo anormal. Além desta ficha, temos a "Ficha de Partida" na qual se verifica a formulação da partida e os aditivos colocados os quais são importantes para a obtenção do polímero nas características determinadas. Também pode-se utilizar os livros de ocorrências da produção, mecânica e elétrica onde são anotados todas as modificações feitas em quaisquer parâmetros do processo e ações especiais necessárias e será junto com o controle do processo, base importante para monitorar o processo. Um exemplo do "Controles do Painel" e a "Ficha de Partida" são apresentadas a seguir.

do tempo leva a
prod. de 1 batch?
reajustes automáticos?

Hoechst 		FICHA DE PARTIDA — PET	
PARTIDA Nº. _____		DATA: ____/____/____	
SISTEMA Nº. _____		LOTE: _____	
ACETATO DE MANGANES: _____			
GLICOL: _____		IL	DMT: _____ h
ESTERIFICADOR CARREGADO		ÀS	_____ h
POR: _____			
ESTABILIZANTE: _____		gr	
: _____		gr	
DIÓXIDO DE TITÂNIO: _____		kg	
TRÍOXIDO DE ANTIMÔNIO: _____		gr	
OUTROS: _____			
: _____			
: _____			
TRANSFERIDO PARA AUTOCLAVE		ÀS	_____ h
POR: _____			
TRANSFERIDO PARA O GOMO Nº. _____			
DATA ____/____/____		ÀS	_____ h
POR: _____			
OBS: _____			
: _____			

010-0104 - DIV. 2/0048 - MOD. 92/0419 - 30000 Fichas - 1/84 - Leno

Figura 8.5 - Ficha de Partida -PET

Caso se verifique um estado anormal dentro do processo, deve-se através inicialmente do "Diagrama de Ishikawa" ou das fichas de acompanhamento do processo ou ainda dos livros de ocorrências existentes, verificar qual a causa de tal anormalidade, anotando-se a causa dentro do documento apresentado "Registro de Eventos" de modo a saber qual partida apresentou problemas dentro da reação e a fonte do problema pois através de tal documento pode-se fazer periodicamente um diagrama de Pareto a fim de se descobrir qual a principal fonte de anormalidades e verificar uma maneira de minimizá-la seja por meio de mudanças estruturais ou nos parâmetros da reação e imediatamente, através da "Matriz de Ações Corretivas e Preventivas", verificar quais são os procedimentos necessários para correção e prevenção de tal causa. No caso da Matriz a seguir tais causas foram consideradas as mais importantes e terão lugar destacado junto ao painel de controle dos sistemas. As ações e procedimentos corretivos e preventivos se encontram em "Instruções de Serviço" conforme norma ISO 9001. Caso alguma causa não esteja ainda documentada, esta deve ser analisada, solucionada e prevenida com todos estes procedimentos então documentados.

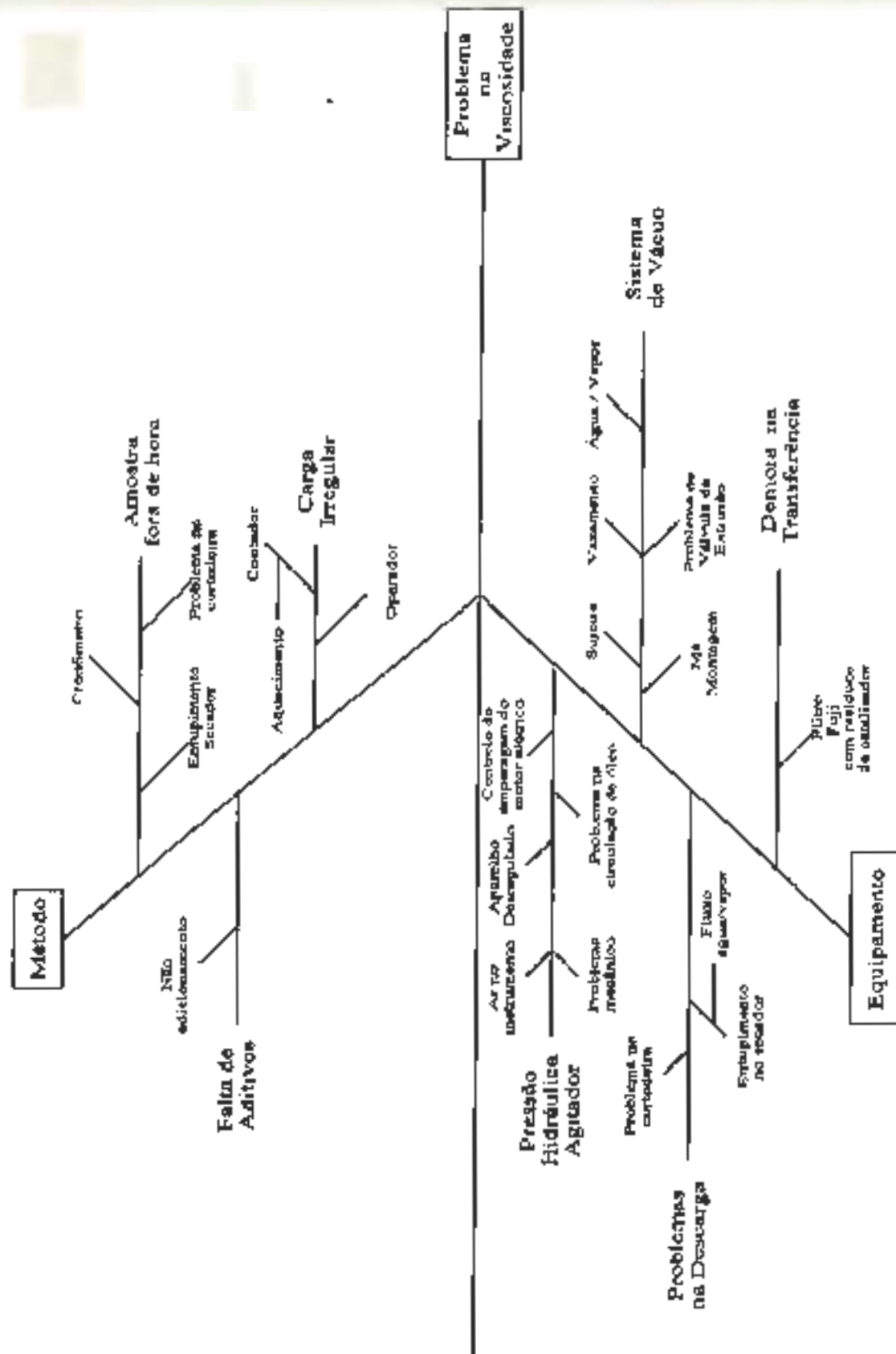


Figura 8.6 - Diagrama de Ishikawa

[illegible]

Figura 8.7 - Registro de Eventos

MATRIZ DE AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS

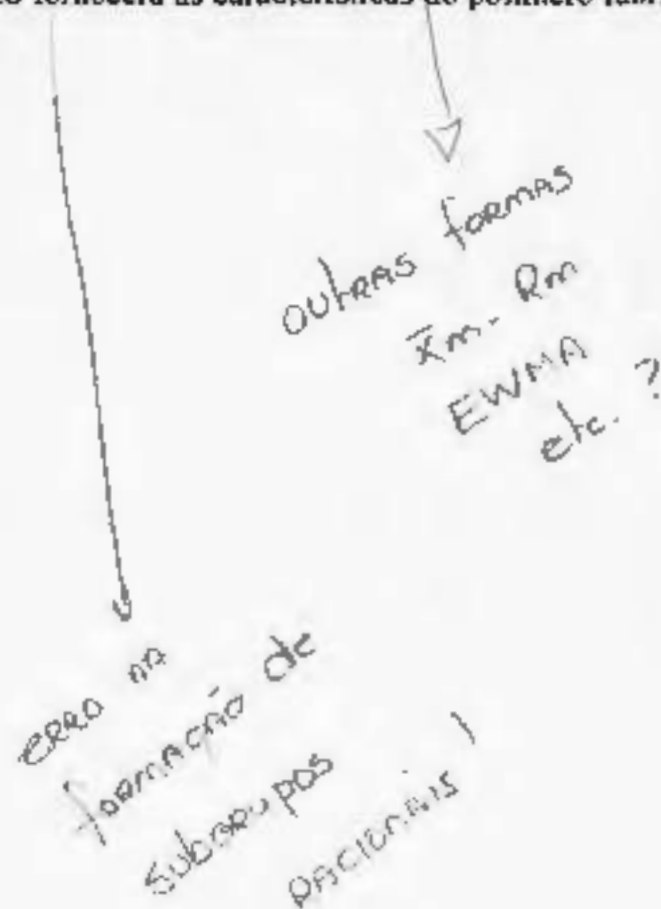
DEFEITO Viscosidade fora do padrão				
CAUSAS	VERIFICAÇÃO	AÇÃO CORRETIVA	AÇÃO IMEDIATA	AÇÃO PREVENTIVA
- Pressão Hidráulica	- Verificar vazamento - Verificar motor elétrico	- Utilizar tempo como parâmetro - Verificação da posição da válv. pneumática	- Acionar mecânica, instrumentação, elétrica	- Manutenção preventiva
- Sistema de Vácuo	- Verificar vazamentos - Verificar injetor (vapor) - Verificar válvulas - Verificar purgador - Verificar montagem - Verificar alimentação vapor	- Fechar cabeça extrusão - Fechar manual 725 - Fechar manual válvula N - Alterar alimentação de vapor para injetor	- Acionar mecânica	- Manutenção preventiva
- Carga Irregular	- Verificar oscilador local e painel - Verificar aquecimento linha DMT - Verificar tamanho carga		- Acionar mecânica, instrumentação	- Manutenção das válvulas de carga - Orientar operador no funcionamento das válvulas de carga
- Secador	- Verificar perdas e subredores - Verificar fluxo e temperatura da água - Verificar filtro 4 (ITU) - Verificar drenagem	- Desobstruir secador - Regular fluxo e temperatura da água	- Acionar mecânica	- Manutenção preventiva
- Cortadeira	- Verificar funcionamento	- Trocar cortadeira	- Acionar mecânica, instrumentação, elétrica	- Manutenção preventiva
- Tempo de transferência	- Verificar tempo de transferência	- Trocar Filtro Paj	- Acionar mecânica	
- Aditiva	- Verificar colocação			- Orientar operador de aditiva

Figura 8.8 - Matriz de Ações Corretivas e Preventivas²

²Como ação corretiva com relação a baixa viscosidade do polímero, pode-se elevar tal característica levando a partida para o setor Polimerização onde é possível se fazer uma operação chamada pós-condensação.

8.5. DEFINIÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE UTILIZADAS NO PROCESSO

A carta de controle escolhida no caso da implantação do C.E.P. será a do tipo de controle de variáveis cujos pontos são medidas individuais. Apesar da menor sensibilidade ao real estado do processo, tal carta será utilizada uma vez que cada partida de polímero possui um "lead-time" de aproximadamente 6 horas além da análise levar cerca de 2 horas para retornar ao local da produção. Cada sistema produz, em média, aproximadamente 5 partidas diárias. Assim, caso se utilizasse a carta de controle de variáveis com amostras de 5 partidas seria feito apenas um ponto por dia o que não seria ágil além de que cada partida produz por volta de duas toneladas de polímero e caso fosse feito em amostras de 5 partidas seriam produzidas cerca de dez toneladas de PET o que seria uma perda substancial caso estivessem fora de controle. A carta de controle com medidas individuais teria uma melhor resposta, uma vez que não é possível ter qualquer parâmetro do produto dentro do processo e somente sua análise pelo laboratório químico fornecerá as características do polímero fabricado.



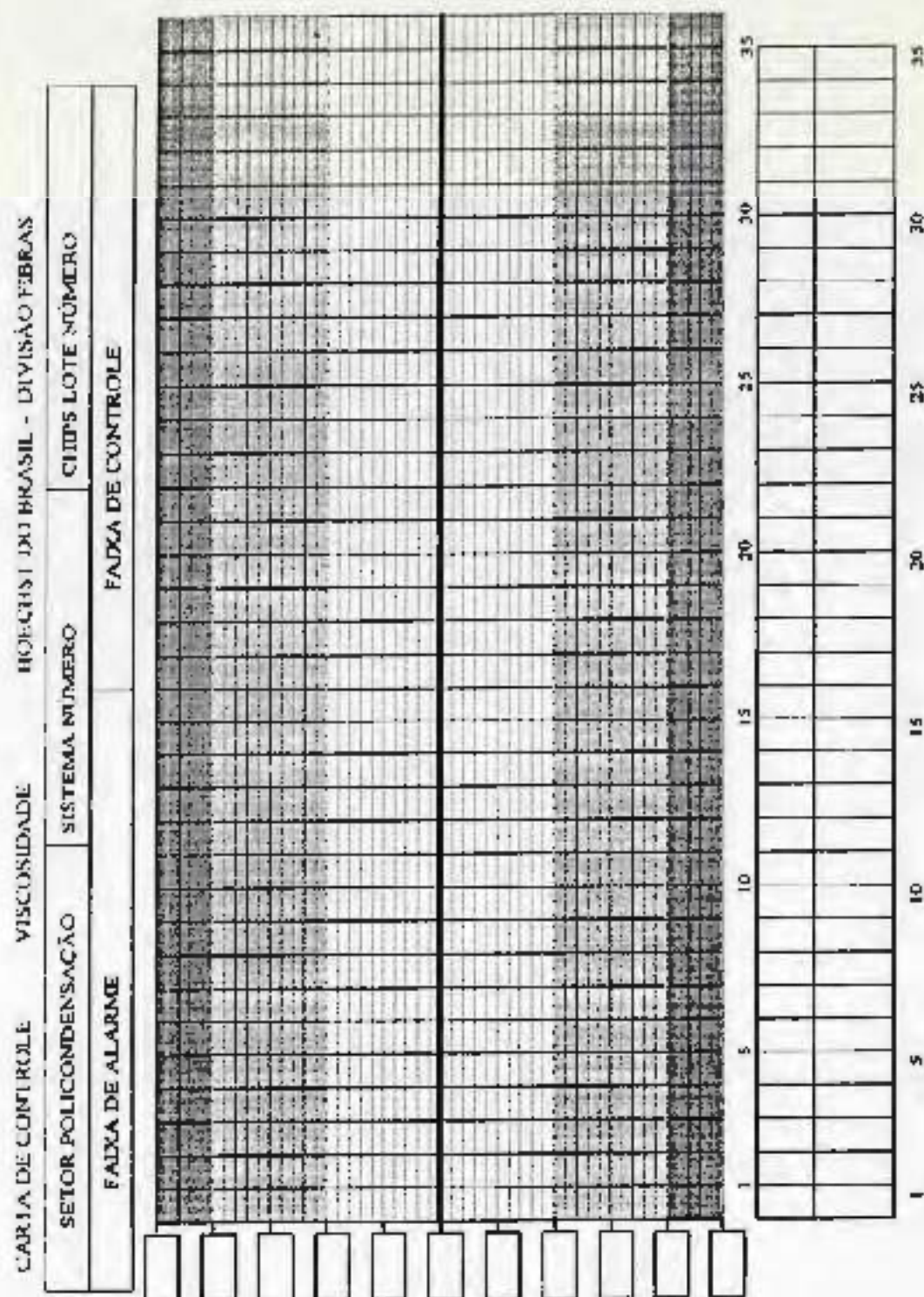


Figura 8.9 - Carta de Controle

8.6. DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONTROLE

Partindo do pressuposto que todos os sistemas produtivos dentro da Policondensação possuem similaridades entre si e que os procedimentos elaborados para um deles são válidos para os demais, será feita uma descrição somente de um dos sistemas para uma visão de como foi feita a implantação do C.E.P. dentro do setor. No caso, descreveremos o sistema III.

Os limites de controle serão calculados através do método da amplitude móvel pelo qual se tira a amplitude entre n características consecutivas do número de amostras totais da carta e, pela média das amplitudes e o fator d_2 .

Os cálculos são :

L.M. (Linha Média) :

$$\bar{x} = \sum x / n \text{ onde } x \text{ são as medidas individuais}$$

n é o número de partidas

L.S.C. (Limite Superior de Controle) :

$$\bar{x} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ onde } \bar{R} \text{ é a média das amplitudes entre 3 medidas consecutivas}$$

d_2 é o fator para cálculo - 1,693

L.I.C. (Limite Inferior de Controle) :

$$\bar{x} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ onde } \bar{R} \text{ é a média das amplitudes entre 3 medidas consecutivas}$$

d_2 é o fator para cálculo - 1,693

Através de uma análise inicial das viscosidades das partidas do sistema III, lote 100 com uma amostra de cerca de 35 partidas, para um processo sob controle (sem pontos fora de controle) com os seguintes limites:

$$L.M. = 821$$

$$L.S.C. = 837$$

$$L.I.C. = 805$$

Tais valores serão os limites de controle para o processo no sistema III para o lote 100.

35 amostras

Faremos também um acompanhamento relativo à capacidade do sistema produtivo. As especificações técnicas de cada lote com relação à viscosidade são :

LOTE	Valor Central	Limite de Especificação Superior	Limite de Especificação Inferior
001	680	700	660
100	820	840	800
200	835	855	815
400	780	800	760
500	820	840	800

Obs. Os valores são relativos à viscosidade intrínseca do polímero que é adimensional

O cálculo do C_{pk} é :

$$C_{pk} = \min (C_{p\ sup}, C_{p\ inf});$$

$$C_{p\ sup} = \frac{LES - \mu}{3\sigma}, \quad \mu = \text{média estimada do processo}$$

LES = limite de especificação superior
 σ = dispersão estimada do processo

$$C_{p\ inf} = \frac{\mu - LIS}{3\sigma}, \quad \mu = \text{média estimada do processo}$$

LIS = limite de especificação inferior
 σ = dispersão estimada do processo

No caso da carta de controle , base dos limites de controle, o índice foi de $C_{pk} = 1,24$.

Acompanhar-se-á o sistema com cálculos dos limites e índice de capacidade para cada carta completa a fim de verificarmos a evolução do sistema.

NÃO é estável
 e normal ?

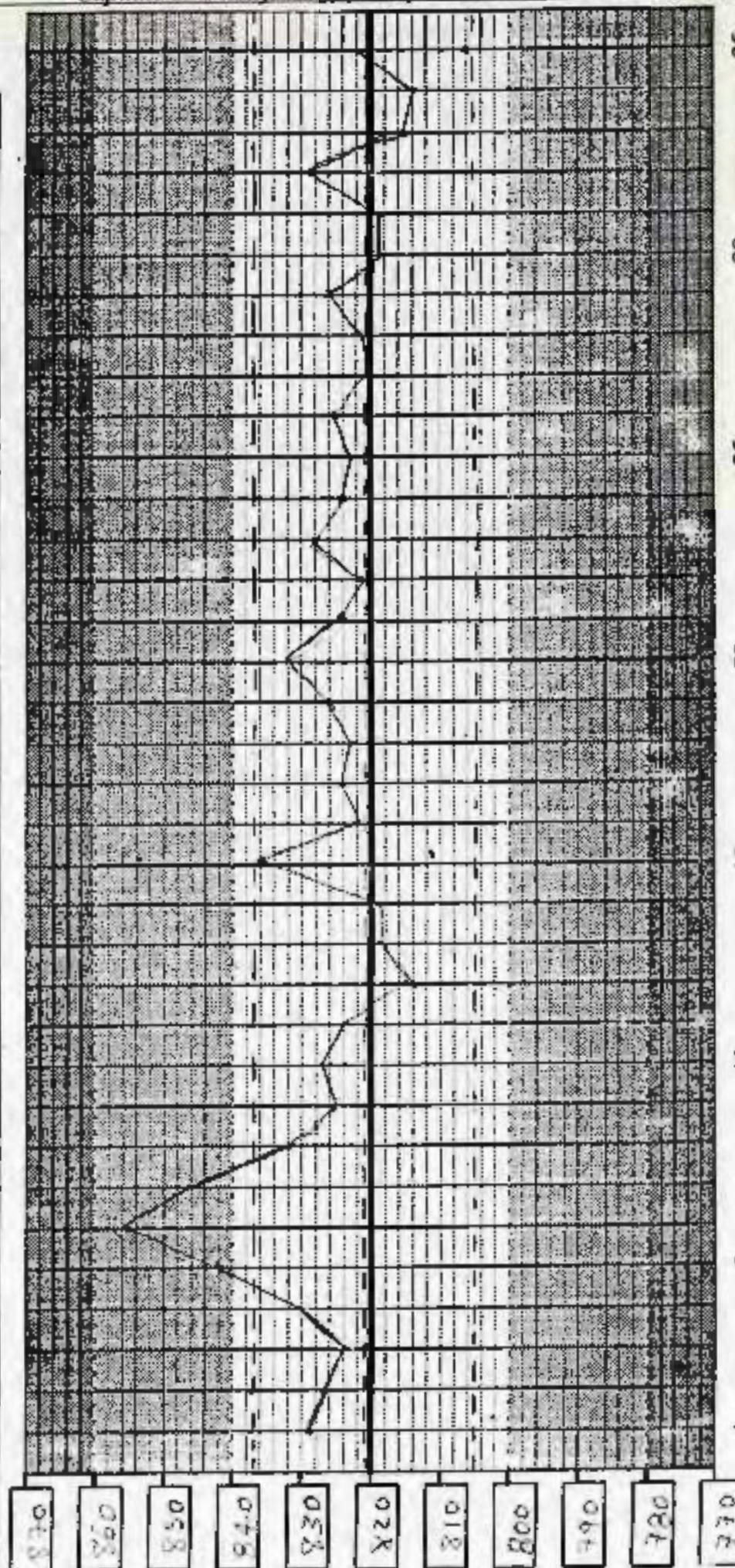
8.7. ANÁLISE DO PROCESSO ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO IMPLANTADO

A seguir temos dois exemplos das cartas de controle preenchidas. As amostras são analisadas de acordo com o plano de amostragem, somente nas partidas pares, ou nas partidas onde ocorreu qualquer anormalidade durante o processo produtivo. Pode-se verificar isto através da Ficha de Acompanhamento do Processo - Controle de Painel (figura 8.4). A característica analisada é a viscosidade do lote 100 do sistema III. Temos na parte inferior da carta o número da partida e a viscosidade analisada pelo laboratório químico. Os valores dos limites de controle estão colocados. Uma observação a ser feita é que tais valores juntamente com outros de outros sistemas e lotes são armazenados no computador e está programada uma revisão mensal de tais limites além de monitoramento de todas as cartas completas com relação ao índice de capacidade as quais mostram a evolução do sistema produtivo quanto a sua produção de acordo com as especificações técnicas.

e grafico Rm?

CARTA DE CONTROLE VISCOSIDADE HOECHST DO BRASIL - DIVISÃO FIBRAS

SETOR POLICONDENSAÇÃO	SISTEMA NÚMERO <u>III</u>	CHIPS LOTE NÚMERO <u>100</u>
FAIXA DE ALARME <u>820 ± 20</u>	FAIXA DE CONTROLE <u>820 ± 40</u>	



35	822	822
34	814	822
33	815	822
32	831	822
31	818	822
30	828	822
29	828	822
28	828	822
27	828	822
26	828	822
25	828	822
24	828	822
23	828	822
22	828	822
21	828	822
20	828	822
19	828	822
18	828	822
17	828	822
16	828	822
15	828	822
14	828	822
13	828	822
12	828	822
11	828	822
10	828	822
9	828	822
8	828	822
7	828	822
6	828	822
5	828	822
4	828	822
3	828	822
2	828	822
1	828	822

De acordo com as cartas de controle anexas pode-se observar alguns pontos fora de controle cujas razões podem ser identificadas através da análise dos parâmetros das reações e do registro de anormalidades os quais indicam que nas partidas 37240-37243 houve troca do aparelho hidráulico do agitador do Policondensador o que altera o ponto de parada para descarga, uma vez que a medição da viscosidade do polímero se faz indiretamente através da pressão hidráulica do agitador. Desta forma, temos uma causa especial a qual foi corrigida aferindo-se a pressão através da Instrumentação e instruiu-se para que qualquer troca de equipamento pela Mecânica seja aferido imediatamente pela Instrumentação. Pela carta temos que caso algum ponto se coloque muito fora de controle, a análise que geralmente é feita somente nas partidas pares é feita em todas as partidas seguintes até que a característica observada volte à faixa normal.

Na partida 37322, verificou-se uma anormalidade relativa à coleta da amostra a qual foi retirada um pouco antes do especificado. Como sabemos a viscosidade vai diminuindo ao passar da descarga por isso o momento da coleta deve ser de acordo com o especificado no plano de amostragem uma vez que o padrão está determinado para tal momento da descarga. Como a amostra fora retirada em um instante da descarga incorreto, antes do determinado, a viscosidade ficou um pouco alta saindo da faixa de controle. Instruiu-se o responsável pela amostra (operador de descarga) que seguisse o plano de amostragem de acordo com cada lote.

↓
não mostra os
dados para
conclusão?

8.8.RESULTADO DA ANÁLISE

No quadro seguinte temos a produção de polímeros de 1ª qualidade na produção do setor Policondensação obtidos desde janeiro de 1994 até agosto de 1994.

mês	Produção (kg)	Objetivo (kg)
jan/94	1978999	2160000
fev/94	1700631	2160000
mar/94	1810182	2160000
abr/94	1898038	2160000
mai/94	1953600	2160000
jun/94	1903596	2160000
jul/94	1788217	2160000
ago/94	2228962	2385000

7 não há tendência!

OBS. : Em agosto/94 o aumento na capacidade se deve à introdução de uma matéria prima novo : o ácido tereftálico.

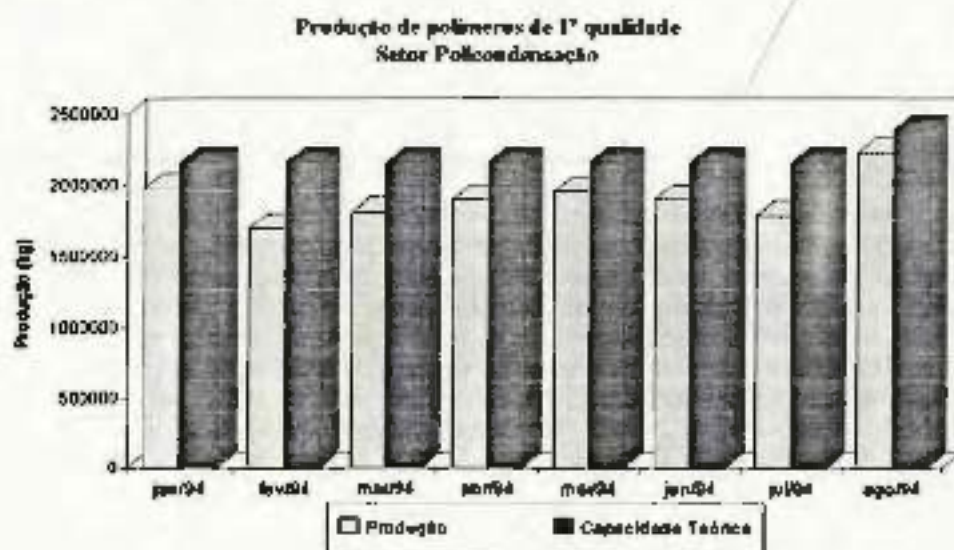


Figura 8.10 - Gráfico da Produção X Capacidade Teórica

De acordo com a produção e a capacidade teórica do setor produtivo temos a produtividade no quadro abaixo :

	Porcentagem
jan/94	91,62
fev/94	78,73
mar/94	83,80
abr/94	87,87
mai/94	90,44
jun/94	88,13
jul/94	82,79
ago/94	93,46

Produtividade Geral da Policondensação
Produção de Polímeros de 1ª Qualidade

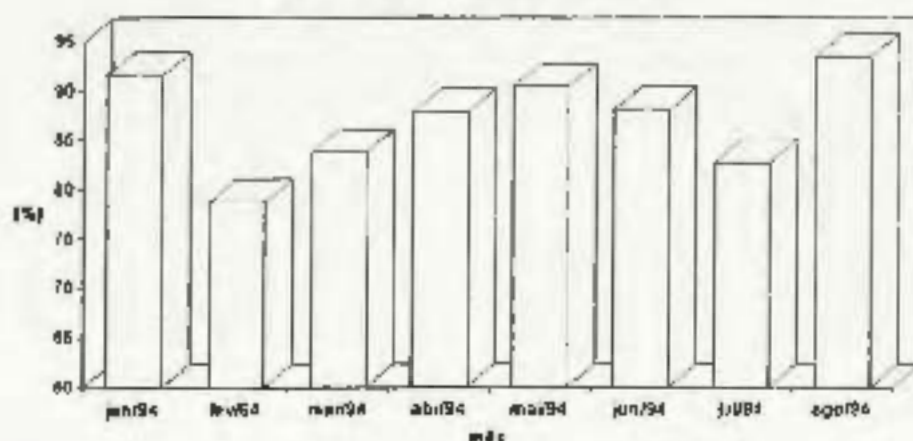


Figura 8.11 - Gráfico da Produtividade do setor Policondensação

Um aumento na produtividade dos sistemas deve ser creditado a vários fatores relativos a melhores métodos, manutenção e revisão de equipamentos visto que a indústria química basicamente depende dos equipamentos em bom estado para operar em condições normais de acordo com o projeto e também à mão de obra. O C.E.P. contribuiu bastante com relação à melhoria da mentalidade dos operadores dos quais alterou-se a mentalidade com relação à qualidade e necessidade de prevenção de ocorrências devido ao treinamento para operação do C.E.P. que foi um fator importante para a melhoria da produção.

9. IMPLANTAÇÃO EFETIVA DO C.E.P. NA EMPRESA

9.1. TREINAMENTO E ACOMPANHAMENTO DO PESSOAL ENVOLVIDO

O treinamento dentro da seção foi um ponto difícil de ser resolvido uma vez que a empresa trabalha continuamente durante as 24 horas diárias. Por isso, foi feito o treinamento paulatinamente, por etapas, para que todos os envolvidos dentro deste projeto pudessem compreender do que se trata a ferramenta e sua maneira correta de ser utilizada. Deste modo, foi, desde o começo do estágio, institucionalizada uma reunião para discussão, apresentação, explicação de vários pontos relativos à melhoria do processo produtivo. Nestas reuniões coletava-se opiniões, pontos do processo os quais os próprios operadores tinham uma grande noção pois já possuíam grande experiência em seu funcionamento para a elaboração dos diversos procedimentos, além de explicar-se a cada novo documento ou ação a ser feita e seu papel dentro do processo para melhoria da qualidade tanto da produção em si quanto da melhoria das condições de trabalho.

9.2. PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO C.E.P.

De acordo com as normas ISO 9001, no capítulo referente a técnicas estatísticas, os procedimentos para o controle estatístico do processo devem estar detalhadamente descritos para a seção. Tais procedimentos devem ser iguais em todas as seções onde for implantado o C.E.P. Assim, determina-se o padrão para toda a empresa no tocante a implantação (onde se segue as ações tomadas na área piloto) e operacionalização do C.E.P, as quais serão as mesmas nos capítulos descritos anteriormente neste T.F. adaptadas para as normas ISO 9001.

10. RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DO C.E.P.

Pelo fato da implantação do C.E.P. ser recente, os operadores ainda devem se aperfeiçoar para uma perfeita operação do C.E.P.. A medida em que os procedimentos tornarem mais efetivos na seção, poder-se-á implantá-los em outras seções tomando toda a produção mais eficiente.

Um dos principais problemas com relação à utilização de C.E.P. dentro de uma indústria química é que seu processo depende quase que exclusivamente de uma boa conservação de seus equipamentos para que estes sempre operem de forma normal. Na empresa, a maioria dos equipamentos não são modernos e ainda não existe um programa de manutenção preventiva efetivamente implantado por isso uma melhoria significativa seria alcançada caso a conservação dos equipamentos tivesse uma maior atenção. Assim, a implantação do C.E.P. vem sendo feita conjuntamente com um plano de manutenção preventiva informatizada o qual é desempenhado através de um software que organizará a manutenção de todos os equipamentos da fábrica de Osasco. Tal programa gerenciará toda e qualquer manutenção emitindo todas as ordens de parada e descrevendo as tarefas a serem realizadas além de manter um histórico de cada equipamento com referência a quebras, manutenções já realizadas, etc. A implementação conjunta destes programas de controle e manutenção se somariam com o objetivo de melhoria contínua na qualidade e produtividade da fábrica.

O programa do C.E.P. auxiliou no desenvolvimento de uma mentalidade dos operadores para que sempre auxiliem em questões relativas a melhorias nas condições de trabalho, dos equipamentos, métodos e aumentou o interesse deles com uma maior preocupação com a qualidade dos "chips" produzidos. Assim, a implantação, apesar de difícil em seu início, desenvolve em todos que dela participam um entendimento conjunto dos fatores do processo e um diálogo para discussão de problemas que surjam e suas respectivas soluções. Além dos operadores, desenvolveu em todas as esferas administrativas, uma maior preocupação com a prevenção de problemas e não somente as suas resoluções. O conjunto desses fatores aproximou mais os operadores com a supervisão para uma discussão conjunta para melhoria contínua do processo.

Além disso, com um controle estatístico das partidas dos sistemas produtivos garantindo que o processo produz produtos com características distribuídas em determinada faixa e podendo identificar quaisquer partidas cujo produto não esteja dentro da faixa, podemos então partir para uma tentativa de otimização da reação de obtenção do PET. Utilizar-se-á uma ferramenta de

otimização chamada Operação Evolutiva, a qual será descrita em detalhes no capítulo seguinte.

11. OPERAÇÃO EVOLUTIVA

11.1. INTRODUÇÃO

A Operação Evolutiva (Evolutionary Operation - EVOP) surgiu em 1957, criada por George E.P.Box para melhoria contínua de processos dentro da Imperial Chemical Industries Limited, Inglaterra.

A Operação Evolutiva é uma técnica de otimização contínua de processos durante a produção normal da fábrica. A técnica se baseia na filosofia de que o processo não deve gerar apenas um produto de qualidade mas também informações para melhoria do próprio processo ou produto. A EVOP vem substituir o delineamento de experimentos em escala plena o que é feito normalmente em plantas-piloto mas não dentro da produção pois poderia gerar produtos fora de especificação, além de ter um custo alto e de necessitar de especialistas para supervisão dos experimentos. Para garantir a produção de produtos dentro das características esperadas, são selecionadas variáveis as quais se espera que sejam significativas dentro do processo e estas são ajustadas com pequenas variações das atuais condições, de modo controlado. Através dos resultados obtidos, determina-se o melhor ponto alterando-se as condições padrão. Assim se faz continuamente até se atingir o ponto ótimo. Esta técnica não necessita de especialistas pois o próprio pessoal da operação pode fazê-lo com um devido treinamento e seu custo não é alto.

A técnica pode ser comparada com a teoria da Evolução e Seleção Natural de Darwin na qual os seres vivos evoluíram por causa de dois mecanismos presentes : a variabilidade dos genes devido a diversos fatores como por exemplo, a mutação e a seleção natural daqueles cujos genes geraram características mais favoráveis para a sobrevivência da espécie dentro das condições de contorno do meio ambiente, da cadeia alimentar, etc. Na EVOP, estes dois fatores (variação e seleção das variações otimizantes) são fundamentais para a melhoria contínua do processo sem o risco de perda na fabricação de produtos sem a qualidade requerida.

11.2. DIFERENÇAS ENTRE O DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS E A OPERAÇÃO EVOLUTIVA

O delineamento de experimentos, no caso de indústrias químicas, geralmente se faz em plantas piloto ou em escala laboratorial. Os parâmetros determinados em tais experimentos podem ser úteis quando do projeto da fábrica e fornece os primeiros parâmetros do processo. No entanto, os parâmetros para a produção em escala industrial geralmente são diferentes daqueles determinados na planta piloto. A operação evolutiva dentro da própria produção faz com que a "sintonia fina" dos parâmetros do processo seja mais efetiva levando a produção ao seu ótimo com as devidas restrições que possam haver.

O delineamento de experimentos é considerado um método de controle de qualidade "off-line", ou seja, elaborado na fase de projeto do processo ou se planeja mudanças "revolucionárias" em seus parâmetros. A ferramenta EVOP utiliza princípios do Delineamento de Experimentos mas pode ser considerada uma aplicação "on-line" pois é aplicada diretamente na linha produtiva.

11.3. COMPARAÇÃO ENTRE A SITUAÇÃO NORMAL E A OPERAÇÃO EVOLUTIVA

Dentro da produção diária, estão definidas condições de operação nas quais o processo desenvolve seu ótimo conhecido até o momento. Estes procedimentos de produção devem ser reproduzidos exatamente a cada passo para que o produto final esteja conforme as especificações. Temos aqui descrito um processo com operação estática na qual as condições do processo estão fixadas e não podem ser alteradas.

Dentro da EVOP, para melhoria no processo, as atenções devem estar voltadas não somente para a produtividade, mas também na garantia de produção dentro da qualidade. Deste modo, as variações são tais que realmente assegurarão que o risco de produção de material fora de especificação seja pequeno. Assim, permite-se apenas pequenas variações controladas sejam introduzidas dentro do processo num ciclo cuja repetição gerará as informações necessárias para análise e determinação do melhor ponto e direção a seguir para a otimização do processo.

11.4.METODOLOGIA

Inicialmente, a recomendação é um estudo dos dados disponíveis do processo com relação a rendimento, custos. A formação de um comitê EVOP constituído de pessoas com conhecimento das reações do processo tais como técnicos, engenheiros é extremamente necessário para que idéias úteis surjam durante a aplicação da EVOP. Assim, a maior tarefa de tal comitê seria a discussão dos resultados recentes e sugestões para as futuras fases de operação. Assim, haveria a necessidade de uma explicação dos detalhes da ferramenta para os membros do grupo além das pessoas da própria produção que fariam as experiências.

11.5.ESCOLHA DE VARIÁVEIS OU FATORES

Após a formação do comitê EVOP, seus membros devem analisar o processo determinando quais seriam as principais variáveis ou fatores significativos dentro dos parâmetros produtivos. Tais variáveis podem ser quantitativas (as que variam dentro de uma escala contínua) e qualitativas (que são relativas a atributos e não tem a característica de variação numa escala contínua e sim discreta). Para aplicação do EVOP, seria necessária a escolha de duas, ou no máximo, três variáveis. Tais variáveis seriam estudadas para se determinar sua importância dentro do processo e se existe alguma interação entre elas favorável a uma melhor performance da produção.

11.6.ESQUEMA DO DELINEAMENTO COM DEFINIÇÃO DAS RESPOSTAS DE INTERESSE

Após a escolha das variáveis principais, é necessário que se faça o esquema do delineamento com os níveis de cada variável. O esquema dos experimentos com dois e três variáveis com referência central e sem referência central está apresentado na figura 11.2 e 11.3. Tal esquema é baseado nos experimentos fatoriais que são úteis para a investigação das influências de variáveis tanto quantitativas quanto qualitativas. Tendo o esquema já montado, só falta determinar as respostas de interesse dentro da experimentação as quais geralmente são os objetivos e restrições no processo e nos produtos. Para o início da aplicação da ferramenta, o comitê seria útil para a escolha das variáveis a serem estudadas, seus níveis no esquema do delineamento e as respostas dos experimentos a serem determinados.

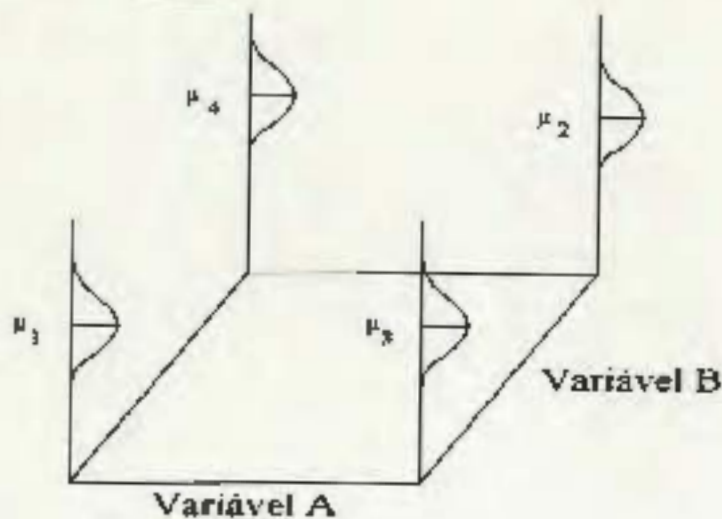
Com as variáveis, seus níveis e as respostas a serem analisadas já determinadas, o esquema dos experimentos já fica determinada. Pela figura, cada nível das variáveis é numerada e a ordem dos experimentos seria 0,1,2,3,4,0,1,2,3,4... (duas variáveis com referência central). Apesar da aleatorização ser preferível para determinação das respostas, este padrão é mais fácil de ser feito pelos próprios operadores. A cada conjunto de experimentos 0,1,2,3,4 completa-se um "ciclo". Deve-se fazer tantos ciclos o quanto forem necessários até que tenhamos uma resposta estatisticamente significativa para melhoria dos parâmetros do processo. Caso o número de ciclos for muito grande e se chegar a constatação que as respostas não são significativas deve-se tentar alterar ou as variáveis ou seus níveis. Caso se altere as condições padrão das variáveis em estudo muda-se assim de "fase". Assim, os melhores níveis são alterados como o padrão e se tomam o experimento 0 e novos níveis ou novas variáveis devem ser reestudados e deste modo, continuamente até a otimização completa do processo. Não é obrigatório o ponto de referência central pois pode-se colocar o ponto das condições atuais em quaisquer vértice do esquema e, adaptando-se os cálculos, proceder da mesma forma que a anteriormente descrita sem o ponto 0. Para a execução dos experimentos, deve-se elaborar um quadro de informações para o EVOP com todos os dados que interessem e, além disso, fazer um treinamento do pessoal diretamente envolvido na produção com todos os conceitos e procedimentos do EVOP.

Resumidamente, a Operação Evolutiva é feita através de diversas fases e inúmeros ciclos. Uma fase é determinada por um esquema de experimentos com os parâmetros já determinados. Cada fase é formada de tantos

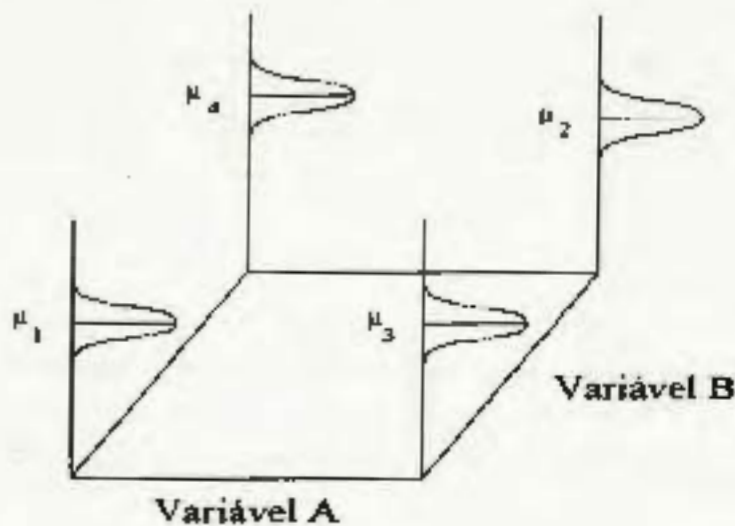
ciclos forem necessários para que se tenha respostas significativa das influências das variáveis nas características do produto ou processo. O ciclo se completa com a determinação dos valores obtidos para cada característica analisada em cada ponto do esquema. Tais valores são, no caso de processos descontínuos ou em lotes, uma medida individual ou a média dos valores dos lotes produzidos nas mesmas condições de operação. No caso de processos contínuos, seriam valores num período significativo em condições fixas. Tal período seria longo o suficiente para permitir que o processo se alinhe dentro das condições produtivas determinadas em cada ponto do esquema a fim de que alcance o equilíbrio e dados corretos sejam observados.

A cada ciclo que se completa, a estimativa da característica dos resultados revela um valor mais significativo pois, de acordo com o teorema do limite central, à medida em que a amostra do processo aumenta, os desvios-padrão das distribuições estimadas se tornam cada vez menores, como pode-se ver no quadro abaixo:

besteira



(i)



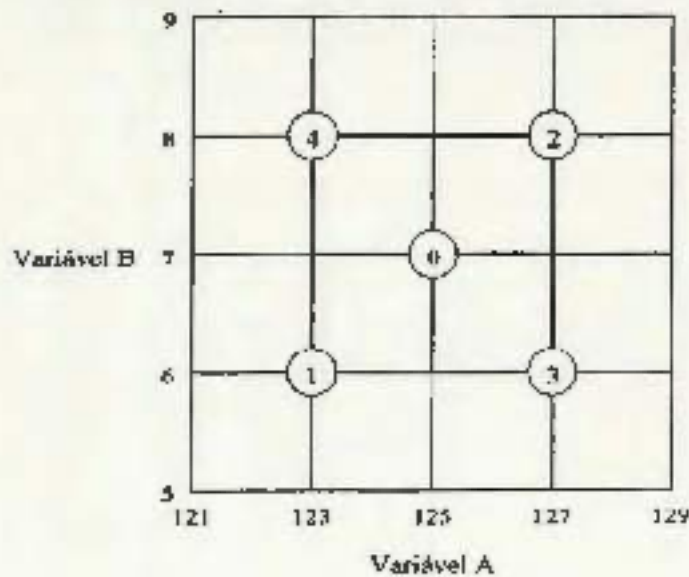
(ii)

Figura 11.1 - Mudanças nas distribuições com o aumento no número de ciclos

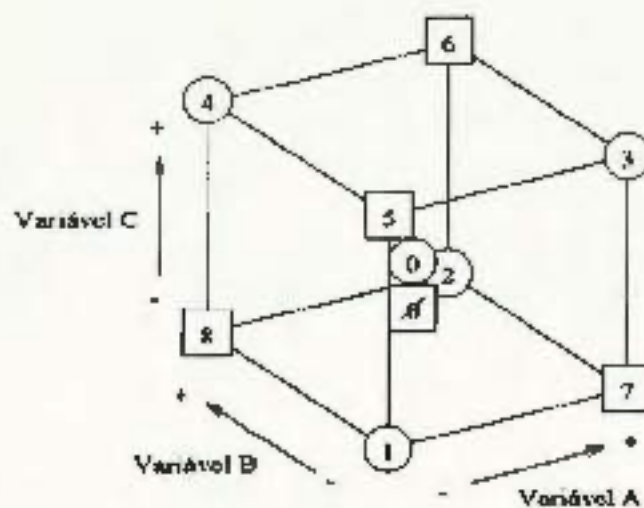
(i) distribuições com 1 único resultado (um ciclo)

(ii) distribuições das médias de 4 resultados (quatro ciclos)

As figuras abaixo mostram os esquemas possíveis para duas e três variáveis :



(a)



(b)

Figura 11.1 - Esquema do Delineamento na EVOP
(a) para duas variáveis com referência central
(b) para três variáveis com referência central

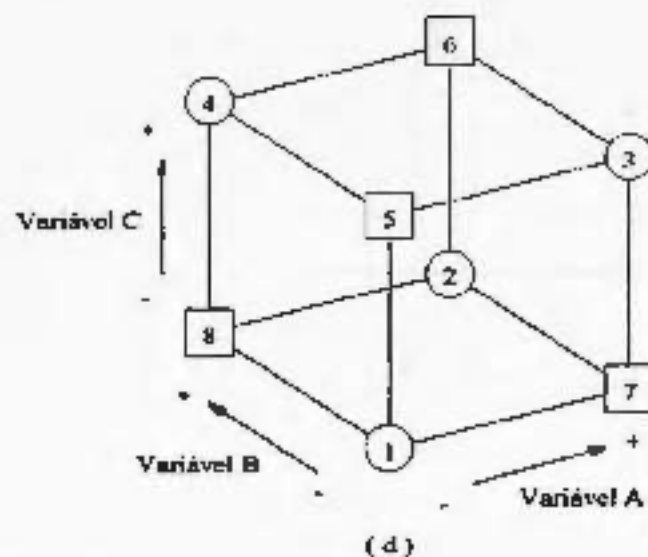
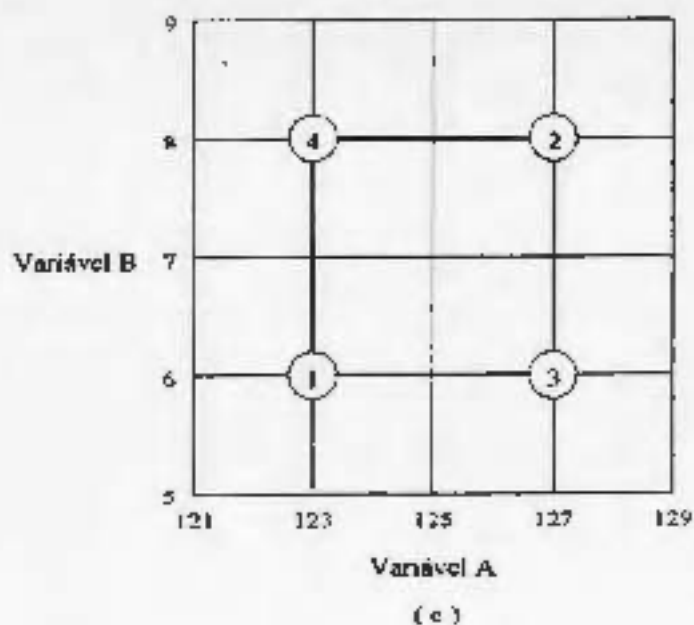
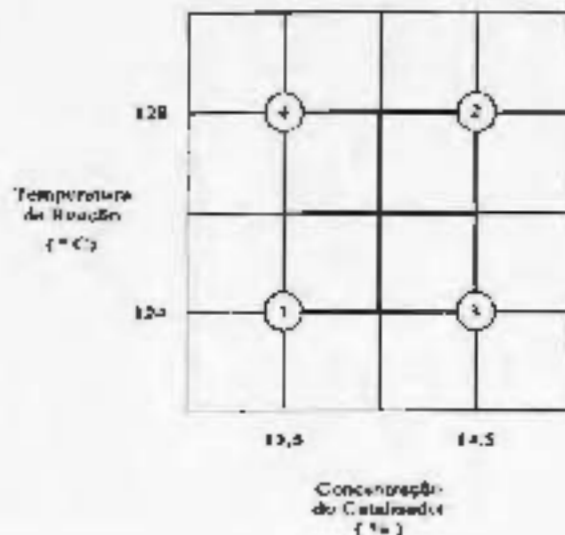


Figura 11.2 - Esquema do Delineamento na EVOP
 (c) para duas variáveis sem referência central
 (d) para três variáveis sem referência central

No caso do T.F. o esquema utilizado será com o estudo de apenas duas variáveis em cada fase por ser mais simples e conseqüentemente mais fácil de ser compreendido que será o delineamento 2×2 ou 2^2 fatorial.

Neste tipo de delineamento cada variável é estudada em dois níveis. A seguir descreveremos um exemplo a fim de explicar os cálculos feitos para verificar as influências de cada variável.

Seja um processo feito em lotes cujas variáveis sejam a concentração de um certo catalisador (variável A) e a temperatura da reação (variável B). Assim de acordo com a figura abaixo temos os quatro conjuntos das condições do processo representados pelos quatro vértices do quadrado. A resposta de interesse será a fluidez do produto final.



	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4
CONCENTRAÇÃO DO CATALISADOR (%)	13,5	14,5	14,5	13,5
TEMPERATURA DA REAÇÃO (°C)	124	128	124	128

Figura 11.3 - Exemplo de Esquema do Delineamento 2^2 fatorial

Temos, então um quadro com as condições dos parâmetros do processo e a resposta de interesse determinada com médias após 4 ciclos :

Número da Condição	Concentração %	Temperatura °C	Fluidez (médias)
1	13,5	124	$\bar{y}_1 = 60,2$
2	14,5	128	$\bar{y}_2 = 76,2$
3	14,5	124	$\bar{y}_3 = 67,6$
4	13,5	128	$\bar{y}_4 = 73,2$

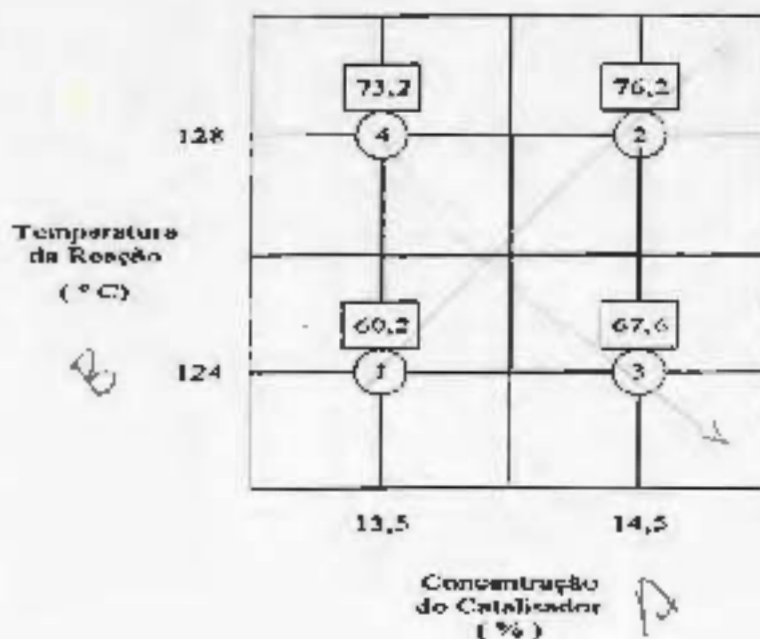


Figura 11.4 - Médias da resposta de interesse Fluidez após 4 ciclos da EVOP

Cálculos dos Efeitos para 2^2 fatorial

Inicialmente, analisemos a diferença $\bar{y}_2 - \bar{y}_4 = 76,2 - 73,2 = 3,0$. Este número é uma estimativa do efeito na fluidez quando se altera a concentração de 13,5 para 14,5 % mantendo a temperatura no nível superior de 128 °C. Pode-se considerar tal valor como o efeito simples da concentração no nível superior da temperatura. Analogamente, temos o efeito simples da concentração no nível inferior da temperatura com o valor $\bar{y}_3 - \bar{y}_1 = 67,6 - 60,2 = 7,4$. A média dos dois efeitos simples é chamada de efeito principal da concentração e indicada por uma letra maiúscula, no caso, A.

Temperatura °C	Concentração (A) Efeito
128	$\bar{y}_2 - \bar{y}_4 = 3,0$
124	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1 = 7,4$
Média = efeito principal A = $1/2 (\bar{y}_2 - \bar{y}_4) + 1/2 (\bar{y}_3 - \bar{y}_1) = 5,2$	

Os efeitos simples são contrastes entre os resultados dos níveis superior e inferior dos experimentos da concentração. Pode-se igualmente fazer o cálculo através da média dos resultados do nível maior da concentração menos o valor da média dos resultados do nível menor da concentração :

$$A = 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3) - 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_4) = 71,9 - 66,7 = 5,2.$$

Igualmente para a temperatura, temos :

Concentração %	Temperatura (B) Efeito
14,5	$\bar{y}_2 - \bar{y}_3 = 8,6$
13,5	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1 = 13,0$
Média = efeito principal B = $1/2 (\bar{y}_2 - \bar{y}_3) + 1/2 (\bar{y}_4 - \bar{y}_1) = 10,8$	

$$B = 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_4) - 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_3) = 74,7 - 63,9 = 10,8.$$

Além dos cálculos dos efeitos de cada variável, deve-se também calcular o efeito relativo à interação entre as variáveis, uma vez que é comum a modificação de um certo efeito dependendo do nível da outra variável.

Os contrastes $\bar{y}_2 - \bar{y}_3 = 8,6$ e $\bar{y}_4 - \bar{y}_1 = 13,0$ são os efeitos da temperatura nos níveis superior e inferior respectivamente. Por convenção, a metade da diferença de tais valores é definida como a medida da interação entre as variáveis. Portanto, a interação AB entre a concentração A e a temperatura B é:

$$AB = 1/2 [(\bar{y}_2 - \bar{y}_3) - (\bar{y}_4 - \bar{y}_1)] = 1/2 (8,6 - 13,0) = -2,2$$

Para facilitar os cálculos dos efeitos pode-se considerar, através do quadro abaixo que os efeitos de cada variável é a metade da soma dos valores dos resultados de cada condição com sinal de acordo com a figura :

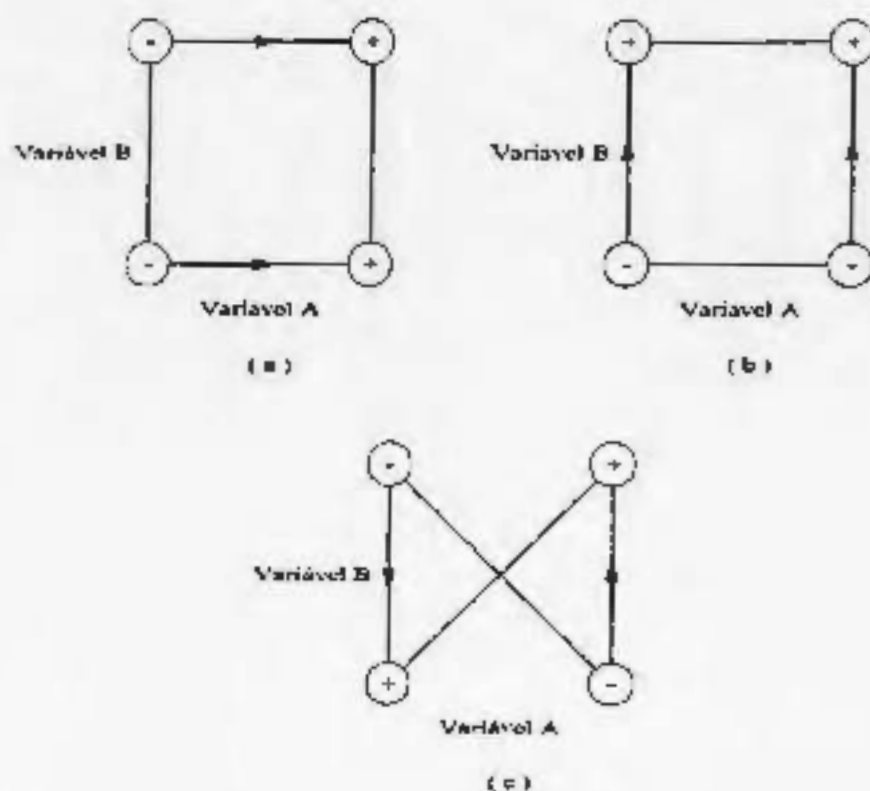


Figura 11.5 - Representação em diagramas para os efeitos num delineamento 2^2 fatorial

- (a) Efeito Concentração A
- (b) Efeito Temperatura B
- (c) Efeito da Interação A x B

Assim :

Efeito principal da concentração $A = 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4 - \bar{y}_1)$

Efeito principal da temperatura $B = 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 - \bar{y}_1 - \bar{y}_3)$

Interação $AB = 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_1 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4)$

Através dos cálculos descritos e de acordo com os cálculos dos desvios padrão dentro dos experimentos, pode-se analisar o processo e determinar a influência de cada variável nas respostas de interesse. O recomendado para certificar-se dos efeitos das variáveis é que para efeito principal detectado, todas as interações com as demais sejam analisadas e assim se determina a influência dessa variável.

11.7. OPERACIONALIZAÇÃO DA FERRAMENTA

Após o esquema dos experimentos e as respostas de interesse serem determinados, é recomendada a elaboração de um quadro de informações visível durante o desenvolvimento dos experimentos a todos os envolvidos, onde são colocados os dados obtidos a cada ponto do esquema completado e os cálculos dos efeitos de cada variável e as variações nos desvios padrão. Com tais dados será possível analisar a relevância de cada variável em cada característica importante do produto e sua influência dentro das especificações técnicas.

De acordo com os dados obtidos pode-se concluir uma condição melhor para aumentar a produtividade ou a qualidade do produto e, através de uma discussão com o comitê EVOP, analisar o melhor rumo a ser tomado com a posse de tais dados. Isto é feito continuamente até que se possa otimizar o processo ao máximo.

Uma ressalva a ser feita é que o método da Operação Evolutiva é bastante lento uma vez que as modificações feitas nos parâmetros do processo são de pequena magnitude para que não haja qualquer interrupção da produção normal e para que não ocorra aumento de produtos fora de especificação e tais alterações são próximas àquelas que ocorrem aleatoriamente como ruído. Mas, através de várias observações destes experimentos controlados, podemos reduzir o ruído e, através da média, assegurar a obtenção do comportamento do processo e desenvolver continuamente o processo até seu ótimo dentro dos padrões de qualidade.

11.8. FEEDBACK DOS EXPERIMENTOS FEITOS PELO EVOP

O esquema EVOP de experimentos é uma forma de induzir o próprio processo a gerar dados para se conhecer melhor o comportamento das variáveis estudadas. Pode-se portanto, considerar que a Operação Evolutiva é uma maneira de investigação do processo envolvido. Inicialmente, para a aplicação de um programa deve haver uma hipótese na qual a alteração de certas variáveis em certas direções terão uma influência positiva no processo. Assim, um delineamento de experimentos deve ser planejado, e serem feitas as experiências sendo obtidos os dados. Com os dados à mão, devem ser analisados não só do ponto de vista meramente estatístico mas relevante a quaisquer aspectos do processo motivando a novas hipóteses e o reinício de novos ciclos investigatórios.

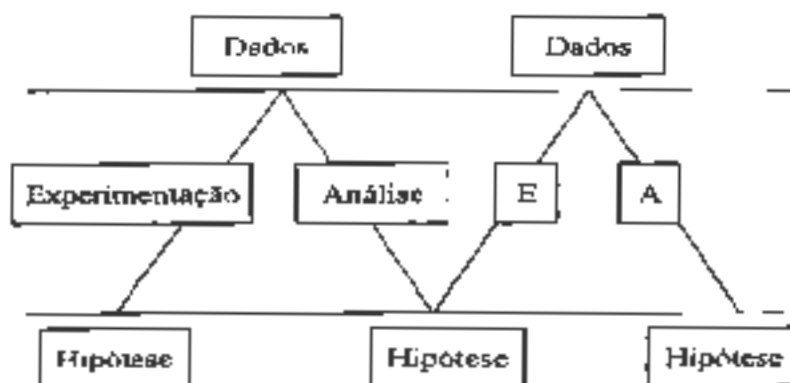


Figura 11.6 - Natureza da experimentação (Ref. 7)

Portanto, a participação de pessoas que tenham conhecimento técnico do processo é importante para que haja um "feedback" de caráter científico dentro do programa de otimização. Tais pessoas seriam fonte de informações nas análises dos dados obtidos nos experimentos. O pessoal que lida diretamente com a produção também é importante para análise dos dados pois possui conhecimentos práticos do processo os quais são origem do "feedback" empírico. A união desses dois tipos de "feedback" gerariam as melhorias e novas hipóteses a serem analisadas as quais originariam novas fases da operação. Esse "feedback" contínuo levaria à melhoria contínua do processo.

11.9. UM EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA EVOP

Com o intuito de facilitar o entendimento da ferramenta por parte do leitor, será descrito um esquema de experimentos 2^2 fatorial sem referência central encontrado na referência 6.

O processo é feito em lotes e as variáveis a serem estudadas são o tempo e a temperatura de reação. No caso, se descreverá somente uma única resposta: a produtividade. Geralmente, diversas respostas devem ser monitoradas (custo, especificações técnicas, etc) e cada uma deve ter diferentes planilhas.

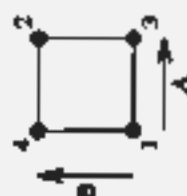
As planilhas preenchidas após cada ciclo são apresentadas a seguir e seu procedimento de preenchimento também é listado.

Os valores no fim de cada ciclo para a resposta de interesse Produtividade (%) são:

Condição	1	2	3	4
Ciclo 1	62,8	63,2	67,2	60,5
Ciclo 2	65,8	65,5	67,6	61,3
Ciclo 3	62,1	62,0	65,3	64,1
Ciclo 4	62,8	67,9	62,6	61,7

A estimativa inicial de σ para a resposta = 1,8.

de onde
veio?



2^2 Fatorial

CICLO = 1

Resposta EVOLUTIVA

Projeto 0/26 - 3

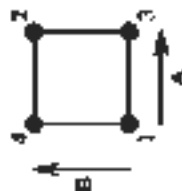
Fase 6

Data 2/2/91

Cálculo das médias					Cálculo dos Desvios-Padrão	
Condições de Operação	(1)	(2)	(3)	(4)	Estimativa prévia de σ	= 1,8
(I) Soma ciclo anterior					Soma anterior s	=
(II) Média ciclo anterior					Média anterior s	=
(III) Novas medições	62,8	63,2	67,2	60,5	Novo s = amplitude $\times f_{4,n}$	=
(IV) Diferença (II) - (III)					Amplitude	=
(V) Nova soma (I) + (III)	62,8	63,2	67,2	60,5	Nova Soma s	=
(VI) Nova média (V)/n					Nova Média $s = \frac{\text{Nova Soma}}{n \cdot 1}$	=
Cálculo dos Efeitos					Cálculo dos Limites de 2 E.P.	
Média da Fase	$= 1/4 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4) = 63,4$				P/ nova média $s = \pm \frac{2}{\sqrt{n}} s = \pm 3,6$	
(A) Efeito TEMPO	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_1 - \bar{y}_4) = 3,6$				P/ novos efeitos $= \pm \frac{2}{\sqrt{n}} s = \pm 3,6$	
(B) Efeito TEMPERATURA	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 - \bar{y}_1 - \bar{y}_3) = -3,2$					
(AB) Efeito TEMPO \times TEMPERATURA	$= 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4) = -0,8$				P/ mudança na média $= \pm \frac{1,73s}{\sqrt{n}} = \pm 3,2$	
Alteração no efeito médio = média da fase - \bar{y}_4						

Tabela de Fatores de Multiplicação

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{4,n}$		0,34	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
$1/n$	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$1/(n-1)$		1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11
$2/\sqrt{n}$	2,00	1,41	1,15	1,00	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,63
$1,73/\sqrt{n}$	1,73	1,22	1,00	0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55

2³ Fatorial

Projeto D/26-3

CICLO = 2

Fase 6

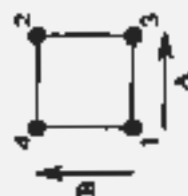
Resposta Produtividade

Data 4/1/91

Cálculo das médias					Cálculo dos Desvios-Padrão	
Condições de Operação	(1)	(2)	(3)	(4)	Estimativa prévia de σ	$= 1,8$
(I) Soma ciclo anterior	62,8	63,2	67,2	60,5	Soma anterior s	$=$
(II) Média ciclo anterior	62,8	63,2	67,2	60,5	Média anterior s	$=$
(III) Novas medições	65,8	65,5	67,6	61,3	Nova $s = \text{amplitude} \times f_{4,n}$	$= 0,88$
(IV) Diferença (II) - (III)	-3,0	-2,3	-0,4	-0,8	Amplitude	$= 2,6$
(V) Nova soma (I) + (III)	128,6	128,7	134,8	121,8	Nova Soma s	$= 0,88$
(VI) Nova média (V)/n	64,3	64,4	67,4	60,9	Nova Média $s = \frac{\text{Nova Soma}}{n-1}$	$= 0,88$
Cálculo dos Efeitos					Cálculo dos Limites de 2 E.P.	
Média da Fase	$= 1/4 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4) = 64,3$				$P/\text{nova média } s = \pm \frac{2}{\sqrt{n}} s = 1,24$	
(A) Efeito TEMPO	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_1 - \bar{y}_4) = 3,3$				$P/\text{novos efeitos } = \pm \frac{2}{\sqrt{n}} s = 1,24$	
(B) Efeito TEMPERATURA	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 - \bar{y}_1 - \bar{y}_3) = -2,2$					
(AB) Efeito TEMPO x TEMP	$= 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4) = 0,3$				$P/\text{mudança na média} = \pm \frac{1,73}{\sqrt{n}} s = 1,07$	
Alteração no efeito médio = média da fase - \bar{y}_4					$= 3,4$	

Tabela de Fatores de Multiplicação

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{4,n}$		0,34	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
$1/n$	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$1/(n-1)$		1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11
$2/\sqrt{n}$	2,00	1,41	1,15	1,00	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,63
$1,73/\sqrt{n}$	1,73	1,22	1,00	0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55



2² Fatorial

CICLO = 3

Resposta PRODUTIVIDADE

Projeto D/26.3

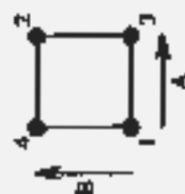
Fase 6

Data 6/2/91

Cálculo das médias					Cálculo dos Desvios-Padrão	
Condições de Operação	(1)	(2)	(3)	(4)	Estimativa prévia de	$\sigma = 1,8$
(I) Soma ciclo anterior	128,6	128,7	134,8	131,8	Soma anterior s	$= 0,98$
(II) Média ciclo anterior	64,3	64,4	67,4	65,9	Média anterior s	$= 0,98$
(III) Novas medições	62,1	62,0	65,3	64,1	Novo $s = \text{amplitude} \times f_{4,n}$	$= 2,24$
(IV) Diferença (II) - (III)	2,2	2,4	2,1	-3,2	Amplitude	$= 5,6$
(V) Nova soma (I) + (III)	190,7	190,7	200,1	195,9	Nova Soma s	$= 3,12$
(VI) Nova média (V)/n	63,6	63,6	66,7	62,0	Nova Média $s = \frac{\text{Nova Soma}}{n-1}$	$= 1,56$
Cálculo dos Efeitos					Cálculo dos Limites de 2 E.P.	
Média da Fase	$= 1/4 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4) = 64,0$				P/ nova média $s = + \frac{2}{\sqrt{n}} s$	$= 1,19$
(A) Efeito TEMPO	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_1) = 2,4$				P/ novos efeitos $s = + \frac{2}{\sqrt{n}} s$	$= 1,49$
(B) Efeito TEMPERATURA	$= 1/2 (\bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_1 - \bar{y}_2) = -2,4$				P/ mudança na média $s = + \frac{2}{\sqrt{n}} s$	$= 1,56$
(AB) Efeito TEMPO x TEMPERATURA	$= 1/2 (\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4) = -0,8$					
Ateração no efeito médio = média da fase + \bar{y}_4	$= 2,0$					

Tabela de Fatores de Multiplicação

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{4,n}$		0,34	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
$1/n$	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$1/(n-1)$		1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11
$2/\sqrt{n}$	2,00	1,41	1,15	1,00	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,63
$1,73/\sqrt{n}$	1,73	1,22	1,00	0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55

2² Fatorial

CICLO = 4

Projeto P/26-8

Fase 6

Data 0/2/91

Resposta PRODUTIVIDADE

Cálculo das médias					Cálculo dos Desvios-Padrão	
Condições de Operação	(1)	(2)	(3)	(4)	Estimativa prévia de σ	$\sigma = 1,8$
(I) Soma ciclo anterior	190,7	190,7	200,1	185,9	Soma anterior s	$= 3,12$
(II) Média ciclo anterior	63,6	63,6	66,7	62,0	Média anterior s	$= 1,56$
(III) Novas medições	62,8	64,9	62,6	61,7	Novo $s = \text{amplitude} \times f_{4n}$	$= 3,44$
(IV) Diferença (II) - (III)	0,8	-4,3	3,9	0,3	Amplitude	$= 8,2$
(V) Nova soma (I) + (III)	253,5	258,6	262,9	247,6	Nova Soma s	$= 6,56$
(VI) Nova média (V)/n	63,4	64,7	65,7	61,9	Nova Média $s = \frac{\text{Nova Soma}}{n}$	$= 2,19$
Cálculo dos Efeitos					Cálculo dos Limites de 2 E.P.	
Média da Fase	$= 1/4 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4)$				$P/\text{nova média } s = + \frac{2}{\sqrt{n}} s = 2,19$	
(A) Efeito TEMPO	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_1 - \bar{y}_4)$				$P/\text{novos efeitos } = + \frac{2}{\sqrt{n}} s = 2,19$	
(B) Efeito TEMPERATURA	$= 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_4 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3)$					
(AB) Efeito TEMPO x TEMPER.	$= 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4)$				$P/\text{mudança na média } = + \frac{1,73}{\sqrt{n}} s = 1,91$	
Alteração no efeito médio = média da fase - \bar{y}_4					$= 2,0$	

Tabela de Fatores de Multiplicação

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_{4n}		0,34	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
$1/n$	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$1/(n-1)$		1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11
$2/\sqrt{n}$	2,00	1,41	1,15	1,00	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,63
$1,73/\sqrt{n}$	1,73	1,22	1,00	0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55

PROCEDIMENTO PARA PREENCHIMENTO DA FOLHA DE ACOMPANHAMENTO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

O preenchimento das planilhas e quadro de informações da EVOP seguem o seguinte procedimento :

Para o ciclo 1 :

Como não se tem nenhum valor anterior, as linhas (I), (II) e (IV) são deixadas em branco.

As novas medições do ciclo 1 para cada condição de operação são colocadas na linha (III). Estes são escritos também nas linhas (V) e (VI) pois somente um valor foi observado e assim, os campos "Novas somas" e "Novas médias" são os próprios valores.

O desvio padrão não pode ser calculado com um único valor disponível e o preenchimento dos campos relativos ao "Cálculo dos Desvios Padrão" são deixadas em branco com exceção da estimativa prévia do desvio padrão da característica analisada.

O "Cálculo dos Efeitos" pode ser feito através dos números da linha (VI) que, para o ciclo 1, são as próprias observações. No campo "Cálculo dos limites de 2 E.P." são feitas substituindo o sigma prévio por s. As constantes necessárias para o cálculo são mostradas nos quadros da parte inferior da planilha.

As médias, efeitos e os limites de 2 D.P. são transferidos então para o quadro de informações para exibir a situação no fim do ciclo 1.

Assim que os valores do ciclo 2 estejam disponíveis, pode-se fazer uma primeira estimativa de sigma baseada nos dados da presente fase. Os cálculos deste ciclo e dos ciclos posteriores seguem o mesmo padrão apresentado abaixo:

Passo 1 - Os dados das linhas (V) e (VI) da planilha do ciclo anterior são copiados nas linhas (I) e (II) da planilha do ciclo atual.

Passo 2 - As medições dos valores da característica analisada são colocadas na linha (III).

Passo 3 - Cada dado na linha (III) é subtraído do dado correspondente na linha (II) e o resultado com o sinal apropriado é preenchido na linha (IV). Tais valores indicam a magnitude da diferença entre cada valor atual da média dos experimentos anteriores.

Passo 4 - A nova soma é obtida somando o dado da linha (I) com a linha (III) e colocada na linha (V).

Passo 5 - A nova média da linha (VI) é obtida multiplicando o valor da linha (V) multiplicando-o pelo fator $1/n$ onde n é o número do ciclo.

Passo 6 - O cálculo dos efeitos é situado no espaço determinado usando as novas médias da linha (VI).

O cálculo dos desvios-padrão são feitos no espaço determinado à direita da planilha, deste modo:

Passo 7 - A maior e a menor diferença localizadas na linha (IV) são sublinhadas. A diferença entre esses valores sublinhados é a amplitude que é colocada à direita da linha (IV).

Passo 8 - A amplitude da linha (IV) é multiplicado pelo fator $f_{4,n}$ para obter estimativa s de sigma neste ciclo. A estimativa é colocada na linha (III) como "Nova s ".

Como no ciclo 2 não se tem ainda estimativas prévias do desvio padrão os itens "Soma anterior s " e "Média anterior s " estão em branco e os campos "Nova soma s " e "Nova média s " são idênticos ao da linha (III).

A estimativa do desvio padrão depois do segundo ciclo ainda não é confiável e não é utilizada neste estágio. É somente armazenada e combinada com uma estimativa similar da próxima fase antes de ser utilizada no cálculo dos limites de 2 D.P.. Os limites no ciclo 2 são obtidos novamente com o uso da estimativa prévia de sigma.

Os valores atualizados das médias, efeitos, limites de 2 D.P. mostrando a situação no fim do segundo ciclo são colocados no quadro de informações.

No fim do ciclo 3 todos os cálculos podem ser feitos e os outros posteriores seguem o mesmo método:

Passo 9 - O valor "Nova s" na linha (III) é somada ao valor "Soma Anterior s" na linha (I) e o resultado é colocado na linha (V) como "Nova soma s". Tal valor é dividido por $n-1$ para resultar na "Nova média s" na linha (VI).

Passo 10 - Os limites de 2 D.P. para as médias e efeitos usando tal estimativa são obtidas por substituição direta da "Nova média s" por s nas equações da parte inferior direita da planilha. As médias, efeitos e seus limites de erro são então transferidos para o quadro de informações para mostrar a situação no final do ciclo atual.

Para cada resposta de interesse deve-se ter uma folha de informações (planilha) a fim de verificar seu comportamento dentro das condições experimentais pré-determinadas.

1) Preencher o nome do projeto, o número da fase atual, a data e o número do ciclo. A resposta de interesse deve ser anotada.

2) De acordo com o ponto da experiência, anotar o resultado no campo de "Novas medições".

3) Após os cálculos na planilha, transferir os valores para os campos correspondentes na folha de acompanhamento e para o quadro existente no painel.

4) Arquivar a folha na pasta da Operação Evolutiva.

Na figura a seguir apresenta-se o quadro de informações da resposta analisada após quatro ciclos.

Resposta		Produtividade %	Outras Respostas
Requisitos		MAXIMIZAR	...
Médias		61,9 64,7	...
		63,4 65,7	
2 Desvios Padrão para médias		$\pm 2,2$...
Efeito com desv. padrão	Média da Fase	63,9	...
	A : Tempo Reação	$2,6 \pm 2,2$	
	B : Temp. Reação	$-1,3 \pm 2,2$	
	A x B	$0,3 \pm 2,2$	
	Mudança na média	$2,0 \pm 1,9$	
s		2,2	
Estimativa prévia de σ		1,8	

Figura 11.7 - Parte de um quadro de informações após quatro ciclos (ref.6)

Conclusões do quadro de informações após quatro ciclos :

Para qualquer mudança dos parâmetros de produção, todas as respostas relativas à qualidade do produto obtido devem ser analisadas detalhadamente. Seria inútil aumentar a produtividade se, por exemplo, o nível de impurezas se elevasse e o produto ficar fora das especificações do cliente. Neste exemplo, somente a produtividade é analisada e a conclusão que se poderia tirar é que um aumento no tempo de reação seria vantajoso. Também há uma indicação que a diminuição da temperatura de reação melhoraria a obtenção do produto mas tal conclusão deve ser melhor investigada com outros ciclos ou em fases seguintes da ferramenta.

11.10. ASPECTOS DA ORGANIZAÇÃO DA EVOP DENTRO DA EMPRESA

Para que a ferramenta EVOP realmente funcione, deve ser inicialmente compreendida e desenvolvida por vários níveis numa empresa. Devemos treinar todas as pessoas envolvidas no uso da EVOP como ferramenta de otimização. No caso, deve-se dar um tratamento diferente a cada nível da companhia, a qual foi dividida em três níveis principais :

- a alta administração;
- pessoal de supervisão do processo : engenheiros, químicos, etc.
- operadores da produção.

Alta administração

Para que um programa utilizando-se a EVOP dê certo é estritamente necessária a aprovação da alta administração. Para que ela tome contato com a ferramenta pode-se listar as seguintes vantagens :

- A Operação Evolutiva dá uma melhoria natural e continua dos processos sob um plano organizado com linhas de comunicação entre os vários níveis da empresa através do comitê EVOP. O programa evita um processo estático mas também não o desestrutura pois todo passo é planejado e programado em detalhes.

- A EVOP não necessita de recursos extras e somente uma organização no início do esquema e uma pequena quantidade de supervisão do pessoal disponível.

- A EVOP é uma boa ferramenta para as pessoas que a utilizam, uma vez que dá a liberdade para sugerir mudanças nos parâmetros do processo aumentando o interesse do pessoal em melhorar o rendimento do processo e de seu trabalho.

- O comitê EVOP dá uma oportunidade para que o processo seja periodicamente examinado por um grupo de experts. Isto não inclui somente os que trabalham diretamente com ele mas também outros de outros setores afins cujas contribuições podem ser extremamente válidas.

Pessoal de supervisão do processo :

Os engenheiros, químicos e todos que supervisionam o processo devem ter um entendimento total e completo da ferramenta EVOP. As vantagens que a ferramenta traz com relação a um conhecimento melhor do mecanismo do processo e a um direcionamento para a otimização devem ser explicados para que os supervisores sejam convencidos a alterar os parâmetros. Inicialmente será difícil convencer as pessoas a mudar os valores de certas variáveis num processo onde tudo vem dando certo, mas deve-se explicar que um processo estático não evolui e tal programa desempenha a função de procurarmos sempre uma melhoria na produção.

Operadores do processo

Deve ser explicado aos operadores que o processo, ao invés de ter condições fixadas, terá um esquema de testes com pequenas mudanças em certas variáveis serão utilizadas e suas sugestões relativas a tais alterações serão bem vindas. Auxílios visuais, se disponíveis devem ser utilizados para chamar a atenção dos colaboradores. Assim, um quadro de informações visível a todos nos controles do processo seria útil para chamar e manter ativa a atenção ao programa de otimização.

12. IMPLEMENTAÇÃO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

12.1. OBJETIVO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

Através das variáveis do processo escolhidas, tentaremos através da ferramenta, aumentar a produtividade dos sistemas produtivos. O objetivo, portanto, será uma diminuição global do tempo de reação aumentando o número de partidas diárias dos sistemas. No caso, como todos os sistemas são estruturalmente os mesmos, escolher-se-á um para servir de piloto na utilização da ferramenta. A escolha deve ser feita de maneira a se poder, através das informações colhidas pela análise das partidas, os níveis otimizados das variáveis estudadas em todos os outros sistemas produtivos paralelos.

No setor em estudo, temos cinco sistemas produtivos, os quais têm pequenas diferenças entre si mas onde se pode confiar na similaridade entre eles. Temos um estudo a seguir da produtividade dos sistemas com relação ao número de partidas diário.

O objetivo será de diminuir o tempo de reação do polímero mantendo as características de qualidade dentro das especificações técnicas. Desse modo, deveremos monitorar durante as diversas fases e ciclos a seguinte característica do processo : tempo de condensação; e as seguintes características de qualidade do polímero : viscosidade, grau de amarelo, grau de brancura, etc.

12.2. FORMAÇÃO DO COMITÊ EVOP

O comitê EVOP dentro da empresa foi formado com os seguintes elementos :

- Gerente de Setor;
- Chefe de Seção;
- Chefe de Engenharia ;
- Gerente de Automação;
- Estagiário.

Inicialmente, foi dada uma explicação básica da ferramenta EVOP (Operação Evolutiva) dentro da produção e seus objetivos para otimização do processo através de experimentos controlados.

Foi colocada a necessidade da estabilidade estatística do processo pelo gerente de automação, o que foi explicado que a implantação do CEP está em seu início mas que o processo vem sendo monitorado e apresenta um certo grau de estabilidade.

Através de discussões anteriores, a idéia inicial seria implantar tal ferramenta no sistema V, à medida em que a utilização de uma nova matéria-prima e um sistema de controle mais preciso, além da comparação com a produtividade de Portugal que no caso se encontra num patamar bem acima no número diário de partidas.

Foi colocado que o sistema V sofrerá uma série de modificações estruturais as quais farão com que os parâmetros do processo sejam alterados e tal programa portanto não teria muita utilidade no momento e somente com a instalação de todas as mudanças e a estabilização do processo tal projeto poderá vir a ser executado neste sistema.

O sistema IV também terá seu sistema de controle alterado e também sua matéria-prima. Tais mudanças levarão certo tempo para serem feitas. Quando se tiver um processo estabilizado e todas as reações conhecidas no tocante ao TPA, poder-se-á aplicar tal método de otimização nos sistemas IV e V. Portanto, foi determinado que um sistema cujos parâmetros de processo que esteja estabilizado e cujas reações já estejam conhecidas seja alvo de tal ferramenta. Assim, os sistemas cuja matéria-prima sejam o DMT, seriam os sistemas mais indicados para tal ferramenta. Portanto com o consenso de todos os presentes, foi determinado que inicialmente o sistema III fosse o alvo dos experimentos.

Colocou-se então o seguinte : o objetivo seria a diminuição do tempo de reação do gargalo do sistema III que se encontra na esterificação. (Ver figura 12.1 e 12.2). Portanto, os parâmetros do processo considerados importantes devem ser analisados.

Alguns fatores foram listados :

- Temperatura final do produto;
- Temperatura do difil;
- Agitação do produto;
- Potência do motor (no caso já está no limite);
- Temperatura de refluxo;
- Teor de Acetato de Antimônio;
- Teor de Acetato de Manganês;
- Rampa de aquecimento do produto (set-point);

Os fatores a serem mantidos dentro das especificações técnicas são:

- Viscosidade (característica do polímero que mede o tamanho médio das cadeias formadas na reação);
- Grau de amarelo (característica relativa ao grau de degradação do polímero que afeta principalmente o tingimento e aspecto do plástico formado possuindo inúmeras causas possíveis);
- Grau de brancura (semelhante ao grau de amarelo também se refere ao grau de degradação do polímero);

Características	Especificações Técnicas
Viscosidade	820 ± 20
Grau de Amarelo	$< 9,5$
Grau de Brancura	> 75

Obs. Todas são unidades adimensionais pois sua análise é feita de modo comparativo.

E também há o fator relativo ao tempo de policondensação que deve ser igual ao tempo de esterificação e ambos com seus tempos minimizados para uma perfeita sincronização do processo.

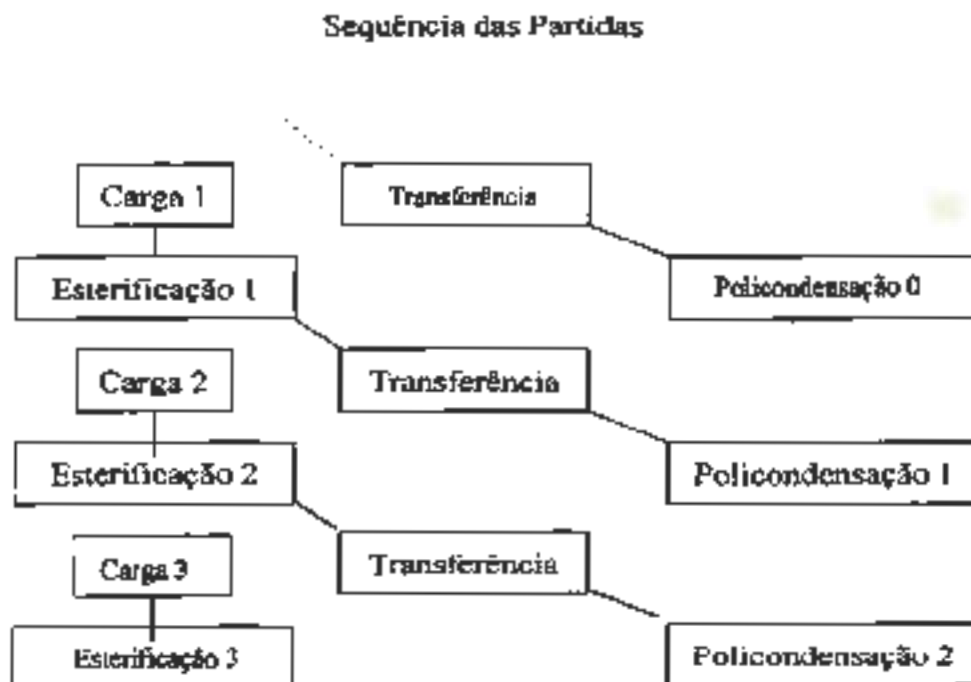


Figura 12.1 - Sequência das partidas de polímero

Através da análise dos tempos de reação dos meses de junho, julho e agosto/94 verificou-se :

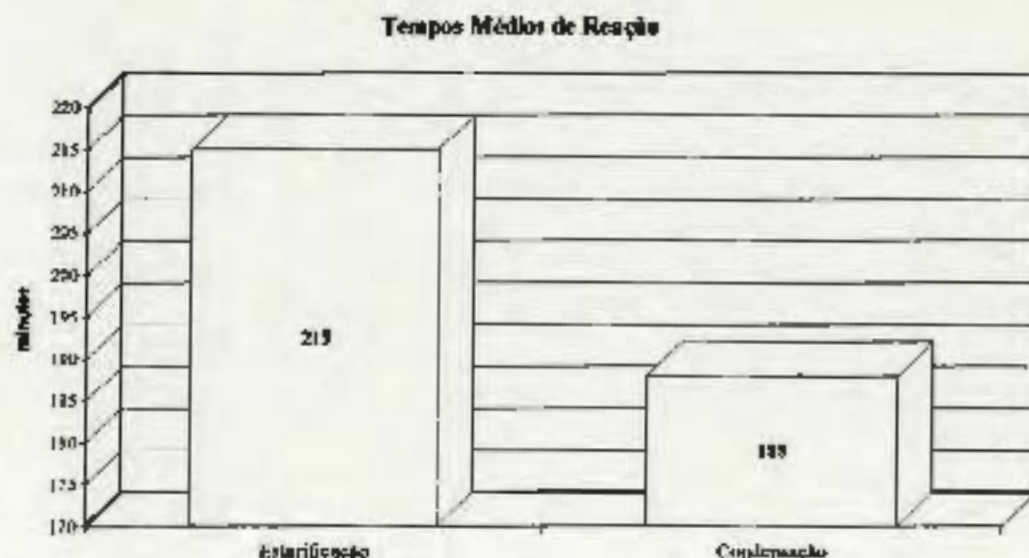


Figura 12.2 - Tempos Médios de Reação

Observa-se uma diferença dos tempos de reação de cerca de 30 minutos que, para otimização do processo relativa à produtividade, deve ser minimizada.

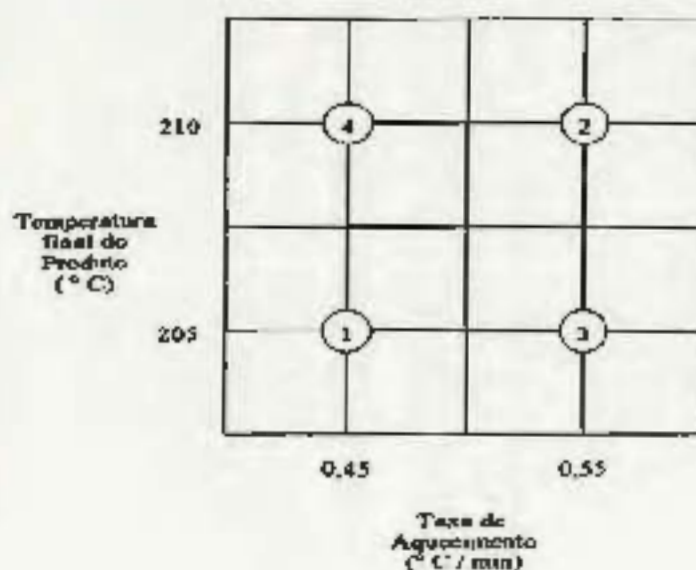
Assim o objetivo da ferramenta será a diminuição do tempo de reação relativo à esterificação, faremos uma experiência inicial no sentido de se aumentar a velocidade da reação alterando os parâmetros de aquecimento do produto. No caso, estudaremos as respostas da reação ao aumentarmos a taxa de aquecimento do produto na primeira fase da esterificação e também ao diminuirmos a temperatura final do produto o que com certeza trará uma redução no tempo da reação mas o que deveremos checar será a manutenção das especificações técnicas do produto obtido desta forma.

12.3. DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DA 1ª FASE

Através de análises das cem partidas mais recentes do sistema III verificou-se que a média geral da taxa de aquecimento de aproximadamente : $0,45^{\circ}\text{C} / \text{min}$ e a temperatura final do produto se encontra a 210°C . Assim, inicialmente tomar-se-á como segundo nível da taxa de aquecimento, o valor de $0,55^{\circ}\text{C} / \text{min}$ e o segundo nível da temperatura final o valor de 205°C . Faremos um esquema de delineamento com quatro pontos sem referência central no caso pois o melhor seria aumentarmos o máximo possível a taxa de aquecimento e diminuirmos o máximo a temperatura final do produto. Utilizando os parâmetros para minimização na taxa de aquecimento da reação teremos uma economia de cerca de 10 minutos no tempo de esterificação. A economia de tempo com a temperatura final 5°C menor será de cerca de 8 minutos. No total, portanto teremos um ganho de 15 minutos o que é um resultado razoável. No esquema a seguir temos os pontos descritos, sendo o ponto das condições atuais o ponto 4.

ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

1ª FASE




	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4
TAXA DE AQUECIMENTO (°C/min)	0,45	0,55	0,55	0,45
TEMPERATURA FINAL DO PRODUTO (°C)	205	210	205	210

Figura 12.3 - Esquema da Operação Evolutiva

Caso tal fase da ferramenta realmente traga um aumento na produtividade do processo, posteriores investigações serão feitas para diminuirmos ainda mais os tempos de reação na produção do PET.

12.4. APLICAÇÃO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

A Operação Evolutiva será posta em prática através da utilização de um quadro de informações criado para acompanhamento dos experimentos dentro das fases e ciclos determinados que ficará à vista de todos os envolvidos na produção para que se saiba como a ferramenta evolui. Como um auxílio paralelo, criou-se uma planilha dentro do software "LOTUS 1-2-3" para que este fizesse as contas automaticamente para que não haja nenhum erro nos cálculos envolvidos. Deste modo, treinar-se-ia algum operador para preencher corretamente a planilha anotando os cálculos e transcrever tais valores no quadro para que se saiba como evolui a operação. A folha de preenchimento com os dados a serem coletados é apresentada a seguir assim como a planilha a ser utilizada como base dos cálculos e o quadro de informações colocado no painel de controle do processo.



2² Fatorial

CICLO = _____

Resposta _____

Projeto _____

Fase _____

Data _____

Cálculo das médias					Cálculo dos Desvios-Padrão
Condições de Operação	(1)	(2)	(3)	(4)	Estimativa prévia de σ
(I) Soma ciclo anterior					Soma anterior s
(II) Média ciclo anterior					Média anterior s
(III) Novas medições					Novo s = amplitude $\times f_{4,n}$
(IV) Diferença (II) - (III)					Amplitude
(V) Nova soma (I) + (III)					Nova Soma s
(VI) Nova média (V)/n					Nova Média $s = \frac{\text{Nova Soma}}{n.1}$
Cálculo dos Efeitos					Cálculo dos Limites de 2 F.P.
Média da Fase	$= 1/4 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4)$				$P/ \text{ nova média } s = + \frac{2}{\sqrt{n}} s =$
(A) Efeito	$= 1/2 (\bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_1 - \bar{y}_4)$				$P/ \text{ novos efeitos } = + \frac{2}{\sqrt{n}} s =$
(B) Efeito	$= 1/2 (\bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_1 - \bar{y}_2)$				
(AB) Efeito	$= 1/2 (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4)$				$P/ \text{ mudança na média } = + \frac{1,73}{\sqrt{n}} s =$
Alteração no efeito médio = média da fase - \bar{y}_4					

Tabela de Fatores de Multiplicação

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{4,n}$		0,34	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
$1/n$	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$1/(n-1)$		1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11
$2/\sqrt{n}$	2,00	1,41	1,15	1,00	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,63
$1,73/\sqrt{n}$	1,73	1,22	1,00	0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55

Figura 12.4 - Folha de Acompanhamento da Operação Evolutiva

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS					
DATA :		CICLO N =		I RESPOSTA	
		CÁLCULO DAS MÉDIAS			CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA
SOMA CICLO ANTERIOR					SOMA ANTERIOR
MÉDIA CICLO ANTERIOR					MÉDIA ANTERIOR
NOVAS OBSERVAÇÕES					NOVO S =
DIFERENÇAS					AMPL. $\sigma_f(K,N)$
					AMPLITUDE
NOVAS SOMAS	0.0	0.0	0.0	0.0	NOVA SOMA S
NOVAS MÉDIAS	0.0	0.0	0.0	0.0	NOVA MÉDIA S
		CÁLCULO DOS EFETOS			CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO
MÉDIA DA FASE	0.0				PARA NOVA MÉDIA
EFETO A	0.0				PARA NOVOS EFETOS
EFETO B	0.0				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA
EFETO AB	0.0				
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	0.0				

Figura 12.5 - Planilha da Operação Evolutiva

Resposta	Tempo de Esterificação	Tempo de Condensação	Viscosidade
Requisitos	minimizar	igualar a esterificação	820 ± 20
Médias			
2 Desvios Padrão para médias	±	±	±
Média da Fase			
Efeitos com desv. padrão			
A : Taxa Aquec.	±	±	±
B: Temper. Final	±	±	±
A x B	±	±	±
Mudança na média	±	±	±
s			
Estimativa prévia de σ	17	14	8

Resposta	Grau de Amarelo	Grau de Brancura
Requisitos	7,5 ± 2,0	77,0 ± 6,0
Médias		
2 Desvios Padrão para médias	±	±
Média da Fase		
Efeitos com desv. padrão		
A : Taxa Aquec.	±	±
B: Temper. Final	±	±
A x B	±	±
Mudança na média	±	±
s		
Estimativa prévia de σ	0,6	3,5

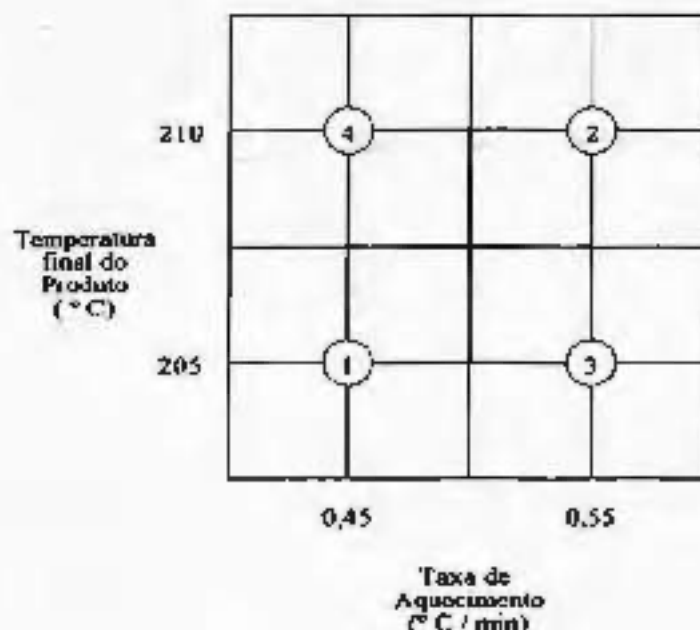
Figura 12.6 - Quadro de Informações da EVOP

12.5. INÍCIO DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

Inicialmente, da mesma forma que ocorreu o treinamento com relação à implantação do C.E.P. na seção, foi descrita a Operação Evolutiva para os operadores para que eles tivessem uma noção da ferramenta (uma espécie de inúmeros testes em certas condições para melhoria do processo com objetivo inicial nesta parte do projeto de diminuição do tempo total de reação) e a participação de cada um no tocante ao ajuste dos diferentes níveis das variáveis estudadas. Explicou-se que eles estavam livres para fazer quaisquer observações relevantes e sugestões para aperfeiçoamento da ferramenta. Com os operadores cientes do projeto, a seguir foi montado um quadro no auxílio da visualização dos experimentos a serem feitos para todo o pessoal envolvido. Este quadro é colocado juntamente com o quadro de informações.

ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

1ª FASE



	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4
TAXA DE AQUECIMENTO (°C / min)	0,45	0,55	0,55	0,45
TEMPERATURA FINAL DO PRODUTO (°C)	205	210	205	210

Figura 12.7 - Quadro da Operação Evolutiva

Cada ponto do quadro será tomado através da média das partidas diárias nas condições pré-determinadas. Isto foi decidido para termos um resultado mais confiável dentro de cada ponto dos experimentos.

A taxa de aquecimento do sistema se faz através de um método analógico com a utilização de um disco que controla a abertura da válvula na tubulação do líquido aquecedor dos reatores de esterificação. Para cada taxa foi feito um disco diferente a ser utilizado naquela experimento. Para facilitar o uso destes pelos operadores foi criado um quadro para que se preencha o número da partida com a utilização do disco de aquecimento específico (1 ou 2), em que dia se fez o set-up da partida para que qualquer dúvida que surja possa ser esclarecida com um questionamento dos procedimentos adotados. Na página seguinte, está apresentado o quadro.

DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS
NA ESTERIFICAÇÃO DO
SISTEMA III

Exper.	Partidas	Dia	Disco	Temperatura Final
1			1	205° C
2			2	210° C
3			2	205° C
4			1	210° C
Exper.	Partidas	Dia	Disco	Temperatura Final
1			1	205° C
2			2	210° C
3			2	205° C
4			1	210° C
Exper.	Partidas	Dia	Disco	Temperatura Final
1			1	205° C
2			2	210° C
3			2	205° C
4			1	210° C
Exper.	Partidas	Dia	Disco	Temperatura Final
1			1	205° C
2			2	210° C
3			2	205° C
4			1	210° C

Figura 12.8 - Quadro de controle dos experimentos

Com o intuito de verificar os desvios padrão de cada resposta de interesse envolvida, analisou-se as últimas cem partidas do sistema III e chegou-se aos seguintes valores :

Respostas de Interesse	Tempo de Esterificação	Tempo de Condensação	Viscosidade	Grau de Amarelo	Grau de Brancura
Desvios Padrão	17	14	8	0,6	3,5

Tais valores serão as estimativas iniciais dos desvios padrão necessários para os cálculos feitos para os limites de erro, os quais são importantes para a determinação da importância das variáveis em estudo.

Além disso, as partidas do sistema III terão todas as suas características monitoradas para determinação da validade das partidas cujas medições não estejam dentro de uma faixa estatisticamente controlada que não serão utilizadas nos cálculos relativos ao EVOP.

Como foi obtida?

12.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

A primeira fase da Operação Evolutiva consistiu de cerca de 6 ciclos para determinação dos efeitos de cada variável escolhida. A cada ciclo, os cálculos dos erros relativos a cada efeito se tornavam mais estreitos confirmando a influência das variáveis em estudo.

Obs. As planilhas da EVOP do primeiro e último ciclo são apresentadas no Anexo D.

Resposta	Tempo de Esterificação	Tempo de Condensação	Viscosidade
Requisitos	minimizar	igualar a esterificação	820 \pm 20
Médias	216 204	195 196	821 823
	209 198	206 207	822 823
2 limites Erros Padrão para médias	\pm 3	\pm 8	\pm 5
Média da Fase	206	201	822
Efeitos com limites de erro			
A : Taxa Aquec.	- 12 \pm 3	1 \pm 8	2 \pm 5
B: Temper. Final	7 \pm 3	- 11 \pm 8	- 1 \pm 5
A x B	0 \pm 3	- 1 \pm 8	0 \pm 5
Mudança na média	- 10 \pm 3	6 \pm 7	1 \pm 4
s	3	8	5
Estimativa prévia de σ	17	14	8

Resposta	Grau de Amarelo	Grau de Brancura
Requisitos	7,5 \pm 2,0	77,0 \pm 6,0
Médias	7,6 8,3	78,4 76,9
	7,1 7,9	78,2 77,0
2 limites Erros Padrão para médias	\pm 0,3	\pm 0,7
Média da Fase	7,8	77,6
Efeitos com limites de erro		
A : Taxa Aquec.	0,8 \pm 0,3	- 1,4 \pm 0,7
B: Temper. Final	0,5 \pm 0,3	0,1 \pm 0,7
A x B	0,0 \pm 0,3	- 0,1 \pm 0,7
Mudança na média	0,2 \pm 0,3	- 0,8 \pm 0,6
s	0,3	0,7
Estimativa prévia de σ	0,6	3,5

Figura 12.9 - Quadro de informações EVOP - ciclo 6

A seguir, foram traçadas de modo simplificado as curvas de resposta de acordo com as observações obtidas durante a primeira fase para todas as respostas de interesse.

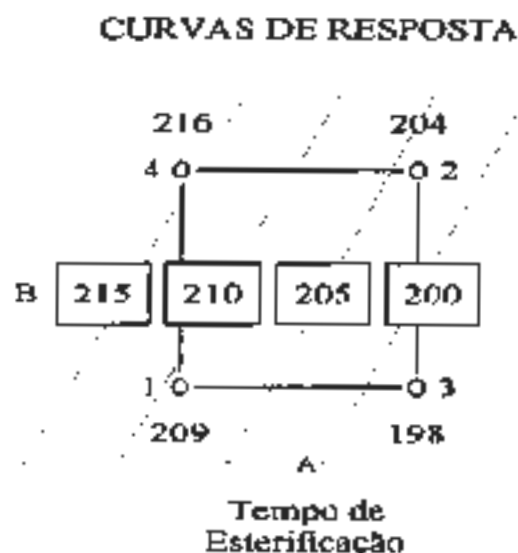


Figura 12.10 - Curva de Resposta do Tempo de Esterificação

No estudo da influência de cada variável no tocante ao tempo de esterificação, as duas variáveis têm influência significativa com a variável A (Taxa de Aquecimento) com efeito negativo, ou seja, no nível maior, o tempo de esterificação é menor, enquanto que a variável B (Temperatura final do produto) tem efeito positivo significativo pois no nível menor, o tempo de esterificação diminui. Tal conclusão seria previsível, visto que estas foram determinadas e alteradas exatamente para diminuição do tempo de reação na esterificação e, portanto deveriam possuir influência direta nesta resposta. Não se observou, dentro dos níveis de significância qualquer interação entre as variáveis. Do quadro de informações (figura 12.6) verifica-se uma diminuição de cerca de 10 minutos na média das observações desta fase em relação à média do ponto de referência (ponto 4 com os parâmetros atuais).

CURVAS DE RESPOSTA

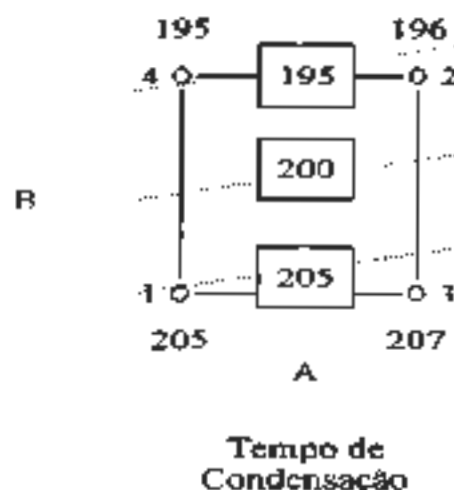


Figura 12.11 - Curva de Resposta do Tempo de Condensação

A análise relativa à influência das variáveis estudadas relativa ao tempo de condensação mostra um efeito significativo negativo do efeito B (Temperatura final do produto) que indica que quanto maior a temperatura final na esterificação, menor será o tempo de condensação.

Uma explicação para tal resultado pode ser dada relativamente ao aquecimento do produto quando transferido para o condensador leva um tempo maior para atingir a temperatura de 280° C (Temperatura de reação na policondensação).

CURVAS DE RESPOSTA

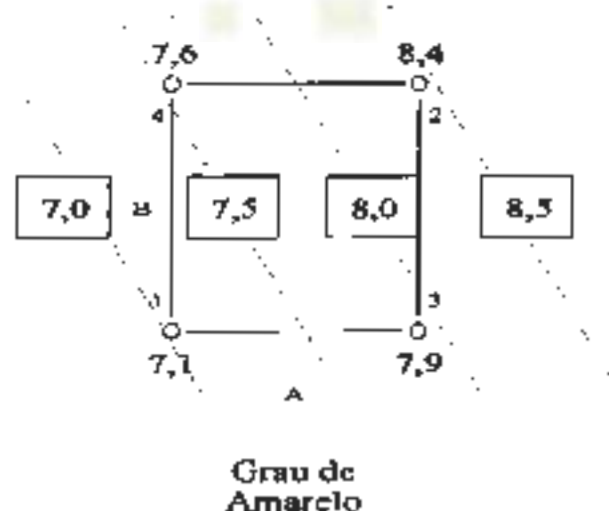


Figura 12.12 - Curva de Resposta do Grau de Amarelo

Ambas as variáveis possuem influência no grau de amarelo do produto com os efeitos ambos positivos indicando que um aumento na taxa de aquecimento ou na temperatura final do produto dentro da reação de esterificação leva a uma degradação do monômero tendo como consequência um grau de amarelo mais alto. Sabe-se que altas temperaturas degradam o polímero e, é possível, que uma taxa de aquecimento muito alta force demais a reação entre os reagentes degradando assim o produto.

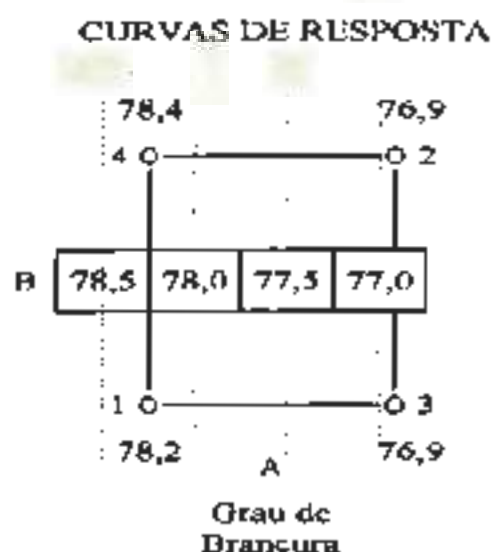


Figura 12.13 - Curva de Resposta do Grau de Brancura

Na resposta de interesse grau de brancura somente a taxa de aquecimento na reação é significativo com um efeito negativo pois quanto maior seu nível, menor é a característica avaliada o que indica um polímero com degradação.

A explicação é semelhante ao do grau de amarelo pois uma taxa maior de aquecimento força a reação, degradando o monômero e conseqüentemente o polímero.

Obs. Não foi observada nenhuma influência significativa das variáveis em estudo nos níveis dos experimentos na resposta de interesse de viscosidade. Uma explicação plausível para tal ocorrência é o fato das alterações dos parâmetros da esterificação não afetarem o grau de reação do produto para produção do monômero não modificando a formação das cadeias do polímero na policondensação.

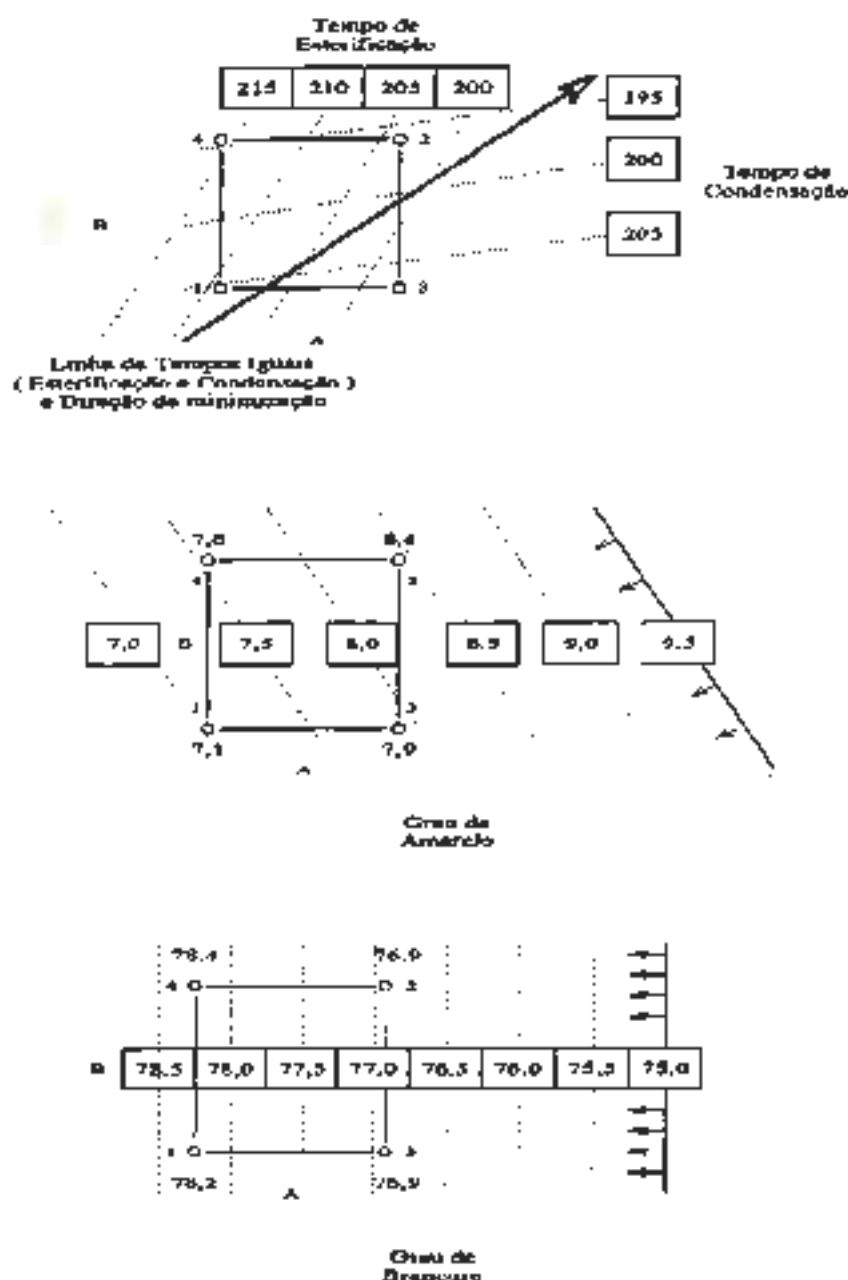


Figura 12.14 - Curvas de resposta combinadas

Os requisitos iniciais da Operação Evolutiva foram relativos à diminuição do tempo de esterificação mas igualando-se ao tempo de condensação pois não teria sentido uma minimização de um deles sem uma igualdade do outro pois sendo um processo descontínuo, um lote só será carregado no esterificador se a condensação ocorrer, assim como o condensador será carregado apenas se a

esterificação tenha sido completada. A seta indica os pontos de igualdade de tempos e o sentido para a minimização da esterificação. Apesar das outras curvas permitirem uma investigação na direção provável de otimização foi colocada uma restrição relativa à taxa de aquecimento que não pode ser muito elevada por características do reagente Monoetilenoglicol cujo processo de ebulição na reação pode prejudicar a formação do monómero caso tal aquecimento seja muito forçado. Portanto tal direção pode ser investigada futuramente mas com tal restrição.

12.7. CONCLUSÕES FINAIS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

Todas as conclusões com relação à Operação Evolutiva foram amplamente discutidas no comitê EVOP, o qual definiu a mudança dos parâmetros da reação de esterificação para o ponto 2 (Taxa de Aquecimento : $0,55^{\circ}\text{C} / \text{min}$ e Temperatura final do produto : 210°C).

Experimentos confirmatórios foram feitos tendo como resultado :

Tempo de Esterificação : 200 ± 18

Tempo de Condensação : 194 ± 14

Tempos Médios de Reação

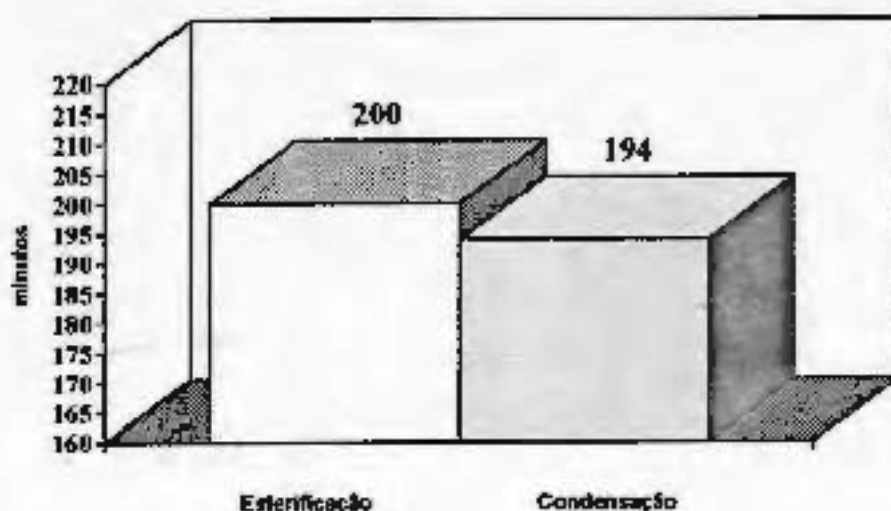


Figura 12.15 - Tempos médios de Reação após 1ª fase de EVOP

Assim, a diferença de tempos que era de aproximadamente 25 minutos, diminuiu para cerca de 6 minutos. A esterificação teve seu tempo de reação diminuído em cerca de 13 minutos em média, aumentando a eficiência e ocupação do sistema produtivo.

Estimativa do ganho de produtividade em termos monetários

Tomando por base a produtividade máxima desde janeiro/94 até setembro/94 e comparando com a produtividade do mês de outubro/94 quando os parâmetros foram alterados após o estudo do processo através da EVOP temos o seguinte quadro :

Produtividade máxima (01/94 - 09/94)	169 partidas / mês
Produtividade (10/94)	173 partidas
Ganho de partidas / mês	$173 - 169 = 4$ partidas / mês
Ganho de partidas / ano	$4 \times 12 = 48$ partidas / ano
Produção por partida	2,7 t de polímero
Aumento na produção total anual	$2,7 \times 48 = 129,6$ t / ano
Custo por tonelada de polímero	US\$ 1.058
Ganho total anual em US\$	US\$ 137.223 / ano

24%

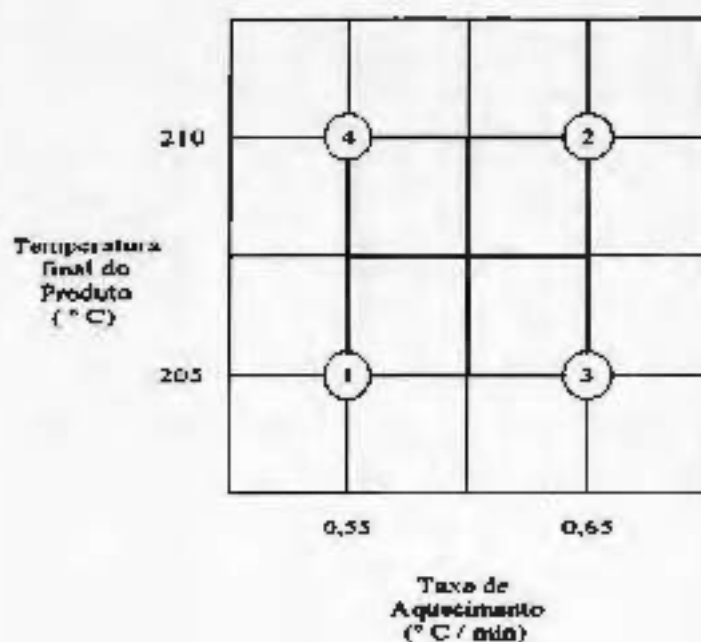
Temos, portanto, com a utilização da ferramenta EVOP, após uma fase apenas, um aumento na produtividade que gerará um ganho aproximado de US\$138.000 / ano, ou seja, cerca de US\$ 380 / dia em um único sistema.

A produtividade deve ser monitorada em todos os meses a fim de acompanharmos a evolução dos sistemas e analisar a viabilidade de aplicar a ferramenta nos outros sistemas produtivos com a finalidade de aumentar a produção da seção.

Devido ao bom resultado da primeira fase, a segunda fase do EVOP já foi discutida e foi determinado um novo esquema de experimentos com o ponto 3 se tornando o ponto 1 e com uma taxa de aquecimento de cerca de $0,60^{\circ}\text{C} / \text{min}$ e mantendo-se os dois níveis de temperatura final.

ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

2ª FASE



	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4
TAXA DE AQUECIMENTO ($^{\circ}\text{C} / \text{min}$)	0,55	0,65	0,65	0,55
TEMPERATURA FINAL DO PRODUTO ($^{\circ}\text{C}$)	205	210	205	210

Figura 12.16 - Esquema de Experimentos para Segunda Fase - EVOP

A Operação Evolutiva se mostrou bastante útil não só para a própria melhoria do processo mas também para estimular as pessoas a planejar mudanças nos parâmetros que normalmente seriam sempre os mesmos e que não trariam nenhuma informação para otimização do processo. Assim, ocorreu uma boa participação de todos os níveis da empresa : tanto na alta administração que aceitou o programa como se fosse uma procura da melhoria contínua do processo, quanto ao nível dos operadores cuja participação nas sugestões das variáveis a serem estudadas quanto nas alterações foi bastante grande. Com relação à supervisão da planta houve algumas resistências, que ocorrem sempre que se tenta mudar algo mas descrevendo as vantagens que o programa possui, principalmente por ser relativamente fácil e de não ocorrer uma mudança muito acentuada para misturar a ter produtos degradados e cujo prejuízo seria enorme, a possibilidade de se aprender melhor a influência de cada variável no processo foi determinante para que o programa se iniciasse.

13. CONCLUSÃO FINAL

A implementação do C.E.P. dentro de uma empresa química indicou a grande importância de investimentos para renovação e/ou manutenção dos equipamentos cuja idade média dentro das empresas está na faixa dos 20 anos, assim para manter e haver melhoria na qualidade do processo, o ponto crítico se encontra nas máquinas as quais devem constantemente ser verificadas com relação ao seu estado normal de operação. Os operadores devem ter um treinamento voltado à preocupação constante com a qualidade de seu trabalho e também daquilo que produzem.

Uma outra preocupação grande dentro de uma indústria química deve ser a otimização dos parâmetros de produção a fim de se aumentar a produtividade, eficiência e ocupação dos equipamentos. Como toda e qualquer investigação sobre a influência de variáveis em um determinado processo produtivo para a otimização deve ser feita somente caso se garanta que não ocorrem variações especiais dentro dos parâmetros do processo e/ou características do produto, é preciso um controle contínuo do processo a fim de que quaisquer causas especiais de variação de normalidade sejam detectadas prontamente, suas causas determinadas e modos de correção e prevenção estudados e implementados. O controle estatístico do processo é uma metodologia pela qual se faz uso de muitas ferramentas para a manutenção do processo em um estado natural de produção que é intrínseco ao projeto, ambiente, pessoas, etc. no qual as características do produto ou processo são continuamente monitoradas e, se tenta eliminar quaisquer causas que influenciem negativamente nos parâmetros aceitáveis do produto.

Com tal controle, garante-se que a produção será de acordo com uma distribuição natural do processo naquele momento. Neste instante, pode-se aplicar ferramentas de otimização "on-line" como é o caso da Operação Evolutiva pois os resultados serão certamente dentro de uma certa faixa trazendo informações estatística e significativamente confiáveis para análise e determinação de condições mais favoráveis à produção através de uma alteração nas condições padrão de operação. A filosofia é sempre baseada na alteração dos parâmetros de maneira controlada com pequena magnitude e seleção das melhores para produção de maneira otimizada dentro das especificações técnicas dos clientes.

O Trabalho de Formatura aqui descrito traz somente um período do início da implementação do C.E.P. e uma fase da EVOP.

O C.E.P. precisa ser constantemente aperfeiçoado pois ainda está no início dentro da empresa mas a implantação pode servir de modelo para um primeiro contato de outras seções da fábrica e uma procura continua de melhoria na produção do PET e de todos os outros produtos.

A EVOP é, como próprio nome diz, evolutiva, o que indica que se deve continuamente procurar novos caminhos de investigação com relação a parâmetros de variáveis do processo para uma melhoria na produção.

Um desenvolvimento conjunto destas duas ferramentas de melhoria do processo e também com outras relativas à qualidade (principalmente aquelas relativas aos recursos humanos) possuem um grande potencial para aumentar a eficiência e a produtividade das empresas não só do setor químico mas em todos os setores produtivos.

No desenvolvimento do T.F., um dos principais problemas encontrados foram relativos à mentalidade dos funcionários, uma vez que muitos possuem por volta de 15 a 20 anos de casa e cuja modificação da maneira de executar o trabalho e de sua posição em relação a programas de melhoria para qualidade e produtividade são extremamente difíceis de serem alcançadas. Seja pela falta de motivação e perspectivas, pelo não envolvimento total da alta administração em elevar o moral dos funcionários, os resultados quanto a um programa de qualidade ficam muito limitados.

Os objetivos finais dentro da empresa no tocante a este trabalho foram apenas de iniciar o contato com o conceito de qualidade para os colaboradores. A implantação de qualquer ferramenta de qualidade e otimização da produção deve ser planejada com ações paralelas ligadas à educação, mudanças comportamentais e culturais para que todas estas técnicas não sejam consideradas apenas panacéias inventadas por pessoas que aumentam o trabalho a ser feito pelos operadores. Assim, este T.F. tentou desenvolver uma noção da palavra "QUALIDADE" para que ela seja efetivamente implantada no cotidiano da fábrica e não seja pertencente somente ao pessoal de terno e gravata mas principalmente se incorpore ao vocabulário de todos os colaboradores da empresa.

BIBLIOGRAFIA

1. - Barker, T.B.; *Quality by Experimental Design*, Marcel Dekker, INC.; 1985.
2. - Barnett, E.H.; "Introduction to Evolutionary Operation", *Industrial and Engineering Chemistry*, vol.52, p.500-503, 1960.
3. - Box, G.E.P.; "A Simple System for Evolutionary Operation Subject to Empirical Feedback", *Technometrics*, vol.9, p.10-26, 1966.
4. - Box, G.E.P.; "Evolutionary Operation : a Method for Increasing Industrial Productivity", *Applied Statistics*, vol.6, n.2, p.81-101, 1957.
5. - Box, G.E.P.; "Isn't my Process too Variable for EVOP?", *Technometrics*, vol.10, p.439-444, 1969.
6. - Box, G.E.P. and Draper, N.R. ; *Evolutionary Operation*, John Wiley and Sons, 1969.
7. - Box, G.E.P. and Hunter, T.S.; "Condensed Calculation for Evolutionary Operation Programs", *Technometrics*, vol.1, p.77-95, 1959.
8. - DeBusk, R.E.; "Evolutionary Operation at the Tennessee Eastman Company", *Industrial Quality Control*, vol.19, p.15-21, 1962.
9. - Hradcsky, J.L.; *Aperfeiçoamento da Qualidade e da Produtividade*, São Paulo, McGraw-Hill, 1989.
10. - Hunter, W.G., and Kittrell, J.R.; "Evolutionary Operation : a Review", *Technometrics*, vol.8, p.389-397, 1966.
11. - Juran, J.M.; Gryna, F.M.; *Juran - Controle da Qualidade Handbook*, vol.VII, Makron Books, 1992.
12. - Koehler, T.L.; "Evolutionary Operation", *Chemical Engineering Progress*, vol.55, p.76-79, 1959.

13. - Ludwig, H; *Poliester Fibers - Chemistry and Technology* , John Wiley, 1969.
14. - Montgomery,D.C.; *Intiroduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons, 1991.
15. - Spendley,W.; Hext,G.R.; Himsworth,F.R.;"Sequential Aplication of Simplex Designs in Optimization and Evolutionary Operation", *Technometrics*, vol.4, p.441-461, 1962.
16. - Tiba, L.N.;"*Implementação de C.E.P. e Delineamento de Experimentos numa Indústria Têxtil*"; Trabalho de Formatura apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção da EPUSP, 1991.
17. - Apostila de C.E.P. - Fundação Vanzolini.
18. - Apostila " Transesterificação e Policondensação" - Hoechst, 1988.
19. - Revista Exame - Maiores e Melhores, 1992, 1993.

ANEXOS**Anexo A****PROCEDIMENTO DE ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DE
VISCOSIDADE DE CHIPS****Método Manual**

- Pesar exatamente 0,5000 g da amostra de "chips" (cortar o "chip" em 4 partes);
- Adicionar 78 g de DCA (Ácido Dicloroacético),
- Fechar bem o frasco com tampa de teflon e em seguida colocar em banho a 60°C com agitação;
- Amostras de chips : deixar 60 minutos no banho;
- A seguir, despejar a solução num funil para lavá-lo e em seguida com a ajuda deste, despejar no viscosímetro;
- Cronometrar o tempo de passagem da solução pelo capilar do viscosímetro. Efetuar tantas medições quanto forem necessárias para obter três que não difiram entre si mais que 0,1 s.

$$S.V. = \frac{\text{Tempo de passagem} - \text{fator do viscosímetro}}{\text{fator do viscosímetro}} \times 10^3$$

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DE VISCOSIDADE DE CHIPS

Método Automático

- Pesar exatamente 0,5000 g da amostra de "chips" (cortar o "chip" em 4 partes);
- Adicionar 78 g de DCA (Ácido Dicloroacético),
- Fechar bem o frasco com tampa de teflon e em seguida colocar em banho a 60°C com agitação;
- Amostras de chips : deixar 60 minutos no banho;
- Sistema automático AVS-500 - Colocar a amostra dentro do aparelho e esperar a medida.

OBS.

Teste realizado em partidas pares.

Duas vias do formulário de análise de cada partida verificada.

Anexo B**FÓRMULA E REAÇÃO QUÍMICA PARA OBTENÇÃO DO
POLIETILENO TEREFALATO (PET)****Matérias-Primas**

Monoetileno glicol (MEG)

Ácido Tereftálico (TPA)

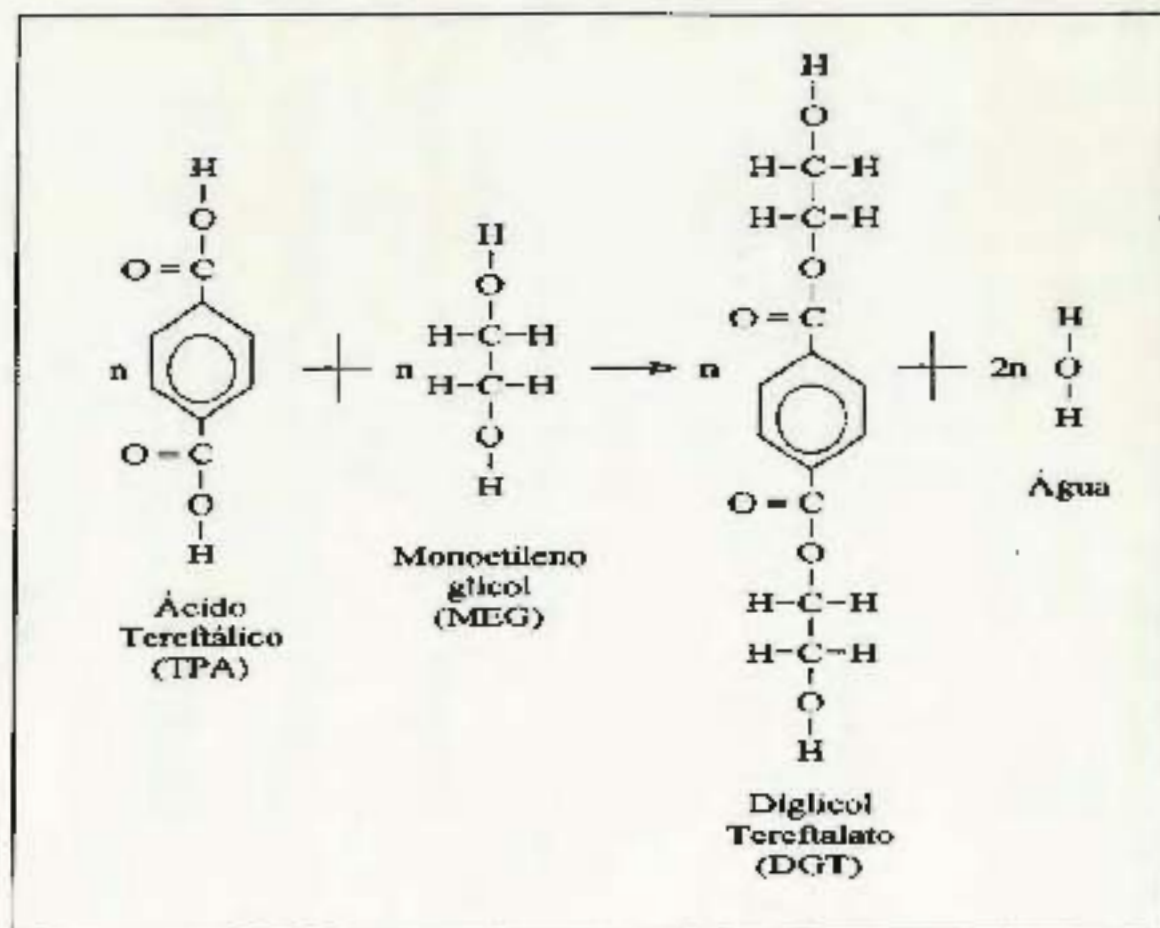
Dimetiltereftalato (DMT)

A produção em larga escala do Polietileno tereftalato ocorre num processo descontínuo em duas etapas : Dimetil tereftalato é convertido com monoetileno glicol e com o auxílio de um ou várias catalisadores em temperaturas variando de 150° a 210° C, em Diglicol tereftalato com a eliminação de metanol. Depois desta reação o produto obtido da transesterificação ou esterificação é policondensado sob a ação de alto vácuo numa faixa de temperatura de 270° a 280°C.

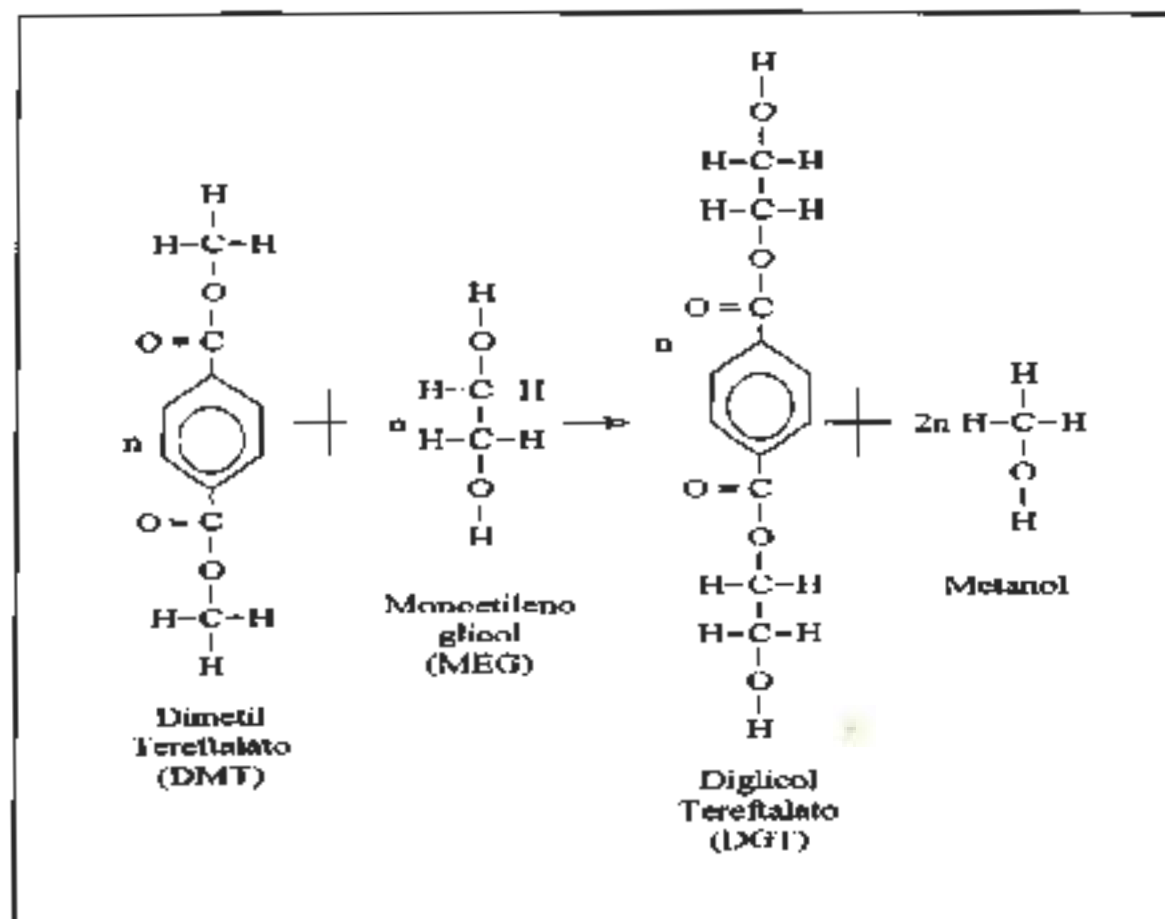
O processo total pode ser resumido em sub-etapas : dissolução ou fusão de DMT, transesterificação, destilação do excesso de glicol, policondensação sob a ação de vácuo, extrusão da massa formada, desintegração do fio de poliéster sólido em grânulos ou "chips" e mistura ou secagem do material desintegrado.

Na fabricação do polímero são utilizadas substâncias catalisadoras e estabilizantes para garantir a estabilidade química do produto e a reação entre os reagentes tanto na esterificação quanto na condensação. As substâncias utilizadas são : trióxido de antimônio, ácido fosfórico, pentacritritol, acetato de cobalto, acetato de manganês, etc.

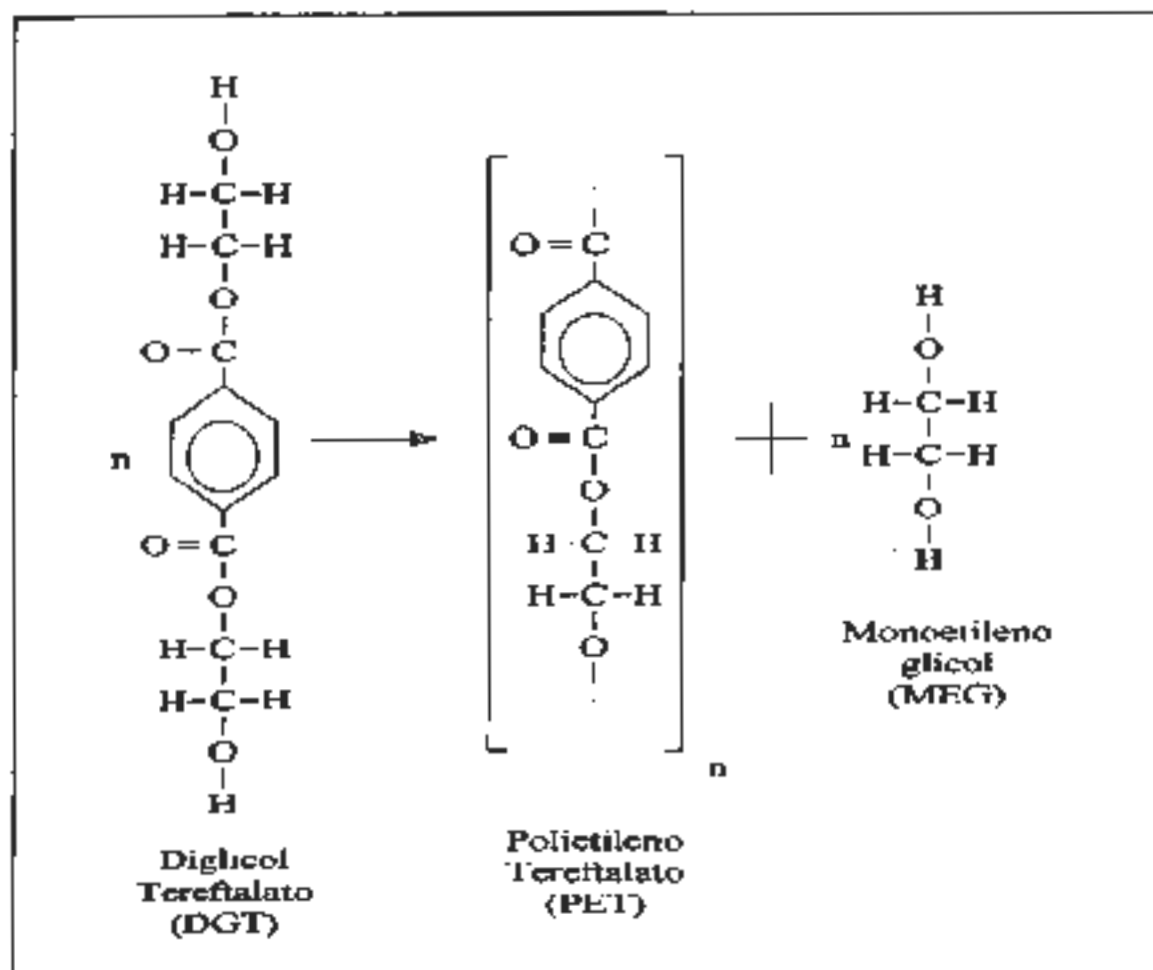
Para a utilização do poliéster para a fabricação de fios utiliza-se um pigmento a fim de tornar o plástico opaco e branco, sendo utilizado o dióxido de titânio numa concentração de cerca de 0,3% a 0,6%.



Esterificação de TPA com MEG



Esterificação de DMT com MEG



Policondensação do PET

Anexo C

Tabelas

Fórmulas para cálculo dos limites em gráficos de controle

Gráfico de controle da	Norma conhecida		Norma desconhecida	
	Linha Média	Limites de Controle	Linha Média	Limites de Controle
Média, por σ	μ	$\mu \pm A_1 \cdot \sigma$	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_1 \cdot \bar{s}$
Média, por R	—	—	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm A_2 \cdot \bar{R}$
Média, por R móvel	—	—	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} \pm \bar{R}/d_2$
Desvio Padrão	$c_2 \cdot \sigma$	$B_1 \cdot \sigma ; B_2 \cdot \sigma$	\bar{s}	$B_3 \cdot \bar{s} ; B_4 \cdot \bar{s}$
Amplitude	$d_2 \cdot \sigma$	$D_1 \cdot \sigma ; D_2 \cdot \sigma$	\bar{R}	$D_3 \cdot \bar{R} ; D_4 \cdot \bar{R}$

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo dos limites em gráficos de controle

Tamanho da amostra n	Gráfico da média Limites de controle			Gráfico da amplitude						Gráfico do desvio-padrão					
				Linha média		Limites de controle				Linha média		Limites de controle			
	A	A ₁	A ₂	a ₁	a ₂	D ₁	D ₂	B ₁	B ₂	a ₁	1/a ₂	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
2	2,131	2,150	1,880	1,178	0,863	0	3,880	0	3,207	0,8642	1,1725	0	1,882	0	2,307
3	1,732	2,134	1,023	1,093	0,868	0	4,358	0	2,878	0,7233	1,3850	0	1,858	0	2,508
4	1,600	1,880	0,729	1,030	0,869	0	4,895	0	2,782	0,7070	1,3533	0	1,808	0	2,705
5	1,543	1,828	0,537	1,010	0,869	0	5,416	0	2,716	0,6907	1,3094	0	1,766	0	2,869
6	1,525	1,810	0,483	1,004	0,869	0	5,928	0	2,661	0,6806	1,2519	0,020	1,731	0,020	2,970
7	1,518	1,797	0,449	1,004	0,869	0,266	6,433	0,076	2,614	0,6727	1,2150	0,105	1,693	0,105	3,082
8	1,501	1,778	0,425	1,004	0,869	0,367	6,933	0,130	2,574	0,6652	1,1878	0,167	1,658	0,165	3,215
9	1,490	1,764	0,407	1,004	0,869	0,410	7,428	0,161	2,544	0,6589	1,1692	0,219	1,630	0,220	3,341
10	1,480	1,752	0,396	1,004	0,869	0,447	7,919	0,173	2,522	0,6537	1,1593	0,262	1,604	0,261	3,461

(Reprodução parcial de "ASTM -- Manual on Quality Control of Materials", 1951)

Tabela 2 - Fatores de cálculo dos limites de controle

Número de ciclos n	Número de Experimentos no Bloco, k								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0,63	0,42	0,34	0,30	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23
3	0,72	0,48	0,40	0,35	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26
4	0,77	0,51	0,42	0,37	0,34	0,32	0,30	0,29	0,28
5	0,79	0,53	0,43	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29
6	0,81	0,54	0,44	0,39	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30
7	0,82	0,55	0,45	0,40	0,37	0,34	0,33	0,31	0,30
8	0,83	0,55	0,45	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30
9	0,84	0,56	0,46	0,40	0,37	0,35	0,33	0,32	0,31
10	0,84	0,56	0,46	0,41	0,37	0,35	0,33	0,32	0,31
15	0,86	0,57	0,47	0,42	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31
20	0,86	0,58	0,47	0,42	0,38	0,36	0,34	0,33	0,32

Tabela 3 - Tabela de valores de $f_{k,n}$

n	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n-1}$	$\frac{1}{2(n-1)}$	$\frac{2}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,79}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,73}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,41}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,26}{\sqrt{n}}$
1	1,00	—	—	2,00	1,79	1,73	1,41	1,26
2	0,50	1,00	0,50	1,41	1,26	1,22	1,00	0,89
3	0,33	0,50	0,25	1,15	1,03	1,00	0,82	0,73
4	0,25	0,33	0,17	1,00	0,89	0,87	0,71	0,63
5	0,20	0,25	0,12	0,89	0,80	0,77	0,63	0,57
6	0,17	0,20	0,10	0,82	0,73	0,71	0,58	0,52
7	0,14	0,17	0,08	0,76	0,68	0,65	0,53	0,48
8	0,12	0,14	0,07	0,71	0,63	0,61	0,50	0,45
9	0,11	0,12	0,06	0,67	0,60	0,58	0,47	0,42
10	0,10	0,11	0,06	0,63	0,57	0,55	0,45	0,40

Tabela 4 - Fatores úteis para os cálculos da EVOP

Anexo D

PLANILHAS DA 1ª FASE DA OPERAÇÃO EVOLUTIVA

Ciclo 1

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
DATA :	CICLO N =		1	RESPOSTA	Tempo de Esterificação	
		CÁLCULO DAS MÉDIAS			CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA	17
SOMA CICLO ANTERIOR					SOMA ANTERIOR	
MEDIA CICLO ANTERIOR					MEDIA ANTERIOR	
NOVAS OBSERVAÇÕES	208.0	202.0	198.0	215.0	NOVO S = AMPL. x F(K,N)	
DIFERENÇAS					AMPLITUDE	
NOVAS SOMAS	208.0	202.0	198.0	215.0	NOVA SOMA S	
NOVAS MÉDIAS	208.0	202.0	198.0	215.0	NOVA MÉDIA S	
		CÁLCULO DOS EFEITOS			CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO	
MÉDIA DA FASE	205.8				PARA NOVA MÉDIA	34
EFETO A Taxa de Aquecimento	-11.5				PARA NOVOS EFEITOS	34
EFETO B Temperatura final	5.5				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	29.4
EFETO AB Taxa x Temperatura	-1.5					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	3.8					

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
DATA:	CICLO N =	1	RESPOSTA	Tempo de Condensação		
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	CÁLCULO DAS MÉDIAS				CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA	14
SOMA CICLO ANTERIOR					SOMA ANTERIOR	
MÉDIA CICLO ANTERIOR					MÉDIA ANTERIOR	
NOVAS	207,0	184,0	211,0	193,0	NOVO S =	
OBSERVAÇÕES					AMPL x F(K,N)	
DIFERENÇAS					AMPLITUDE	
NOVAS SOMAS	207,0	184,0	211,0	193,0	NOVA SOMA S	
NOVAS MÉDIAS	207,0	184,0	211,0	193,0	NOVA MÉDIA S	
CÁLCULO DOS EFEITOS						
MÉDIA DA FASE	198,8				CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO PARA NOVA MÉDIA	28
EFEITO A Taxa de Aquecimento	-2,5				PARA NOVOS EFEITOS	28
EFEITO B Temperatura final	-20,5				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	24,2
EFEITO AB Taxa x Temperatura	-6,5					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	14,8					

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
DATA :	CICLO N =	I	RESPOSTA	VISCOSIDADE		
		CÁLCULO DAS MÉDIAS			CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA	8
SOMA CICLO ANTERIOR					SOMA ANTERIOR	
MEDIA CICLO ANTERIOR					MEDIA ANTERIOR	
NOVAS OBSERVAÇÕES	814.0	832.0	827.0	822.0	NOVO S = AMPL x F(K,N)	
DIFERENÇAS					AMPLITUDE	
NOVAS SOMAS	814.0	832.0	827.0	822.0	NOVA SOMA S	
NOVAS MÉDIAS	814.0	832.0	827.0	822.0	NOVA MÉDIA S	
CÁLCULO DOS EFEITOS						
MÉDIA DA FASE	823.8				CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO PARA NOVA MÉDIA	16
EFEITO A	11.5				PARA NOVOS EFEITOS	16
EFEITO B	6.5				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	13.8
EFEITO AB	-1.5					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	-8.3					

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
DATA :		CICLO N°		RESPOSTA	Grau de Amarelo	
		CÁLCULO DAS MÉDIAS			CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA	0.6
SOMA CICLO ANTERIOR					SOMA ANTERIOR	
MÉDIA CICLO ANTERIOR					MÉDIA ANTERIOR	
NOVAS OBSERVAÇÕES	7.1	8.5	8.0	7.2	NOVOS = AMPL x F(K,N)	
DIFERENÇAS					AMPLITUDE	
NOVAS SOMAS	7.1	8.5	8.0	7.2	NOVA SOMA S	
NOVAS MÉDIAS	7.1	8.5	8.0	7.2	NOVA MÉDIA S	
CÁLCULO DOS EFEITOS				CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO		
MÉDIA DA FASE	7.7				PARA NOVA MÉDIA	1.2
EFEITO A	1.1				PARA NOVOS EFEITOS	1.2
EFEITO B	0.3				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	1.0
EFEITO AB	0.2					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	-0.8					

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
DATA :		CICLO N =		I RESPOSTA		Grau de Brancura
		CÁLCULO DAS MÉDIAS			CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA	3.5
SOMA CICLO ANTERIOR					SOMA ANTERIOR	
MÉDIA CICLO ANTERIOR					MÉDIA ANTERIOR	
NOVAS OBSERVAÇÕES	79.2	76.3	75.2	77.8	NOVO S = AMPL x F(K,N)	
DIFERENÇAS					AMPLITUDE	
NOVAS SOMAS	79.2	76.3	75.2	77.8	NOVA SOMA S	
NOVAS MÉDIAS	79.2	76.3	75.2	77.8	NOVA MÉDIA S	
CÁLCULO DOS EFETOS						
MÉDIA DA FASE	77.1				CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO PARA NOVA MÉDIA	7
EFEITO A	-2.8				PARA NOVOS EFETOS	7
EFEITO B	-0.2				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	6.1
EFEITO AB	1.3					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	0.8					

Ciclo 6

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
CICLO N =			6	RESPOSTA	Tempo de Estabilização	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	CÁLCULO DAS MÉDIAS			4	CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
	1	2	3		ESTIMATIVA DE SIGMA	17
SOMA CICLO ANTERIOR	1045.0	1018.0	980.0	1077.0	SOMA ANTERIOR	17.27
MÉDIA CICLO ANTERIOR	209.0	203.6	196.0	215.4	MÉDIA ANTERIOR	4.32
NOVAS OBSERVAÇÕES	208.0	203.0	200.0	217.0	NOVO S = AMPL. x F(K,N)	2.20
DIFERENÇAS	1.0	0.6	-4.0	-1.6	AMPLITUDE	5.00
NOVAS SOMAS	1253.0	1221.0	1180.0	1294.0	NOVA SOMA S	19.47
NOVAS MÉDIAS	208.8	203.5	196.7	215.7	NOVA MÉDIA S	3.89
CÁLCULO DOS EFEITOS				CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO		
MÉDIA DA FASE	206.2				PARA NOVA MÉDIA	3.2
EFEITO A	-12.2				PARA NOVOS EFEITOS	3.2
EFEITO B	6.8				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	2.8
EFEITO AB	0.0					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	-9.5					

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS							
CICLO N = 6 RESPOSTA VISCOSIDADE							
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	CÁLCULO DAS MÉDIAS				CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO		
	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA		8
SOMA CICLO ANTERIOR	4107.0	4116.0	4125.0	4107.0	SOMA ANTERIOR		22.74
MÉDIA CICLO ANTERIOR	822.0	823.0	822.3	821.8	MÉDIA ANTERIOR		5.68
NOVAS OBSERVAÇÕES	825.0	820.0	814.0	819.0	NOVO S =		4.97
					AMPL x F(K.N)		
DIFERENÇAS	-3.0	3.0	8.3	2.8	AMPLITUDE		11.30
NOVAS SOMAS	4932.0	4936.0	4939.0	4926.0	NOVA SOMA S		27.71
NOVAS MÉDIAS	822.0	822.7	823.2	821.0	NOVA MÉDIA S		5.54
CÁLCULO DOS EFEITOS							
MÉDIA DA FASE	822.2					CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO	
EFEITO A	1.3					PARA NOVA MÉDIA	
EFEITO D	-0.8					PARA NOVOS EFEITOS	
EFEITO AB	0.3					PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	
ALTERAÇÃO NA MÉDIA MÉDIA	1.2					3.9	

PROGRAMA DE OPERAÇÃO EVOLUTIVA - DUAS VARIÁVEIS						
CICLO N -		6		RESPOSTA		Crau de Brancura
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	CÁLCULO DAS MÉDIAS				CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO	
	1	2	3	4	ESTIMATIVA DE SIGMA	3.5
SOMA CICLO ANTERIOR	391.5	384.0	384.1	392.7	SOMA ANTERIOR	3.51
MÉDIA CICLO ANTERIOR	78.3	76.8	76.8	78.5	MÉDIA ANTERIOR	0.88
NOVAS OBSERVAÇÕES	77.8	77.5	77.1	77.8	NOVO S = AMPL.xF(K.N)	0.62
	0.5	-0.7	-0.3	0.7	AMPLITUDE	1.40
NOVAS SOMAS	469.3	461.5	461.2	470.5	NOVA SOMA S	4.12
NOVAS MÉDIAS	78.2	76.9	76.9	78.4	NOVA MÉDIA S	0.82
CÁLCULO DOS EFEITOS				CÁLCULO DOS LIMITES DE ERRO		
MÉDIA DA FASE	77.6				PARA NOVA MÉDIA	0.7
EFEITO A	-1.4				PARA NOVOS EFEITOS	0.7
EFEITO B	0.1				PARA ALTERAÇÃO NA MÉDIA	0.6
EFEITO AB	-0.1					
ALTERAÇÃO NA MÉDIA	-0.8					